

Chauffage et rafraîchissement : systèmes de conduite et de gestion

par **Pierre MÉRIEUX**
Consultant
et **Bernard PLEYNET**
Ingénieur-chercheur EDF/DER

| | |
|---|---------------------|
| 1. Présentation générale..... | B 2 158 - 2 |
| 1.1 Objectifs des systèmes de conduite..... | — 2 |
| 1.2 Objectifs des systèmes de gestion..... | — 2 |
| 2. Régulation | — 2 |
| 2.1 Régulateurs d'ambiance (thermostats)..... | — 2 |
| 2.1.1 Types et technologies..... | — 2 |
| 2.1.2 Classement par application | — 3 |
| 2.1.3 Conditions d'installation | — 5 |
| 2.1.4 Exemple d'application | — 5 |
| 2.1.5 Données économiques..... | — 5 |
| 2.2 Régulateurs en fonction de la température extérieure..... | — 6 |
| 2.2.1 Types et technologies..... | — 6 |
| 2.2.2 Classement par application | — 7 |
| 2.2.3 Conditions d'installation | — 7 |
| 2.2.4 Exemple d'application | — 8 |
| 2.2.5 Données économiques..... | — 9 |
| 3. Intermittence..... | — 9 |
| 3.1 Horloge et programmateur..... | — 9 |
| 3.2 Conditions d'installation | — 9 |
| 3.3 Exemples d'application | — 9 |
| 3.4 Données numériques | — 12 |
| 4. Gestion de la puissance | — 12 |
| 4.1 Moyens..... | — 12 |
| 4.2 Exemple d'application..... | — 13 |
| 4.3 Données numériques | — 13 |
| 5. Domotique et gestion technique des bâtiments..... | — 14 |
| 5.1 Domotique appliquée à la gestion du chauffage | — 14 |
| 5.1.1 Confort..... | — 14 |
| 5.1.2 Gestion | — 15 |
| 5.2 Gestion technique des bâtiments (GTB)..... | — 15 |
| Pour en savoir plus..... | Doc. B 2 159 |

L'énergie électrique offre de nombreux avantages pour sa conduite mais se distingue par le fait qu'elle ne peut être stockée. Cette particularité implique qu'une installation performante de chauffage électrique doit associer intimement la conduite et la gestion. Cet article a pour but de préciser les dispositifs associés au chauffage électrique par effet Joule et le lecteur pourra se reporter utilement à l'article **Régulation des systèmes de chauffage et de climatisation des bâtiments** [B 2 330], pour la partie théorique.

1. Présentation générale

1.1 Objectifs des systèmes de conduite

Deux objectifs distincts sont à la base des systèmes de conduite. On distingue, d'une part, le **confort** et, d'autre part, la **maîtrise de l'énergie**. Pour aboutir à ces deux objectifs, on dispose de deux fonctions de base :

- la **régulation** (thermostat et régulateur) : elle maintient une grandeur réglée à une valeur de consigne. Cette première fonction est la plus importante puisqu'elle permet d'assurer le confort attendu mais aussi de participer, par sa précision, à la maîtrise des consommations. La diffusion des technologies numériques permet d'introduire, dans certains cas, les connaissances acquises en matière de thermique du bâtiment et des besoins des usagers, allant ainsi jusqu'à l'auto-adaptation des réglages ;
- la **programmation** : elle permet de modifier, en fonction du temps, le niveau de réglage d'une grandeur. Cette seconde fonction a pris toute son importance avec la nécessité d'économiser l'énergie. Elle apporte ainsi une réduction des consommations en modulant les consignes de température au gré des occupations (diurnes et nocturnes) et des inoccupations (courtes et longues). L'enrichissement fonctionnel dans ce domaine provient principalement de l'optimisation qui permet de déterminer automatiquement les horaires de relance en fonction des données climatiques et de la réaction du bâtiment et de ses équipements.

1.2 Objectifs des systèmes de gestion

La gestion est définie comme l'organisation du rapport entre l'usager et les fonctions assurées par un équipement. Comme indiqué dans le préambule, la gestion est indispensable pour aboutir à une installation performante. On distingue deux fonctions élémentaires :

- la *gestion de puissance*, qui met un équipement à l'arrêt au moment où son fonctionnement entraînerait un surcoût. Cette fonction, spécifique à l'énergie électrique, n'entraîne pas une altération du confort si elle est pratiquée correctement et évite ainsi un surdimensionnement du contrat tarifaire ;
- l'*information sur l'état du système* afin d'en affiner les réglages ; elle constitue un élément intéressant qui facilite l'utilisation des matériels de conduite. La présence de mémoires permet d'afficher le *vécu* de l'installation (températures, consommations, etc.) et ainsi d'aider à l'*affinage* des réglages. In fine, le *vécu* permet également de faciliter la maintenance.

■ **Remarques** : on a volontairement écarté de cet article les fonctions de sécurité qui sont quelquefois assurées par les mêmes organes mais qui ne correspondent pas aux fonctions de base de la conduite et de la gestion.

Enfin, la domotique et la gestion technique du bâtiment font l'objet d'un paragraphe distinct pour montrer comment elles prennent en compte les fonctions de base de la conduite et de la gestion.

2. Régulation

2.1 Régulateurs d'ambiance (thermostats)

Le thermostat est le type de régulation le plus répandu dans les équipements de chauffage ; il fonctionne en général sur la température ambiante selon le **principe de la boucle fermée**.

Rappelons que le régulateur agit en boucle fermée selon le processus suivant :

- mesure de la température ambiante intérieure ;
- comparaison de cette mesure avec la valeur de consigne ;
- établissement de la correction qu'il doit réaliser en fonction de l'écart ;
- action sur la fourniture énergétique.

2.1.1 Types et technologies

Le thermostat est composé de trois éléments : capteur, unité de traitement et actionneur.

■ Capteur (organe de détection)

La détection de température est assurée par un élément sensible utilisant un des principes suivants :

- dilatation d'un solide ou d'un liquide, ou variation de tension de vapeur pour les thermostats mécaniques et électromécaniques ;
- variation d'une résistance ou de paramètres de semi-conducteurs pour les thermostats électroniques et les couples thermoélectriques.

■ Unité de traitement (organe de commande)

Cette partie du régulateur a pour tâche de comparer la température mesurée à la température de consigne et d'assurer le mode de réglage. On distingue deux modes de réglage :

- **tout ou rien non modulé** (figure 1a) : l'action comporte deux positions (marche et arrêt) qui se caractérisent par leur différentiel statique ($\theta_{\text{décl}} - \theta_{\text{encl}}$) analogue au phénomène d'hystérésis ;
- **tout ou rien modulé** (appelé aussi **chronoproporcionnel**) (figure 1b) : le principe du tout ou rien modulé est d'accélérer le cycle *marche-arrêt* de manière à assurer une meilleure stabilité de la grandeur réglée. La puissance moyenne fournie au système est pratiquement proportionnelle à l'écart de réglage ; on caractérise le matériel par la bande proportionnelle ($\theta_2 - \theta_1$). Le rapport de la durée d'enclenchement t_{encl} sur la base de temps T est appelé *rapport de cycle* ou *facteur de régime*.

Nota : les thermostats électromécaniques à résistance compensatrice s'assimilent à la catégorie des thermostats tout ou rien modulés.

Pour limiter la dérive de thermostats tout ou rien non modulés analogue à l'écart de réglage d'un régulateur, il est parfois utile d'ajouter une résistance de compensation ou compensatrice (figure 2b). Cette résistance est mise sous tension en même temps que le chauffage ; elle accélère les cycles de fonctionnement par l'échauffement du capteur de température qui coupe le chauffage avant que la température ambiante n'ait été sensiblement modifiée.

La température moyenne atteinte varie avec la charge. Cette variation est parfois compensée par une autre résistance de chauffage intégrée au thermostat (résistance compensatrice) (figure 2c).

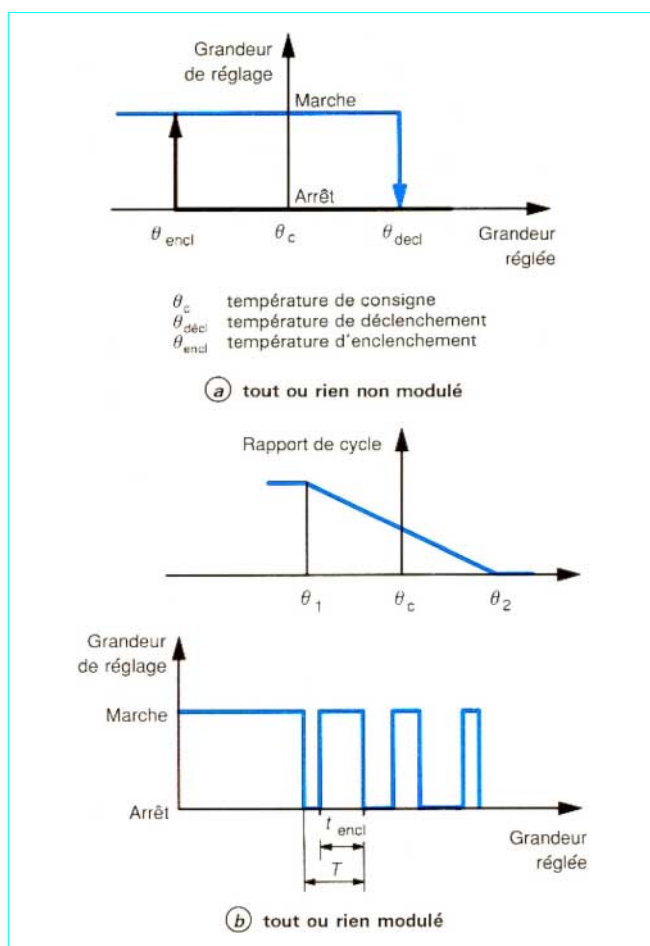


Figure 1 – Principe de fonctionnement des thermostats tout ou rien non modulé et modulé

Comparaison entre tout ou rien modulé et non modulé : l'enregistrement de la figure 3 montre l'amplitude de la température obtenue par les deux types de thermostat. En outre, il y a lieu de préciser que le mode tout ou rien modulé entraîne moins de dérive en charge.

■ Actionneur (organe de réglage)

L'élément de réglage peut être mécanique, électromécanique (relais) ou électronique (interrupteur statique ou semi-conducteur).

Le choix technologique est déterminé par la fréquence et le nombre de manœuvres autorisées (environ 100 000 pour un relais et *a priori* un nombre infini pour un semi-conducteur).

Lorsque l'unité de traitement est de type tout ou rien non modulé, on utilise généralement un actionneur électromécanique ; par contre, l'interrupteur statique est utilisé pour les thermostats du type tout ou rien modulé qui bénéficient d'une durée de cycle rapide (de quelques dizaines de secondes à quelques minutes).

En outre, l'utilisation des interrupteurs statiques élimine pratiquement toute nuisance acoustique liée au cycle enclenchement/déclenchement.

