

SEPTIÈME CONGRÈS INTERNATIONAL DU CHAUFFAGE, DE LA VENTILATION ET DU CONDITIONNEMENT

SEPTEMBRE 1947



COMMUNICATION DE M. J. RAUSSOU

Ingénieur E. T. P.

Directeur Commercial de la C^o Electrochimique de Régulation.

Les principes de la Régulation Automatique de la température d'une enceinte et leur application

Régulation de la température des locaux et des installations de chauffage à inertie calorifique non négligeable

I — LES PRINCIPES DE LA RÉGULATION AUTOMATIQUE DE LA TEMPÉRATURE D'UNE ENCEINTE ET LEUR APPLICATION

Pour comparer plus commodément les divers systèmes ou appareillages de régulation, l'habitude a été souvent prise de classer ces appareillages en deux catégories suivant la façon dont ils réagissent :

- les régulations dites à *posteriori*;
- les régulations dites à *priori*.

1^o Sous le terme de « *régulation à posteriori* » on classe tous les appareils qui, destinés à régler une variable, attendent pour intervenir que cette variable ait elle-même subi un début de variation.

C'est par exemple le cas d'un thermostat d'ambiance destiné à maintenir constante la température d'une pièce. Ce thermostat ne peut agir sur l'organe de réglage que lorsque la température de la pièce a déjà varié d'une quantité dont la valeur dépend de la sensibilité du thermostat en régime variable.

2^o Sous le terme de « *régulation à priori* » on classe au contraire tous les régulateurs qui pour régler une variable, agissent avant que cette variable n'ait changé de valeur, en fonction de la cause qui provoque la variation de cette variable.

C'est le cas par exemple d'un régulateur qui, pour maintenir constante la température de la pièce précédemment réglée par thermostat, augmente ou diminue la température de l'eau alimentant un radiateur de chauffage suivant les variations de la température extérieure. Ce régulateur agit sur la température de l'eau dès que la température extérieure varie, sans attendre que la température du local ait varié.

Cette classification conduit les usagers à poser la question suivante : dans quel cas faut-il utiliser un régulateur à *posteriori*? Dans quel cas faut-il utiliser au contraire un régulateur à *priori*?

Ainsi posée, la question nous semble mal posée car sous l'influence

de la classification précédente, les usagers sont amenés à penser qu'il n'y a que deux solutions possibles et opposées, l'une excluant l'autre.

Or cette classification qui paraît séduisante à première vue, est incomplète, car elle n'envisage pas tous les types de régulations possibles.

Présentation véritable du problème. Comment se pose en effet le problème de la régulation de la température d'une enceinte? Dans le cas le plus général, on désire que cette température suive un programme déterminé à l'avance, malgré toutes les perturbations auxquelles l'enceinte est soumise.

Pour maintenir ce programme de température, on dispose d'un moyen de chauffage dont l'intensité est réglable.

Admettons provisoirement que la température de l'enceinte doit être constante et supposons que l'équilibre de température soit obtenu, l'intensité du chauffage ayant une valeur définie. Si rien ne venait modifier les échanges thermiques existants la température se maintiendrait constante et le problème serait résolu.

Or les échanges thermiques varient. Pour que la permanence du réglage de la température soit assurée, il convient qu'à chaque instant la quantité de chaleur envoyée dans le local compense exactement la quantité de chaleur perdue par celui-ci.

Nous sommes donc amenés à faire le bilan de toutes les sources qui peuvent fournir de la chaleur au local et de toutes les causes qui peuvent modifier les pertes de chaleur de ce local.

1° *Sources de chaleur.* — Les sources de chaleur sont :

- d'abord l'installation de chauffage elle-même;
- ensuite les apports calorifiques que peut recevoir le local, soit :
 - a) par les occupants;
 - b) par l'éclairage;
 - c) par les sources intérieures de production de chaleur : machines, etc.;
 - d) l'insolation.

2° *Les pertes extérieures sont conditionnées :*

- par la température intérieure;
- par la température sèche extérieure;
- par l'influence du vent;
- par l'humidité, pluie, neige, etc.,
- par l'insolation.