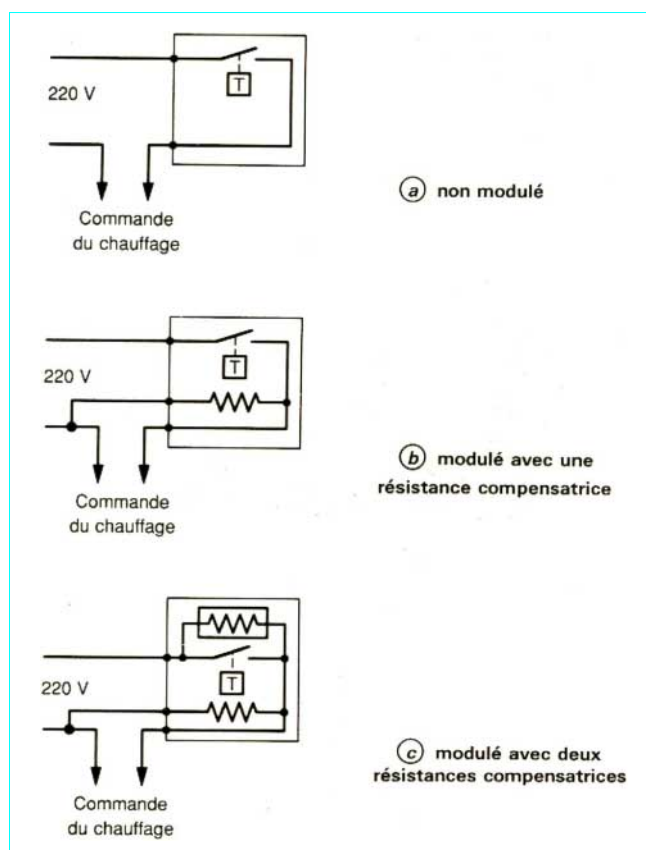


Figure 2 – Thermostats tout ou rien non modulé, ou modulé avec une ou deux résistances compensatrices

2.1.2 Classement par application

En chauffage électrique, on distingue trois catégories de matériel.

■ Thermostats incorporés aux émetteurs (convecteurs, panneaux radiants)

Afin de simplifier les installations de chauffage et de mieux prendre en compte le couple *émetteur/conduite*, on a intégré le thermostat dans les émetteurs. Cette simplification a apporté par ailleurs des économies en terme d'investissement en réalisant un matériel autonome.

Le recours aux thermostats tout ou rien modulé et à la technologie électronique se confirme en remplacement des composants électromécaniques pour renforcer la précision, améliorer la fiabilité du matériel ainsi qu'ajouter des fonctions complémentaires.

Moins répandus, les *thermostats multiseuils ou multiétages* (figure 4) se développent également pour participer à la modulation spatio-temporelle du chauffage. Par une commande appropriée (manuelle ou automatisée), le thermostat d'ambiance comporte différentes consignes pour assurer des températures distinctes qui correspondent aux niveaux souhaités selon l'occupation (diurne ou nocturne) ou l'inoccupation (courte ou longue). Les consignes sont souvent décalées d'une quantité fixe par rapport au point de consigne initial (température de confort).

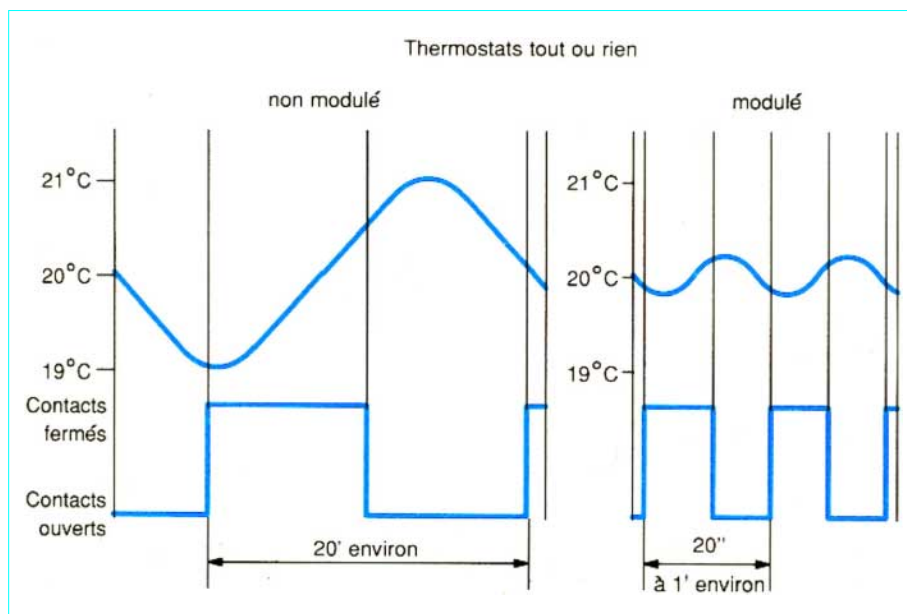


Figure 3 – Comparaison entre les modes de réglage (tout ou rien modulé et non modulé)

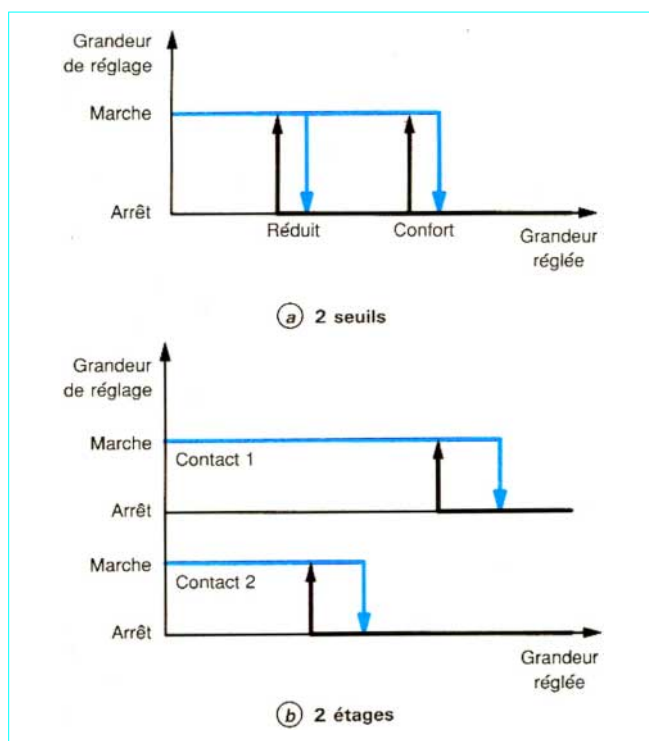


Figure 4 – Schémas de fonctionnement d'un thermostat à deux seuils et à deux étages

La différence entre le thermostat multiseuil et le thermostat multiétage se repère par le nombre d'actionneurs. Le thermostat multiseuil ne comporte qu'un organe de sortie qui répond à un seuil sélectionné parmi d'autres. Le thermostat multiétage comporte autant d'organes de sortie que de consignes distinctes ; il permet ainsi de piloter plusieurs émetteurs différents.

■ Thermostats d'ambiance (planchers, plafonds, panneaux radiants, chauffage par accumulation)

Les émetteurs de chauffage qui n'intègrent pas le thermostat sont pilotés par des thermostats indépendants qui bénéficient des mêmes technologies que les thermostats intégrés.

On note dans cette catégorie de nombreuses présentations qui répondent à de multiples applications, comme les *thermostats à sonde résultante* ou à *affichage à distance*. On distingue également des thermostats multiseuils et multiétages qui répondent à la même description que ci-dessus.

■ Thermostats limiteurs (température haute ou basse)

Ils sont alors systématiquement de type tout ou rien non modulé. Le différentiel statique est généralement plus important et le matériel n'est pas prévu pour un nombre de manœuvres élevé. Par ailleurs, certains matériels comportent un dispositif de déclenchement qui nécessite un réarmement manuel.

La figure 5 donne deux exemples de thermostats limiteurs :

— un *limiteur de dalle* utilisé pour les planchers chauffants dont la sonde de mesure de température est noyée dans la dalle, afin de ne pas dépasser 27 °C en surface ;

— un *limiteur de température d'air dans un convecteur* dont la consigne est fixée lors de sa fabrication afin que la température des éléments de surface du convecteur ne dépasse pas 70 K au-dessus de l'ambiance.

■ Cas particulier des thermostats avec fil pilote

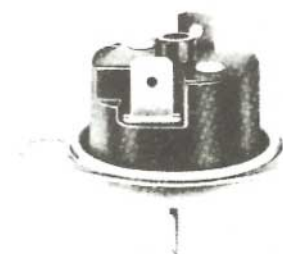
Le *fil pilote* fait partie des dispositifs qui permettent de commander les différentes consignes d'un thermostat multiseuil.

Le *fil pilote* est un conducteur sur lequel circule un signal codé. Pour des raisons de simplicité, on utilise les combinaisons de l'alternance du courant alternatif. Toutes les combinaisons sont envisageables : absence d'alternance, alternance complète, demi-alternance positive, demi-alternance négative, double alternance positive ou double alternance négative.

Les constructeurs ont le plus souvent utilisé les quatre premières possibilités sans réelle standardisation sauf pour le mode *absence d'alternance* qui correspond à un régime de confort (régime conventionnel en l'absence de câblage du fil pilote).



a) limiteur de dalle, sonde de température déportée (doc. Delta Dore-T1C)



b) limiteur de température d'air dans un convecteur (sonde et organe de coupure avec réarmement automatique) (doc. Ranco-R40)

Figure 5 – Thermostats limiteurs : exemples

En l'absence de normalisation et depuis mars 1990, le GIFAM (Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'équipement Ménager) regroupant les constructeurs de convecteurs a décidé du standard suivant :

- régime confort
- régime ralenti
- régime hors gel
- régime arrêt

En technologie électromécanique, la solution *fil pilote* existe également. On utilise alors une résistance alimentée par le fil pilote pour *tromper* la mesure de température. Généralement, cette solution permet de bénéficier d'une autre consigne (réduit) différente de celle affichée par l'appareil, chaque appareil ayant sa propre température de consigne.

2.1.3 Conditions d'installation

L'installation d'un thermostat participe sensiblement à la qualité du système de chauffage. En effet, le thermostat doit tenter de représenter le mieux possible le confort thermique de l'utilisateur. Or, la notion de confort thermique du corps humain dépend de nombreux paramètres comme la température de l'air, la température radiante moyenne, la vêtue, le métabolisme, l'activité et même l'environnement psychologique, les couleurs, etc. (article *Confort physiologique* [B 2 180] dans ce traité).

Un soin tout particulier doit donc être porté sur le choix de l'emplacement du thermostat ou de la sonde de température lorsque celle-ci est déportée du régulateur. On distingue deux cas de figure :

— pour le *thermostat incorporé aux émetteurs*, on se reportera à l'article *Chauffage et rafraîchissement : chauffage électrique par effet Joule* [B 2 156] précisant les conditions d'installation des émetteurs ;

— pour les *thermostats d'ambiance*, comme il est difficile de donner les lieux privilégiés, on se contente d'indiquer les zones à éviter (figure 6).

La hauteur d'installation est également importante. Traditionnellement, la hauteur doit être comprise entre 1,2 et 1,8 m par rapport au sol.

2.1.4 Exemple d'application

Pour illustrer une application de la régulation d'ambiance, on a choisi un thermostat à étages qui permet d'assurer la priorité d'un système de chauffage par rapport à un autre, ainsi que les commandes de ralenti. La figure 7 présente une installation faisant appel à deux sources de chauffage distinctes (mais qui peuvent être réunies dans un même appareil : poêle à accumulation par exemple).

Principe de fonctionnement : en période d'occupation, lorsque la température du local n'est pas assurée, le contact 1 du thermostat donne la commande à la source A. Si la température d'ambiance n'est toujours pas atteinte (au décalage près des deux étages), le contact 2 se ferme et autorise la source B. Durant la période de ralenti commandée par une action manuelle ou automatique, on obtient le même fonctionnement avec des valeurs différentes (consignes des contacts 3 et 4).

On peut noter que, dans ce cas d'application, on utilise le plus souvent des thermostats de type tout ou rien non modulé car dans de nombreuses situations le dispositif commande des équipements dynamiques (compresseurs, ventilateurs, etc.) qui supportent assez difficilement la modulation.

2.1.5 Données économiques

La grande dispersion des modèles et du marché des thermostats d'ambiance rend difficile l'indication d'un coût de référence. Le tableau ci-dessous donne des fourchettes de prix selon la présentation, la technologie et les fonctionnalités de ceux-ci (en F TTC 1992) :

| Présentation | | Fonction | |
|--------------|---------|------------------|---------------|
| | | électromécanique | électronique |
| intégré | simple | 20 à 50 F | 50 à 80 F |
| | spécial | 50 à 100 F | 100 à 350 F |
| autonome | simple | 100 à 150 F | 150 à 350 F |
| | spécial | 150 à 350 F | 600 à 1 600 F |

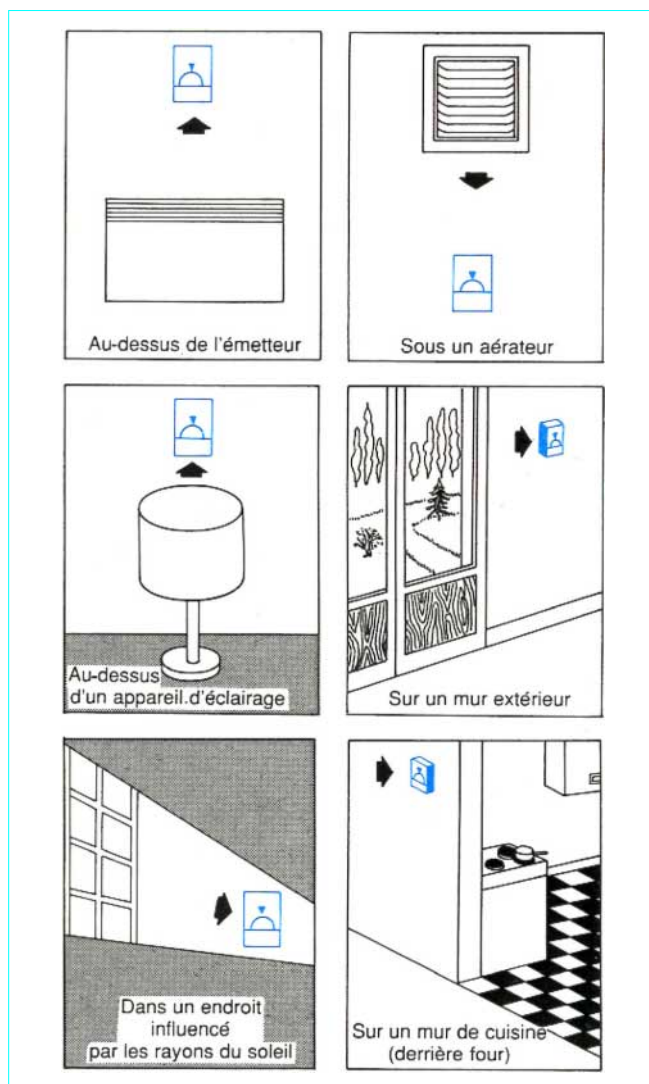


Figure 6 – Zones à éviter pour l'implantation d'un thermostat d'ambiance (doc. EDF)

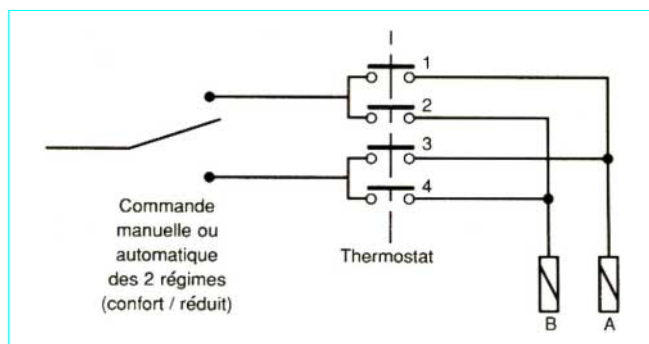


Figure 7 – Schéma d'installation d'une régulation d'ambiance à deux sources de chaleur distinctes A et B

2.2 Régulateurs en fonction de la température extérieure

Le régulateur est un dispositif qui permet de régler la fourniture énergétique en fonction des données climatiques et particulièrement de la température extérieure, principale grandeur perturbatrice.

Rappelons que le régulateur agit en **boucle ouverte** selon le processus suivant :

- mesure de la (les) grandeur(s) perturbatrice(s) ;
- établissement de la fourniture à apporter selon une loi de correspondance ;
- action sur la fourniture énergétique.

Ce type de régulation se distingue de la boucle fermée par le fait qu'elle consiste à agir sur une grandeur de réglage d'une installation sans mesurer directement la grandeur réglée. Le plus souvent, elle ne permet pas d'assurer précisément les besoins local par local et nécessite en complément une régulation en boucle fermée.

2.2.1 Types et technologies

Comme pour les thermostats, les régulateurs se composent de trois éléments : capteur, unité de traitement et actionneur.

■ Capteur (organe de détection)

La détection de la température extérieure se réalise par un élément sensible qui varie avec la température (en général, variation d'une résistance). Les autres grandeurs (vent, ensoleillement) sont peu exploitées en chauffage électrique ; leurs influences sont partiellement prises en compte par la construction et la disposition du capteur.

■ Unité de traitement (organe de commande)

Le traitement est depuis longtemps réalisé par l'électronique. Toutefois, l'utilisation de la technologie numérique est plus récente et se développe plus particulièrement dans les systèmes qui nécessitent des calculs et de la mémorisation.

On distingue deux modes de réglage :

— **chronoproporctionnel**, analogue au tout ou rien modulé. Dans ce cas, la puissance délivrée par le régulateur est déterminée par une durée de fonctionnement. La puissance nominale de l'installation est commandée pendant un temps t qui est le produit du facteur de régime f par la durée du cycle T (ou base de temps).

Le facteur de régime s'exprime selon l'expression suivante :

$$f(\%) = 100 (\theta_c - \theta_x) / \Delta\theta$$

avec θ_c température de consigne,

θ_x température extérieure à l'instant x ,

$\Delta\theta$ température de consigne (θ_c) – température extérieure de base (θ_b).

Les matériels peuvent comporter une loi de correspondance (simple pente, figure 8) ou deux lois de correspondance (double pente) ; ils sont caractérisés par trois paramètres : la température de consigne, la pente ou l'écart, et la base de temps ou durée de cycle ;

— **par étages** : il est nécessaire, pour les fortes puissances, de recourir au fractionnement des charges pour éviter des puissances instantanées appelées trop importantes et améliorer la stabilité de réglage. On a alors recours à une régulation discontinue à étages. La charge est décomposée en éléments selon une combinaison binaire $P/2$, $P/4$, $P/8$, etc. (figure 9) ou de même puissance (cas moins courant).

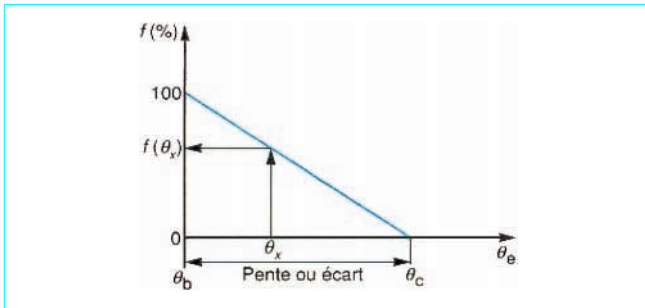


Figure 8 – Loi de correspondance d'un régulateur chronoproportionnel sur θ_e utilisé pour les planchers chauffants, la bijonction ou la limitation d'énergie

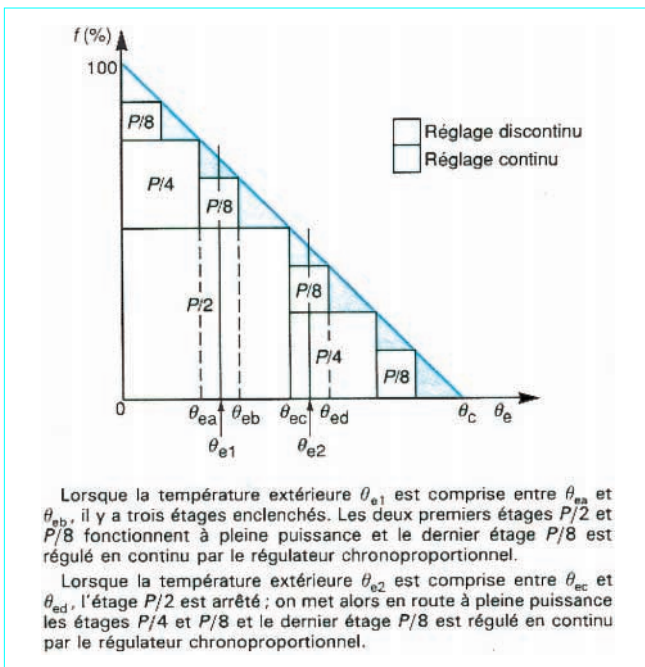


Figure 9 – Principe d'un régulateur à étages binaires complété par un régulateur chronoproportionnel

Un circuit logique enclenche les étages nécessaires pour satisfaire les besoins. Le dernier étage peut être commandé par une régulation chronoproportionnelle sur température ambiante pour obtenir un réglage progressif sur toute la plage.

Nota : il est impératif de disposer d'une remise à zéro dès l'absence du réseau pour éviter l'enclenchement de tous les étages lors de la remise sous tension.

■ Actionneur (organe de réglage)

Il est nécessaire de distinguer les actionneurs intégrés aux régulateurs qui sont souvent des *relais* même si la base de temps est rapide (quelques dizaines de secondes) et les **contacteurs de puissance** (non intégrés).

Lorsque la durée du cycle est inférieure à cinq minutes, on préfère les *interrupteurs statiques électroniques*. Pour une durée de cycle supérieure, on peut utiliser les *contacteurs électromécaniques* (relais).

2.2.2 Classement par application

On distingue trois grandes catégories de régulateurs en chauffage électrique dont on rappelle rapidement ici les applications (article *Chauffage et rafraîchissement : chauffage électrique par effet Joule* [B 2 156]).

■ Limiteur (ou doseur cyclique) d'énergie

Il s'agit d'une régulation chronoproportionnelle qui limite en tête d'une installation de chauffage direct l'énergie nécessaire au chauffage. Cette disposition permet d'éviter une consommation inutile si l'emploi des régulateurs d'ambiance n'est pas correct ou si les fenêtres restent ouvertes.

Ce type d'appareil convient également pour la régulation des systèmes bijonction.

■ Régulateur de charge

Utilisé pour les chauffages à accumulation (planchers chauffants électriques ou poêles à accumulation), il est de type chronoproportionnel et assure la commande de la charge.

■ Régulateur à étages

La destination privilégiée des régulateurs à étages s'applique aux batteries électriques de forte puissance.

2.2.3 Conditions d'installation

La mise en place des régulateurs ne pose pas de problèmes particuliers. Il est souhaitable de veiller à deux points :

— la *position de la sonde extérieure* : traditionnellement, on conseille de disposer la sonde extérieure en pignon nord des bâtiments. Ce conseil est toutefois insuffisant, l'important est d'obtenir une température la plus représentative possible qui ne doit pas être trompée par une grille d'évacuation de chaleur, une cheminée, le dos d'un volet, etc. ;

— l'*installation du contacteur de puissance* : l'utilisation d'un contacteur électromécanique de forte puissance engendre des vibrations et une perturbation acoustique. On peut éviter ces désagréments en le remplaçant par des interrupteurs statiques ou en prévoyant des *silentbloks* qui atténueront ces imperfections.

■ Réglage d'un régulateur chronoproportionnel

Comme nous l'avons précisé dans le paragraphe 2.2.1, ce type de régulateur est caractérisé par : une consigne par loi, un écart ou une pente par loi et une base de temps T .

● 1^{er} cas : chauffage à accumulation : plancher + appoint

Pour cette application (figure 10), la première loi est asservie à la période de tarification *heures creuses* qui correspond généralement à une période nocturne (tableau 1).

● 2^e cas : chauffage électrique direct (limiteur d'énergie)

La consigne du limiteur est réglée quelques degrés au-dessus de la température de consigne normale des convecteurs.

L'écart est en théorie le $\Delta\theta = \theta_c - \theta_b$; dans la pratique, on préfère restreindre un peu l'écart compte tenu de l'imperfection d'un régulateur central en boucle ouverte.

L'usage montre souvent que l'intérêt du limiteur d'énergie se justifie plus particulièrement dans la période de demi-saison où la température extérieure varie de 0 à 15 °C.

| Tableau 1 – Chauffage à accumulation : plancher + appoint | | |
|---|---|---|
| Réglage | Méthode de calcul | Exemple numérique |
| Consigne nuit θ_{cn} | Elle doit prendre en compte la variation diurne-nocturne pour intégrer les apports gratuits. | Empiriquement réglée à 12 °C, elle peut varier entre 10 et 14 °C selon les régions et la saison. |
| Écart nuit E_n | La participation du chauffage à accumulation est liée au flux émis par le sol chauffant par rapport aux déperditions du volume concerné. La relation s'écrit : $E_n = [8/24] \times (\varphi_{\text{plancher}}/D) \times \Delta\theta$ | Pour une habitation individuelle sur vide sanitaire isolé, on a : — le flux émis par le plancher : $\varphi_{\text{plancher}} \# 0,9 P_i$ — la puissance installée : $P_i = 0,6 D$ d'où $E_n = [8/24] \times (0,9 \times 0,6 D/D) \times \Delta\theta$ pour $\Delta\theta = 30$ K $E_n = 5,4$ K |
| Consigne jour θ_{cj} | La consigne jour se déduit par la relation : $\theta_{cj} = \theta_{cn} - E_n$ | $\theta_{cj} = 12 - 5,4 = 6,6 \text{ °C}$ |
| Écart jour E_j | L'écart jour est donné par la même relation que l'écart nuit avec les modifications suivantes : — le temps de fonctionnement est soit 16/24, soit 12/24 si le tarif bénéficie des heures de pointe ; — un coefficient α complète la relation pour tenir compte des relances partielles (1/4, 1/3, 1/2 ou 1) ; d'où : $E_j = [12/24 \text{ ou } 16/24] \times (\varphi_{\text{plancher}}/D) \times \Delta\theta \times \alpha$ | Pour une habitation individuelle, il n'y a pas d'heures de pointe et la relance est totale : $E_j = 16/24 \times (0,9 \times 0,6 D/D) \times \Delta\theta \times 1$ pour $\Delta\theta = 30$ K $E_j = 10,8$ K |
| Base de temps T | Le système bénéficie d'une forte inertie qui permet une base de temps élevée : 10 à 30 min. | On règle la base de temps à 10 min. |

$\Delta\theta = \theta_c - \theta_b$.
 D déperditions.

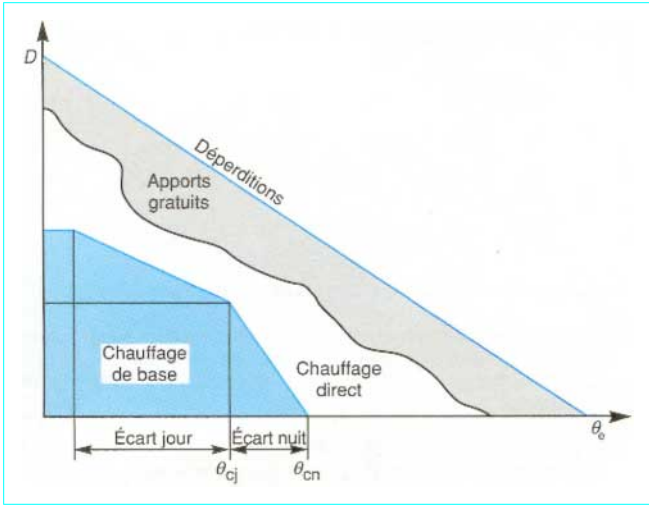


Figure 10 – Lois de régulation d'un chauffage mixte (plancher + appoint)

2.2.4 Exemple d'application

La régulation en fonction de la température extérieure est le plus souvent rencontrée dans les installations de chauffage collectif des bâtiments d'habitation collective et tertiaires où, dans de nombreux cas, la réglementation thermique l'impose. Pour l'exemple, on utilise le régulateur en fonction de la température extérieure dans son application limiteur d'énergie. La figure 11 met en évidence le contrôle central de l'autorisation du chauffage. La régulation locale assure, quant à elle, le niveau de confort souhaité si les conditions de fonctionnement sont correctes (fenêtre fermée, débit de ventilation correct, puissance des émetteurs suffisante).

■ Principe de fonctionnement

Après avoir réglé les paramètres du régulateur en fonction de la température extérieure et les consignes des régulations intérieures (thermostat), l'installation fonctionne selon le processus suivant. Le régulateur, en fonction de la température extérieure, traduit les conditions climatiques en un pourcentage de temps de fonctionnement.

Par exemple, pour une consigne de 20 °C, une pente de 25 K, une base de temps de 5 min et une température extérieure de 10 °C, le régulateur autorisera le chauffage pendant 2 min. La régulation d'ambiance exécutera son propre cycle de fonctionnement mais l'énergie réelle délivrée dans les émetteurs ne pourra dépasser 40 % des possibilités énergétiques de l'installation.

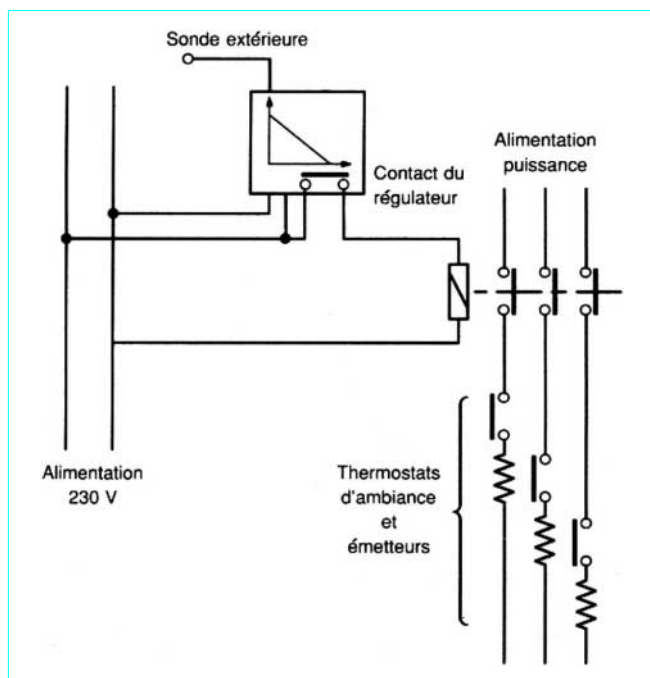


Figure 11 – Schéma d'installation d'une régulation en fonction de la température extérieure

2.2.5 Données économiques

Comme pour la régulation d'ambiance (§ 2.1.5), on peut donner quelques indications de prix pour les régulateurs en fonction de la température extérieure (en F TTC 1992) :

- régulateurs pour habitat individuel et petit tertiaire, de 1 500 à 3 000 F ;
- régulateurs pour habitat collectif et tertiaire, de 3 000 à 10 000 F.

3. Intermittence

L'intermittence a pour but de modifier, en fonction du temps, le niveau de réglage d'une grandeur pour limiter les consommations énergétiques.

3.1 Horloge et programmeur

La programmation temporelle des équipements s'effectue à l'aide d'**horloges de programmation** ou mieux encore de **programmeurs d'intermittence** qui se différencient par les fonctions complémentaires qui s'associent à l'horloge de programmation.

On caractérise une **horloge** de programmation par les paramètres suivants :

- le cycle de programmation qui correspond à la périodicité du programme (journalier, hebdomadaire ou annuel) ;
- le pas de temps minimal entre les moments possibles de deux commandes consécutives ;
- le nombre de programmes réalisables ;
- l'autonomie en l'absence d'alimentation ;
- le nombre de voies distinctes de programmation.

Les **programmeurs** se classent :

- selon leurs positions géographiques : centralisés ou localisés ;
- selon leurs points d'action : centraux, c'est-à-dire qu'ils interviennent sur une régulation centrale, ou locaux, *a contrario* ils agissent sur une régulation terminale.

Sur les quatre combinaisons théoriques, seulement trois variantes technologiques (figure 12) sont répandues :

- *programmeur centralisé à action centrale*, par exemple le programmeur bizonne (2 zones thermiques) à action sur la puissance ; la température régulant le régime réduit associée au programmeur est réalisée pour chaque pièce ou pour chaque zone thermiquement homogène ;
- *programmeur centralisé à action locale*, par exemple les programmations à fil pilote ;
- *programmeur localisé à action locale*, par exemple les horloges de programmation intégrées dans les émetteurs.

Les **horloges de programmation** se caractérisent par la *seule fonction calendaire* qu'elles sont en mesure d'exécuter. L'ordre de sortie est de type binaire (0 ou 1) et permet de commander d'autres fonctions que le chauffage (arrosage, éclairage, etc.).

Les **programmeurs d'intermittence** se distinguent des horloges de programmation car ils intègrent des fonctions complémentaires de conduite comme la régulation ; *in fine*, on obtient des appareils qui optimisent plus ou moins précisément deux ou plusieurs paramètres (confort, maîtrise de l'énergie, tarification, etc.).

3.2 Conditions d'installation

L'installation d'une programmation ne comporte pas de difficultés particulières mais requiert des attentions précises sur les points suivants :

- choix du matériel selon les critères évoqués précédemment ;
- câblage du programmeur avec la régulation : toutes les combinaisons de fonctionnement doivent être vérifiées de manière à réaliser des économies d'énergie sans altérer le confort et la pérennité du bâtiment et des équipements ;
- emplacement des capteurs de température régulant le régime réduit qui participent étroitement à la restauration du confort et à la garantie de maintien hors gel des installations et du bâtiment.

Nota : la mise en place d'une programmation doit s'accompagner d'une information précise aux usagers sur la conduite du matériel pour obtenir toute la satisfaction attendue de cette fonction.

3.3 Exemples d'application

■ Programmation

La gestion de l'intermittence est maintenant une commande classique et obligatoire, réglementairement, dans de nombreux cas. Pour simplifier l'exemple, on a choisi la programmation d'un *chauffage par convecteurs d'un appartement* selon les deux zones géographiques d'occupation. La technique utilisée est celle du fil pilote (programmeur central à action locale) qui permet d'assurer un contrôle de la température des locaux directement par le thermostat multiseuil incorporé dans les convecteurs.

Pour des raisons de confort, le convecteur de la salle de bains n'est pas raccordé sur une zone et bénéficie d'une intermittence manuelle avec l'utilisation d'une temporisation réglable.

De plus, les voies de programmation disponibles permettent éventuellement de commander d'autres équipements (ventilation, équipements ménagers, etc.).

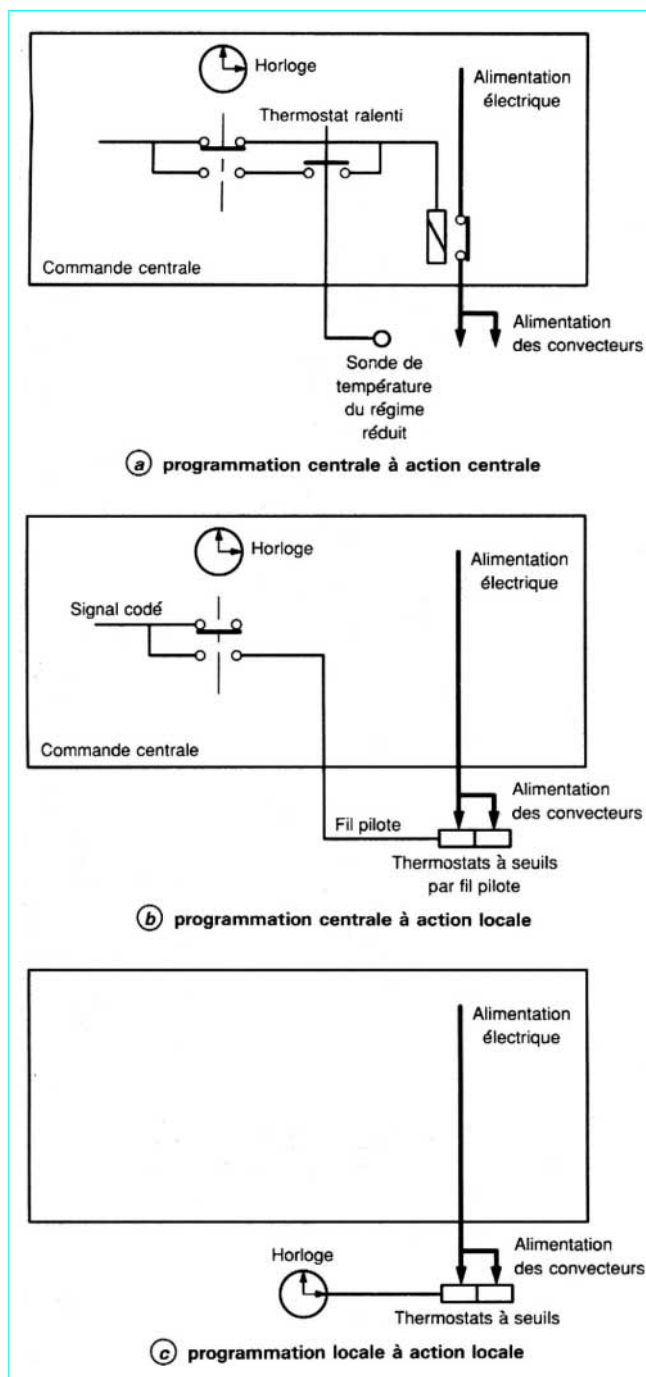


Figure 12 – Schémas de principe des programmations centrales et locale

La figure 13 montre comment l'installation est réalisée pour obtenir satisfaction tant sur le plan de l'application que sur le plan de l'installation électrique.

● Principe de fonctionnement

Sur chacune des voies, l'utilisateur programme les horaires des différents régimes souhaités (confort, régime réduit, voire même hors gel) pour chaque zone de chauffage ou voie d'utilisation. Dans le cas du chauffage, on est le plus souvent obligé de tenir compte du délai de remontée en température. Pour une intermittence faible (inférieure à 24 h) et pour un bâtiment isolé, on estime le laps de temps à 2 h environ.

Le programmeur donne les ordres en fonction du programme enregistré et module le fonctionnement en fonction des indications par la régulation associée : température de confort en période d'occupation et température réduite en période d'absence ou de sommeil.

■ Régulation-programmation

Dans de nombreux cas d'application, le concepteur d'une réalisation doit répondre à plusieurs exigences qui se traduisent par une combinaison des fonctions décrites précédemment pour optimiser le fonctionnement des installations. Pour illustrer ce point de vue, on propose le *cas classique du secteur tertiaire d'usage intermittent et de surface supérieure à 400 m²* (bureaux par exemple), où la réglementation thermique impose :

- une régulation en fonction de la température ambiante par local (ou par groupe de locaux thermiquement identiques),
- une régulation en fonction de la température extérieure,
- une programmation du chauffage selon trois régimes : accéléré pour les remontées en température, confort et arrêt.

La figure 14 indique un montage des différents équipements qui assurent les fonctions exigées par l'aspect réglementaire et les asservissements complémentaires qui permettent un fonctionnement rationnel.

● Principe de fonctionnement

Pour obtenir trois ordres distincts avec une horloge de programmation classique, il est nécessaire d'utiliser deux voies de programmation. Cette solution est peu performante car elle oblige l'utilisateur à corriger systématiquement les programmes des deux voies pour chaque modification des occupations. Une autre solution est proposée dans ce montage en utilisant un relais temporisé qui permettra, à partir d'un ordre donné par le programmeur, de distinguer une première période (réglage de ce temps sur le relais temporisé) qui sera affectée au régime accéléré, puis une seconde période qui correspond au régime confort.

Durant le régime accéléré, l'alimentation des émetteurs de chauffage se réalise directement sans tenir compte de la température extérieure pour permettre une remontée en température rapide. On en profite d'ailleurs pour délivrer un contact auxiliaire qui a pour but de bien asservir le régime de ventilation à l'arrêt pour faciliter cette étape.

À la fin du régime accéléré dont le temps a été fixé par le relais temporisé, la régulation en fonction de la température extérieure intervient en amont de l'alimentation des émetteurs de manière à garantir une consommation correspondant à un fonctionnement rationnel (élimination des gaspillages dus par exemple à des fenêtres ouvertes).

Enfin, après le régime de confort, l'horloge donne un ordre d'arrêt général en coupant l'alimentation des émetteurs. En option, on peut disposer d'un contrôle de température ralentie ou hors gel représenté sur le schéma en pointillé.

L'asservissement tarifaire s'exécute selon deux modalités complémentaires :

- la première correspond à une programmation des remontées de température pendant la période des heures creuses ;
- la seconde est un verrouillage du régime accéléré dès la fin de la période heures creuses.

La régulation d'ambiance est réalisée par des thermostats incorporés ou non aux émetteurs.

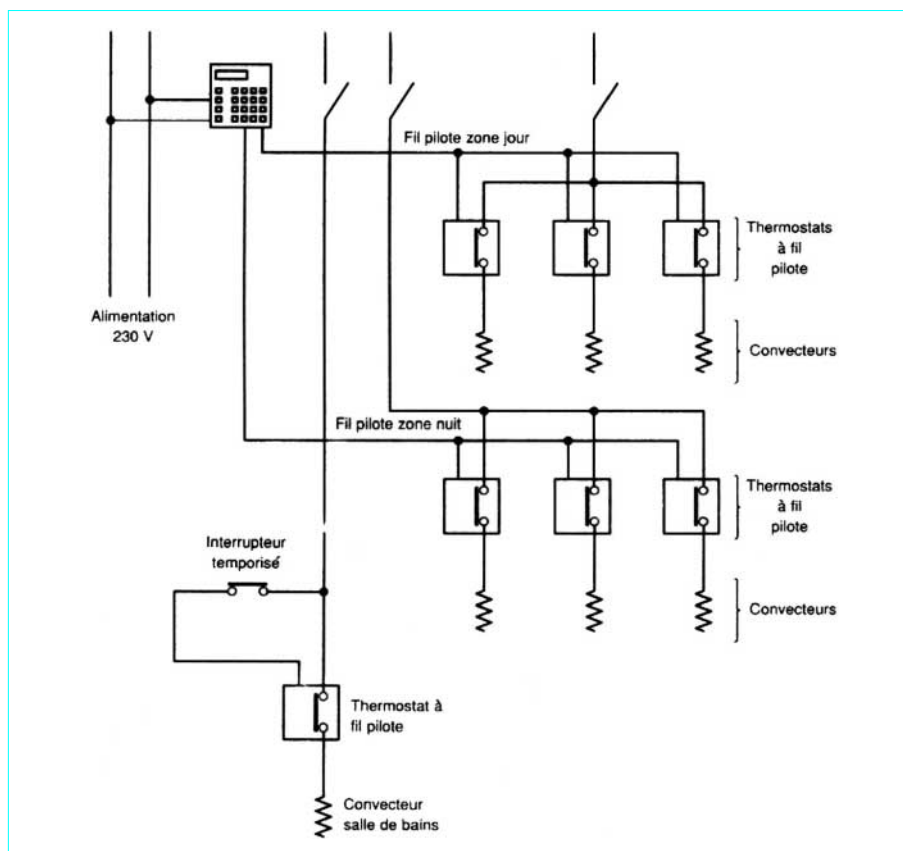


Figure 13 – Schéma d'installation de la programmation d'un chauffage par convecteurs d'un appartement

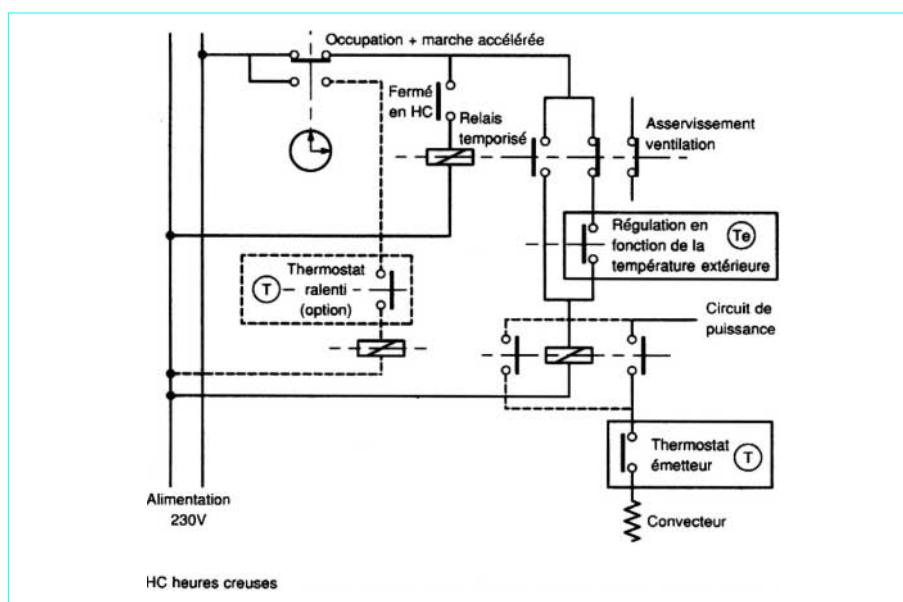


Figure 14 – Schéma d'installation d'un ensemble régulation-programmation

3.4 Données numériques

Pour cette fonction, on peut indiquer deux aspects économiques : les coûts d'investissement et une évaluation énergétique des économies réalisées par l'intermittence (indications en F TTC 1992).

■ Investissement :

- programmeur une voie avec régulation de la température réduite, de 600 à 1 800 F ;
- programmeur deux voies avec régulation de la température réduite, de 1 000 à 6 000 F ;
- programmeurs multivoies, de 5 000 à 35 000 F.

■ *Évaluation énergétique des économies réalisées par l'intermittence* : les indications données ci-dessous sont des valeurs indicatives pour des utilisations classiques selon la destination du bâtiment et son usage :

- habitat individuel, de 5 à 20 % ;
- tertiaire, de 10 à 40 %.

4. Gestion de la puissance

Comme on l'a déjà souligné au paragraphe 1, l'impossibilité de stocker l'électricité conduit à gérer la puissance appelée.

La structure tarifaire binomiale se décompose de la manière suivante :

- la *prime fixe* (ou abonnement), qui correspond à une participation aux frais d'installation et d'entretien du réseau d'alimentation. Implicitement, cette partie est fonction de la puissance souscrite P ;
- la *consommation*, qui est directement liée aux usages et qui se facture selon deux grands principes possibles :

- au coût moyen, c'est-à-dire que le producteur établit à l'année un prix du kilowattheure quel que soit le moment de l'utilisation,
- au coût marginal ; dans ce cas, le producteur essaie d'établir la vérité des prix en créant des prix variables du kilowattheure selon le moment de l'utilisation ; on a alors des postes tarifaires comme en France.

De tous ces systèmes de tarification, il découle, pour une installation en chauffage électrique, deux stratégies possibles :

- la souscription d'un contrat capable d'assurer la totalité des besoins, soit :

$$P = P_{\text{chauffage}} + uP_{\text{usages captifs}}$$

avec u coefficient d'utilisation. Cette solution entraîne alors un bilan économique d'exploitation lourd ;

- la souscription d'un contrat tarifaire optimisé exprimé par l'inégalité suivante :

$$P < P_{\text{chauffage}} + uP_{\text{usages captifs}}$$

Il est difficile de donner plus de précision à cette inégalité puisque les usages captifs sont très variables selon les types de bâtiment.

Exemple : supposons une installation d'une puissance de chauffage de 10 kW et d'une puissance installée en usages captifs (éclairage, appareils ménagers, etc.) de 8 kW.

Le contrat non optimisé conduit à souscrire une puissance de 18 kW. L'autre solution consiste à déléster les 8/10 du chauffage, ce qui permet de souscrire une puissance de 12 kW. Dans le cas où l'on utilise 2 kW d'usages captifs, la totalité de la puissance de chauffage est disponible.

En résumé, la puissance disponible en chauffage varie de 2 à 10 kW en fonction de l'utilisation des usages captifs.

Pour réaliser une installation qui permet un contrat tarifaire optimisé, on dispose de deux types d'équipements : les **asservissements** et les contacteurs-délesteurs-relesteurs plus connus sous le nom de **délesteurs** et qui interrompent momenta-

nément et automatiquement une partie de l'installation au profit des usages captifs de l'électricité.

4.1 Moyens

■ Asservissements

Ceux-ci se décomposent en deux volets : les relais d'asservissement et les combinateurs cycliques.

— Les **relais d'asservissement** autorisent ou condamnent un ou plusieurs équipements de manière impérative. Par exemple, l'autorisation d'un chauffage à accumulation pendant les heures creuses ou au contraire l'interdiction du chauffage des circulations (couloirs, halls, etc.) pendant les heures de pointe.

— Les **combinateurs cycliques** (figure 15) alimentent périodiquement des équipements pendant une période définie. Ils sont particulièrement utilisés pour les relances de chauffage à accumulation pendant les heures pleines ou pour un fractionnement du chauffage direct pendant les heures de pointe.

■ Délesteurs

On repère deux types distincts : ampèremétriques et intégrateurs.

● Délesteurs ampèremétriques (figure 16)

La consommation totale des usages de l'électricité est assurée par une mesure de l'intensité totale. Cette valeur est comparée à une valeur de référence qui correspond au contrat souscrit. Lorsque le courant appelé devient supérieur à la valeur de référence, le comparateur ouvre un circuit électrique appelé *non prioritaire* (une partie du chauffage). Pour éviter les phénomènes de *pompage*, une base de temps maintient cette interruption pendant plusieurs minutes.

À l'issue de la durée du cycle, un test est réalisé pour savoir si le circuit non prioritaire peut être à nouveau alimenté. Ce micro-enclenchement est plus rapide que le temps de réponse du disjoncteur et s'exécute cycliquement jusqu'au réenclenchement du circuit délesté.

De nombreuses variantes sont issues de ce principe. On peut noter, en particulier :

- les appareils à plusieurs sorties en cascade qui permettent de fractionner les puissances délestées ;
- les appareils à plusieurs sorties cycliques qui évitent de défavoriser les charges *non prioritaires* ;
- les appareils à plusieurs sorties qui combinent les deux options ci-dessus ;
- les appareils qui hiérarchisent eux-mêmes les sorties *non prioritaires*.

On prend garde d'installer ce matériel en tête de l'installation de manière à comptabiliser la totalité des consommations contrôlées par le disjoncteur. Lorsque l'installation est triphasée, on choisit de préférence des appareils triphasés à action phase par phase qui, dans les applications domestiques, donnent une souplesse accrue.

■ Délesteurs intégrateurs

Certains contrats de fourniture d'électricité ne contrôlent pas la puissance instantanée appelée mais l'énergie moyenne consommée sur une période de référence (quelques minutes). L'optimisation du contrat nécessite alors un délesteur plus perfectionné pour prendre en compte cette donnée supplémentaire.

Au début d'une séquence, un registre intègre les impulsions transmises par le compteur d'électricité et compare la mesure de l'énergie à la limite souscrite. Si la limite est dépassée, on déleste une première charge dont on connaît avec précision les caractéristiques. Si ce premier délestage ne suffit pas, on interrompt un deuxième circuit. À chaque fin de cycle, le registre est à nouveau initialisé mais la procédure de relestage peut obéir à un autre algorithme (contraintes des appareils délestés).

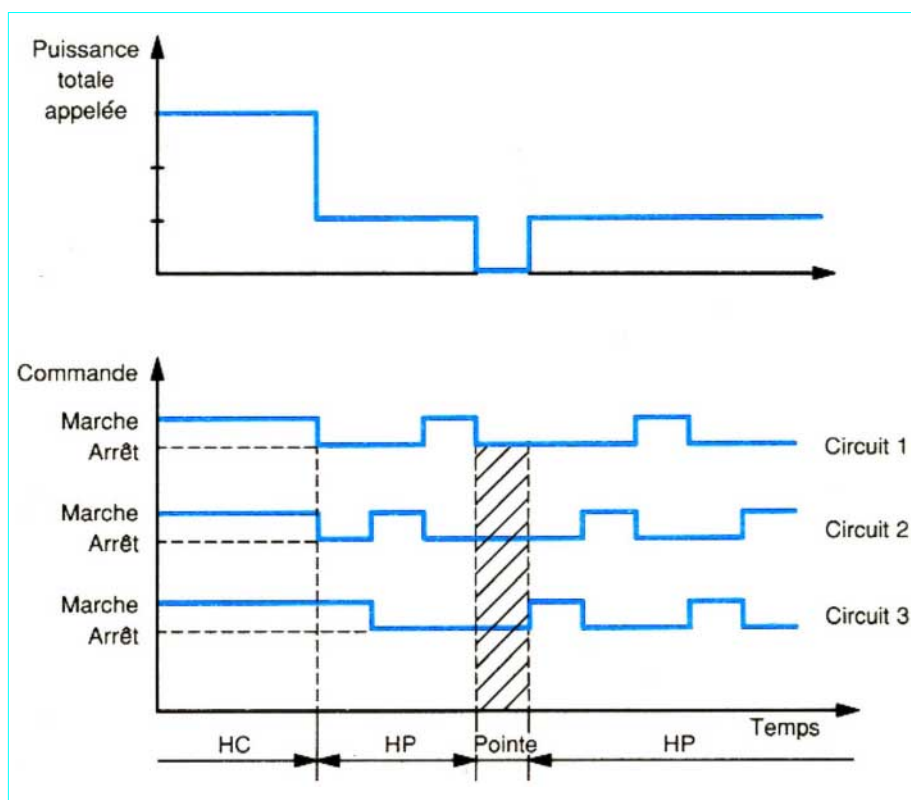


Figure 15 – Schéma de principe de l'utilisation d'un combinateur cyclique au 1/3 de puissance pour la relance d'un plancher chauffant électrique

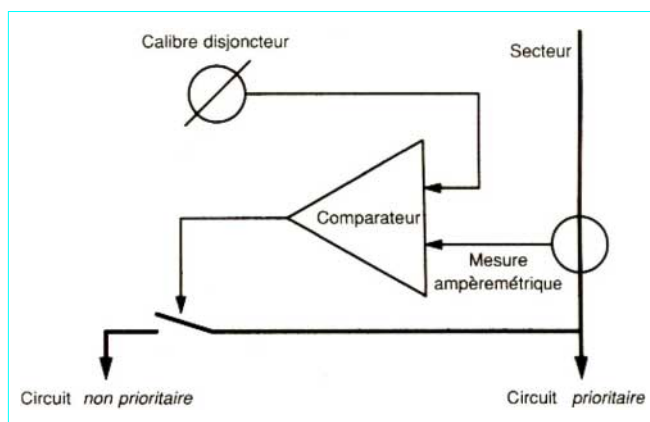


Figure 16 – Schéma de principe d'un délesteur ampèremétrique

4.2 Exemple d'application

L'exemple proposé concerne une *maison individuelle tout électrique*. Les puissances installées par utilisation sont :

| | |
|--|-------------|
| — chauffage électrique (par convecteurs) | 9 kW |
| — eau chaude sanitaire (par accumulation) | 2,2 kW |
| — cuisson (four classique, four à micro-ondes et plaque) | 9 kW |
| — lavage et séchage | 5 kW |
| — éclairage et usages captifs | (non connu) |

Sans équipement particulier, le contrat à souscrire s'élève à 12 kW. Toutefois, cette puissance disponible ne permet pas le fonctionnement simultané de l'ensemble des appareils installés. Par précaution et pour une meilleure qualité de service, on peut installer un délesteur qui assure, en période de forte demande (programmation des appareils, journée particulière, etc.), l'alimentation différée du chauffage électrique sans entamer le confort hygrothermique.

La figure 17 présente le tableau de distribution électrique avec la mise en place d'un délesteur à deux sorties cycliques.

■ **Principe de fonctionnement** : rappelons qu'en cas de dépassement, le délesteur effectue une coupure de la sortie 1 pendant quelques minutes, puis de la sortie 2 durant le même laps de temps, puis à nouveau de la sortie 1 et ainsi de suite. L'arrêt du cycle de délestage se fait dès que la puissance totale appelée revient à une valeur égale ou inférieure au contrat souscrit.

4.3 Données numériques

Comme pour la fonction programmation, la gestion tarifaire peut faire l'objet de deux types d'informations économiques (valeurs en F TTC 1992).

■ **Investissement** :

- délesteur ampèremétrique domestique (≤ 36 kVA), de 800 à 2 500 F ;
- délesteur ampèremétrique tertiaire (> 36 kVA), de 5 000 à 10 000 F.

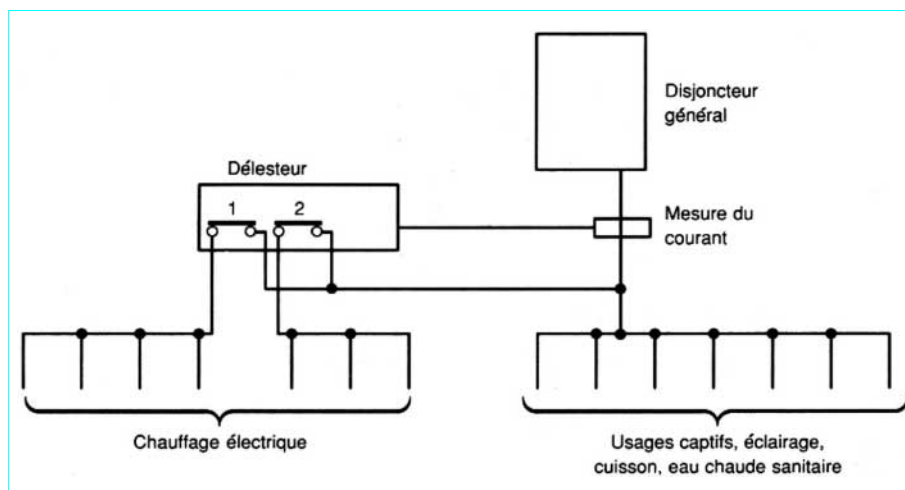


Figure 17 – Schéma d'installation d'une gestion de puissance pour une maison individuelle tout électrique

■ **Évaluation des économies réalisées par la gestion tarifaire :** les économies réalisées sont un des volets de l'intérêt de la gestion tarifaire. Elles dépendent directement des usages qui sont susceptibles d'être délestés. Pour en donner un exemple, le passage d'un contrat de 12 kVA-double tarif à 9 kVA-double tarif s'évalue à environ 650 F par an.

5. Domotique et gestion technique des bâtiments

Le développement de la micro-informatique et la meilleure connaissance de la thermique du bâtiment ont incité les industriels à intégrer toutes les fonctions de conduite et de gestion dans un même système, permettant à l'utilisateur d'avoir une information globale sur son installation (température, consommations) et d'en optimiser le confort et le coût de fonctionnement. Mieux encore, cette intégration tente de réunir toutes les fonctions techniques du bâtiment (sécurité des biens et des personnes, équipements non énergétiques, etc.).

Cette démarche s'accompagne d'une définition plus précise des ouvrages et prend une terminologie nouvelle : *domotique pour l'habitat* et *immotique pour les bâtiments d'activité*. Examinons dans ce paragraphe uniquement les aspects techniques plus connus sous les termes de domotique et GTB (gestion technique des bâtiments).

Deux objectifs se dégagent de cette globalisation :

- l'économie d'investissement due à l'utilisation rationnelle des infrastructures (réseau, périphériques, etc.) ;
- l'enrichissement fonctionnel lié à la synergie des équipements : un système global doit obtenir des performances supérieures à la somme des performances individuelles de chacun des produits assurant une fonction.

Une première exigence découle des objectifs précités : les moyens de communication entre les équipements. Une seconde contrainte est liée à une rapide évolution des activités qui entraîne une adaptation quasi permanente des bâtiments. La technologie numérique permet de répondre simplement à ces deux exigences en proposant des liaisons performantes qui assurent des transmissions de différents équipements entre eux sans multiplier les supports. Pour plus de détails sur les principaux éléments participant à l'organisation de ces communications, le lecteur se reportera utilement aux articles *Domotique* [C 3 781] dans le traité Construction, et *Réseaux locaux* [H 1 418], dans le traité Informatique.

5.1 Domotique appliquée à la gestion du chauffage

L'utilisation conjointe des mêmes structures matérielles de gestion technique de l'habitat et des capacités logicielles se développe dans deux directions majeures : confort et gestion.

5.1.1 Confort

Il faut tout d'abord signaler que ce terme doit être pris dans son sens le plus large, c'est-à-dire physique, moral et d'usage.

■ Confort physique

Il regroupe le confort hygrothermique, acoustique, visuel, olfactif et spatial. Cet article étant réservé aux systèmes de conduite et de gestion du chauffage électrique, évoquons uniquement des exemples représentatifs des interactions entre le chauffage et les autres fonctions de l'habitat.

L'intermittence du chauffage, développée dans le souci louable de la maîtrise de l'énergie, risque de pénaliser le confort thermique des occupants. Comme on l'a déjà évoqué, le recours à l'optimisation et l'auto-adaptativité permettent de remplir le double objectif de confort hygrothermique et de maîtrise de l'énergie.

L'utilisation des occultations doit prendre en compte les pré-occupations énergétiques et les préoccupations liées au confort visuel.

En terme de confort olfactif, la gestion de la ventilation des logements est un élément déterminant qui complète la contrainte naturelle d'hygiène, celle d'hygrométrie et la contrainte d'économie d'énergie de l'air ambiant.

Outre la pollution acoustique créée par les bruits extérieurs et intérieurs, la ventilation facilite les échanges et devient elle-même un générateur de nuisance sonore. Au-delà d'une conception soignée, la domotique pourrait améliorer la situation sans toutefois porter atteinte à sa fonction essentielle.

L'intégration architecturale des équipements joue sur la perception qualitative des matériels. La mise en œuvre de systèmes de conduite intégrés dans les émetteurs a permis d'améliorer sensiblement l'esthétique.

■ Confort moral (sécurité et prévention)

En plus des exigences de confort technique, les équipements de chauffage doivent garantir la sécurité. On retrouve sous cet aspect deux directions principales : la sécurité des biens et des personnes et la prévention.

Les matériels de chauffage sont munis d'organes de sécurité qui évitent lors d'incidents techniques ou de mauvaises utilisations les échauffements anormaux qui peuvent être à l'origine d'incendie ou de brûlures.

En terme de prévention, l'isolement électrique est renforcé pour les équipements destinés à être installés dans les locaux humides.

■ Confort d'usage

Que ce soit par l'utilisation locale de commande infrarouge ou par la commande téléphonique, la domotique, par ses nombreuses interconnexions, assure des facilités de conduite des équipements.

À titre d'exemple, la figure 18 montre la centrale Isis gérant l'ensemble des fonctions techniques d'un bâtiment.

5.1.2 Gestion

Le second objectif poursuivi par la domotique est une véritable gestion administrative et technique.

— **Gestion administrative** : la haute intégration des équipements nous permet, pour un coût marginal, de donner à l'utilisateur de réels moyens de suivre financièrement son installation. L'exploitant bénéficie ainsi d'un véritable outil qui lui permet, en outre, d'estimer les consommations prochaines selon différents scénarios de comportement et constitue un véritable *tableau de bord*.

— **Gestion technique** : ce tableau de bord a également des répercussions techniques car il permet d'*étalonner* la conduite de son installation et en fait un véritable *diagnostiqueur* du comportement thermique. Mieux qu'un *miroir* de la conduite, le tableau de bord doit assurer un véritable aide à la conduite.

Un second rôle, très important, de la domotique doit porter sur la maintenance. La multiplication des équipements de toute nature ne peut qu'engendrer des aléas de fonctionnement sans l'aide efficace de la domotique. Là encore, l'interconnexion des données doit assurer une véritable aide à la maintenance préventive, voire même conditionnelle.

5.2 Gestion technique des bâtiments (GTB)

Dans les bâtiments du secteur non résidentiel, l'objectif principal lié à l'introduction des nouvelles technologies est l'amélioration de la productivité. Outre les techniques de communication (télécommunications, informatique, vidéo), la GTB y participe étroitement en simplifiant et en optimisant la gestion et le confort.

On classe généralement les fonctions selon trois catégories :

— le confort qui englobe le chauffage, la climatisation, la ventilation, le froid, l'eau chaude sanitaire et les fluides ;
— la sécurité des biens et des personnes qui regroupe la détection incendie, l'extinction, l'intrusion, le contrôle d'accès et la gestion de la présence ;

— les courants forts et faibles où l'on distingue l'éclairage, la force motrice, l'électricité de secours, les ascenseurs, la sonorisation, etc.

La figure 19 donne l'organisation générale des systèmes de GTB.

Les objectifs de la GTB sont toutefois plus axés sur les préoccupations du gestionnaire qui s'affirment selon trois exigences de fonctionnement, de disponibilité et d'économie. Pour atteindre ces buts, c'est donc en terme d'organisation que l'on peut définir la GTB. On a pour habitude de classer les activités en trois étapes : information, décision, action.



Figure 18 – Centrale Isis d'un système domotique individuel
(doc. Merlin Gérin)

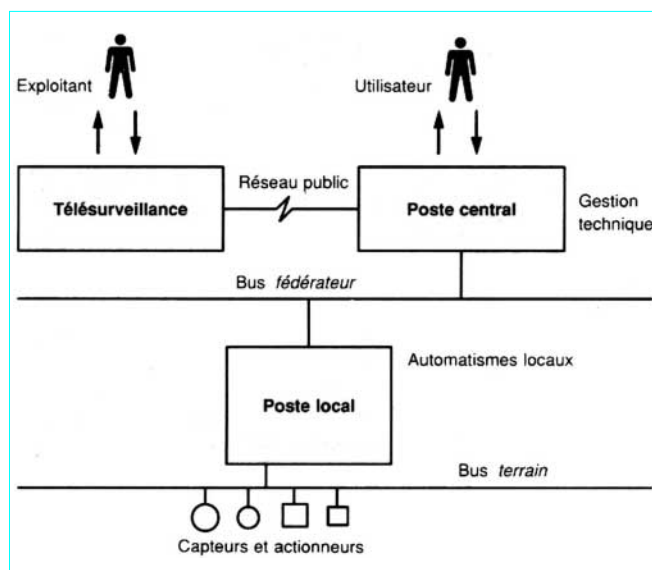


Figure 19 – Organisation générale des systèmes de GTB

Chauffage et rafraîchissement

par **Michel JOLION**

Bernard PLEYNET et collaborateurs

Électricité de France, Direction des Études et Recherches

Bibliographie

Guide technique de la climatisation individuelle. Costic, EDF, GIE Climatisation et Développement, éd. SETI (1991).

Guide de choix et d'installation des climatiseurs autonomes individuels, éd. Climatisation et Développement, EDF et CSTB.

3616 « LA CLIM ».

ACR. – *Manuel de la régulation et de la gestion de l'énergie.* 320 p., PYC Éd. (1990).

ALLARY. – *La régulation en génie climatique.* 92 p., Les Éditions Parisiennes (1987).

La gestion de l'énergie dans l'habitat. 90 p. + annexes, CATED (1985).

Guide pour la pratique de l'intermittence dans les bâtiments. 72 p., ADEME-CSTB (1988).

Fiche d'information consommateurs : Chauffage individuel. Régulation. ADEME (1989).

Fiche d'information consommateurs : Chauffage collectif. Régulation. ADEME (1989).

Fiche conseil chauffage : Bien utiliser le thermostat d'un convecteur électrique. 4 p., EDF (1990).

Fiche conseil chauffage : Programmer le chauffage électrique. 4 p., EDF (1990).

Les planchers chauffants par câbles électriques. Éd. Qualité Construction (1990).

Électrofioul 2 usages :

— Guide d'installation (janv. 1988) EDF-TA 187

— Guide de régulation :

matériel Landis et Gyr (déc. 1988) EDF-DD - QAE 197

matériel Satchwell (juin 1989) EDF-DD - QAE 198

matériel Stafa Control System (juin 1989) EDF-DD - QAE 199

Fonctionnement et ratios de consommations de 9 installations électrofioul en habitat collectif et tertiaire (nov. 1989). EDF-DER (HE 13 W 2882).

Retour d'expérience sur les chaufferies électrofioul mises en service par la GGF/BIP. EDF-DER (HE 11 W 2917).

PERCHE I

Des fiches pour PERCHE I - Sodel Conseil 126010 éd. (1982).

PERCHE C et T

Références SATEL :

— *Les raccordements hydrauliques* TA 122
 — *La régulation* TA 130
 — *Guide de faisabilité* TA 121
 — *Guide d'installation* TA 138
 — *Guide de maintenance* QAE
 — *Les problèmes de corrosion.* EDF - Direction
 Études et Recherche HE 11 W 2755
 — *Exemples pratiques de régulation avec du matériel modulaire :*

• Landis & Gyr (un seul départ
 régulé) TA 097
 • Landis & Gyr (plusieurs
 départs régulés) TA 098
 • Stafa Control System (un seul départ
 régulé) TA 099
 • Delta Dore (boîtier INCA) TA 100
 • Satchwell (un seul départ régulé
 ou plusieurs départs) TA 123
 — *Cahier des charges
 d'une GTC PERCHE* QAE 500
 — *Exemples pratiques de GTC PERCHE :*
 • Landis & Gyr (matériel VISOGYR) QAE 501
 • Satchwell (exemple d'une solution
 avec le BAS 700) QAE 502

Normalisation

| | | |
|---------------|-------|---|
| NF C 14-100 | 2-84 | Installations de branchement de première catégorie comprises entre le réseau de distribution et l'origine des installations intérieures. Règles. |
| NF C 15-100 | 5-91 | Installations électriques à basse tension. Règles. |
| UTE C 15-131U | 2-82 | Conditions particulières d'installation des appareils d'utilisation alimentés par des circuits appartenant à des installations différentes. Prescriptions provisoires. |
| UTE C 15-720U | 2-75 | Équipements de chauffage électrique des locaux. Équipements de chauffage électrique incorporés à la construction des bâtiments. Règles de sécurité électrique. Prescriptions provisoires. |
| NF C 32-330 | 3-85 | Équipements de chauffage par câbles chauffants avec revêtement métallique, destinés à être incorporés dans les parois des bâtiments. |
| NF C 47-110 | 6-81 | Thermostats d'ambiance (+ additif 6/89). |
| NF C 47-120 | 6-81 | Règles particulières spécifiques aux thermostats à incorporer dans les appareils de chauffage des locaux installés à poste fixe ; prescriptions provisoires. |
| NF C 47-121 | 10-87 | Dispositif de commande électrique automatique pour applications domestiques. Thermostats |

NF C 61-750 8-88

NF C 73-251 7-89

NF C 73-255 12-81

NF C 73-256 10-80

NF C 73-257 6-81

électroniques chronoproporionnels. Thermostats électroniques tout ou rien, à incorporer dans les appareils de chauffage des locaux installés à poste fixe. Règles d'aptitude à la fonction.

Dispositifs électroniques de délestage.

Appareils électrodomestiques chauffants. Appareils de chauffage des locaux. Règles d'aptitude à la fonction.

Appareils électrodomestiques chauffants. Appareils de chauffage des locaux à accumulation. Règles de sécurité.

Appareils électrodomestiques chauffants. Appareils de chauffage des locaux de type à accumulation à décharge réglable conçus exclusivement pour un temps nominal de charge de 8 h. Règles d'aptitude à la fonction.

Appareils électrodomestiques chauffants. Appareils d'accumulation à décharge réglable à recharge éventuelle diurne dite dynamique 24 h. Règles d'aptitude à la fonction.

CHAUFFAGE ET RAFFRAÎCHISSEMENT

| | | | | | |
|-------------|-------|---|----------------|-----------|---|
| NF C 73-600 | 10-85 | Sécurité des appareils électrodomestiques et analogues. Première partie : règles générales. | NF E 38-105 | 3-85 | Pompes à chaleur air extrait/air neuf. Règles d'aptitude à l'emploi. |
| NF C 73-630 | 9-88 | Sécurité des appareils électrodomestiques et analogues. Règles de sécurité. Deuxième partie : Appareils de chauffage des locaux. | NF E 38-106 | 3-85 | Pompes à chaleur extérieur/air recyclé. Règles d'aptitude à l'emploi. |
| NF C 73-671 | 8-88 | Sécurité des appareils électrodomestiques et analogues. Pompes à chaleur eau/eau. Règles de sécurité. | E 38-107 | 11-83 | Pompes à chaleur air extérieur/eau entraînées par moteur électrique de puissance thermique comprise entre 20 kW et 60 kW. Règles d'aptitude à l'emploi. |
| NF E 35-201 | 1-73 | Essai des machines frigorifiques. | NF E 38-110 | 3-84 | Pompes à chaleur. Modèle de fiche technique. |
| NF E 36-101 | 5-81 | Climatiseurs (conditionneurs d'air de pièce) à condenseur refroidi par air. Généralités. Caractéristiques de construction. Méthodes d'essais. Marquage. | E 38-151 | 7-83 | Chauffe-eau thermodynamique à accumulation (pompes à chaleur). Aptitude à l'emploi. |
| NF E 38-101 | 11-83 | Pompes à chaleur entraînées par moteur électrique. Méthodes d'essai. | E 38-152 | 7-83 | Chauffe-eau thermodynamique à accumulation (pompes à chaleur). Modèle de fiche technique. |
| NF E 38-102 | 3-85 | Pompes à chaleur air extérieur/eau de puissance thermique jusqu'à 20 kW. Règles d'aptitude à l'emploi. | NF T 56-201 | 7-88 | Plastiques. Matériaux alvéolaires rigides présentés sous forme de plaques de polystyrène expansé obtenues par moulage. Spécifications. |
| NF E 38-103 | 3-85 | Pompes à chaleur eau/eau de puissance thermique jusqu'à 50 kW. Règles d'aptitude à l'emploi. | CEI 675 | 1980 | Méthodes de mesure de l'aptitude à la fonction des appareils électrodomestiques de chauffage des locaux autres que ceux à accumulation de chaleur. |
| NF E 38-104 | 3-85 | Pompes à chaleur air extrait/eau. Règles d'aptitude à l'emploi. | DTU 65-71-2-86 | Exécution | de planchers chauffants par conducteurs et câbles électriques enrobés dans le béton. |

Fabricants. Fournisseurs

(liste non exhaustive)

| Fabricants | Chauffage direct | | | | | | Chauffage à accumulation | | | Fabricants | Chauffage direct | | | | | | Chauffage à accumulation | | |
|-----------------------|------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-------------|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------|------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-------------|--------------------------|-----------|--------------------------|
| | Convecteurs | Panneaux radiants | Planchers chauffants | Plafonds rayonnants | Cassettes rayonnantes | Aérothermes | Radiateurs | Planchers | Accumulation centralisée | | Convecteurs | Panneaux radiants | Planchers chauffants | Plafonds rayonnants | Cassettes rayonnantes | Aérothermes | Radiateurs | Planchers | Accumulation centralisée |
| Acome | | ● | ● | | | | | | | Finimétal | ● | | | | | | | | |
| Acova | | ● | | | | | | | | Noirot | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Airélec-Dytec | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | Normalu | | | ● | ● | ● | | | ● | |
| Applimo | ● | | | | ● | ● | ● | | | Porcher (ACEC) | ● | | | | | | ● | | ● |
| Atlantic-SFDT | ● | ● | | | | | | | | Rockwool Isolation | | | | ● | | | | | |
| Câbles Pirelli SA | | | ● | | | | | | | SCER | | | | ● | ● | | | | |
| Calder | | | | | | | ● | | | Sérif | ● | | | | | | | | |
| Calroc | | ● | | | | | ● | | | Sertim (Teval) | | | ● | ● | ● | | | | |
| Calwatt | | | ● | ● | ● | | | ● | | Star Unity SA | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | ● | ● |
| Campa | ● | ● | | | | | | | | Stiebel Eltron | ● | | | | | | ● | | ● |
| CEET (Sauter-Thermor) | ● | ● | | | | | | | | Thermaflex Ltd | | | ● | ● | ● | | | | |
| Deleage | | ● | ● | ● | ● | | | ● | | Thermalu Transglass | | ● | ● | ● | ● | | | ● | |
| Elztrip-Energikonfort | | ● | | | ● | | | | | Tresco (Frico) | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Eswa | | | ● | ● | ● | | | ● | | Zaegel Held Thermique | ● | | | | | | | | |

| Fabricants | Climatiseurs individuels | | | | | Pompes à chaleur | | | | |
|---------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|---------|
| | Mobiles (mono-blocs et split) | fixes | | | | air/air roof-top | thermo- frigo- pompe | air extrait /eau | air intérieur /eau | eau/eau |
| | | air/air monoblocs | air/air split system | eau/air monoblocs | eau/air split system | | | | | |
| Airelec | • | • | • | | • | • | | | | |
| Airwell (1) | • | • | • | • | • | • | • | | | |
| Atlantic | | • | • | • | • | | | | | |
| Carrier (1) | • | • | • | • | • | • | | | • | • |
| CIAT (1) | • | • | • | • | • | • | • | | • | • |
| Delchi | • | • | • | • | • | • | | • | • | • |
| Électrolux | • | • | • | | | • | | | | |
| Frigicoll (Hitachi) | | • | • | • | | • | • | | • | • |
| Mégatherm Daikin | | • | • | | | | | | | |
| Mitsubishi Electric | | • | • | | | | | | | |
| Moulinex | • (2) | | | | | | | | | |
| SCAC | | | • | • | • | • | | | • | |
| Technibel (1) | • | • | • | • | • | • | | | • | • |
| Toshiba | • | • | • | | | • | | | | |
| Trane (1) | | • | • | • | • | • | | • | • | • |

(1) Ces constructeurs se sont regroupés dans un Groupement d'Intérêt Économique : Climatisation et Développement.

(2) Modèles existant en version réversible de pompe à chaleur.

| Chaudières électriques (électrofioul) | Systèmes de conduite et de gestion | | | |
|---|--|--|---|---|
| Cetal Charot Charon Collard Trolard Gianola Innovations thermiques Lacaze Le Calopulseur Sodiet Industrie | AEG AETA Alfa Colombes AGT Clemessy Climel CRT Deléage Delta Dore (1) Éberlé | ECM EMA Flash (1) Grasslin Hager Honeywell (1) Jaeger Johnson Controls JPC | Landis et Gyr (1) Legrand Merlin Gerin Napac Propec Ranco Samson Satchwell Sauter | Semeru Sofrel Sonofor Stafa Control System (1) Sulzer TA Control Technocen Theben Théobald Wit Télégestion |

(1) Ces constructeurs se sont regroupés dans l'association ACR : Association Confort Régulation.

Organismes

| | |
|----------|--|
| ACR | Association Confort Régulation. |
| ADEME | Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. |
| CETIAT | Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques. |
| CMC | Groupement des Constructeurs de Matériels de Chauffage central par l'Eau chaude et de Préparation de l'Eau chaude sanitaire. |
| COSTIC | Comité Scientifique et Technique des Industries du Chauffage, de la Ventilation et du Conditionnement de l'Air. |
| CSTB | Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. |
| DOMERGIE | Groupement des Industries de l'Appareillage d'Installation et de ses Applications Domotiques. |
| EDF | Électricité de France. |

| | |
|----------|--|
| FG 3E | Fédération Nationale de la Gestion des Équipements, de l'Énergie et de l'Environnement. |
| GIE | Climatisation et Développement. |
| GIFAM | Groupement des Industries Françaises des Appareils d'Équipement Ménager. |
| GIMELEC | Groupement des Industries de Matériels d'Équipement Électrique et de l'Électronique Industrielle Associée. |
| SED | Site d'Essai pour la Domotique. |
| SYMECORA | Syndicat de la Mesure, du Contrôle et de la Régulation Automatique. |
| UCF | Union Climatique de France. |
| UNICLIMA | Union Syndicale des Constructeurs de Matériel Aéronautique, Thermique, Thermodynamique et Frigorifique. |