Il y a lieu de remarquer que l'influence du vent se traduit de deux manières : d'abord par l'augmentation du coefficient d'échange superficiel des matériaux constituant le mur, ensuite par l'augmentation du renouvellement d'air à travers les murs eux-mêmes et les joints des ouvertures.

D'autre part, l'insolation qui était déjà indiquée comme source de chaleur intérieure est également comptée dans l'énumération des causes agissant sur les pertes vers l'extérieur. En effet comme il a déjà été souvent exposé, l'effet de l'insolation se traduit de deux manières : soit directement au travers de vitrages par échauffement des parois ou planchers intérieurs du local, soit indirectement par échauffement des faces extérieures du mur et modification du flux de chaleur sortant.

Le bilan ci-dessus nous montre qu'il existe un grand nombre de facteurs qui peuvent provoquer des variations de la température intérieure.

Dans le cas le plus général aucun d'eux n'est négligeable et nous pourrions donc définir le principe général de la régulation à réaliser en disant que :

« Pour maintenir suivant une loi fixée à l'avance la température d'une enceinte, la régulation devra agir en tenant compte de toutes les variables qui interviennent dans les échanges thermiques de l'enceinte. »

Il ne s'agit donc pas de réglage à priori ou de réglage à posteriori mais bien d'un réglage comprenant des variables dont on se servira pour agir à priori et d'autres variables dont on se servira pour agir à posteriori.

Cas particuliers.

On peut envisager une série de cas particuliers dans lesquels une ou plusieurs variables deviennent des constantes. Il en résultera divers modes de réglage qui pourront dans certains cas être classés comme des réglages uniquement à priori ou uniquement à posteriori.

Exemples. — 1° *Supposons que tous les apports intérieurs soient constants ou nuls.* — Dans ce cas, il n'existe plus que des variables extérieures et une seule source de chaleur : l'installation de chauffage. En première analyse, la régulation pourra se faire à priori, la puissance du chauffage étant définie en fonction des variables extérieures.

2° *Toutes les variables extérieures sont constantes ou nulles.* — Il existe une ou plusieurs sources de chaleur intérieure. — Ce sera le cas par exemple d'une salle complètement isolée de l'extérieur, entourée par des locaux à température constante et recevant des occupants, des machines, etc.

Dans ce cas la régulation pourra être faite à posteriori, une élévation de la température du local se traduisant par un abaissement de la puissance du chauffage utilisé.

LOIS QUI LIENT LES VARIABLES

Pour chaque enceinte et chaque installation de chauffage, il existe des relations obligées entre les diverses variables énumérées ci-dessus. Il ne peut donc être question d'attribuer une valeur arbitraire à l'une ou l'autre d'entre elles indépendamment de l'influence des autres.

Éléments caractéristiques de l'influence des variables. — L'influence des variables dépend de la nature des installations et de l'enceinte considérée.

Considérons par exemple un local chauffé par radiateur à eau chaude, l'influence de l'installation de chauffage sera caractérisée par la surface du radiateur par son coefficient d'émission et par l'écart qui existe entre sa température moyenne et la température du local.

L'influence des apports calorifiques sera définie par le maximum de calories qui pourra être apporté au local en une heure par l'ensemble des diverses sources d'apports.

L'influence de la température sèche sera caractérisée par les surfaces de déperdition, leur coefficient de transmission en air calme et l'écart entre la température intérieure et la température extérieure.

L'influence du vent sera caractérisée par l'augmentation du coefficient d'échange superficiel de la paroi extérieure du mur en fonction de la vitesse et par l'augmentation du renouvellement d'air en fonction de cette vitesse.

L'influence de l'humidité sera caractérisée par l'augmentation du coefficient d'échange superficiel de la paroi extérieure du mur et par l'augmentation du coefficient de conductibilité du mur.

L'influence de l'insolation se caractérisera par l'augmentation de la température de la face extérieure du mur.

Relations entre les éléments caractéristiques. — Il convient donc de comparer les diverses influences des variables pour établir les lois suivant lesquelles chacune d'elles doit intervenir dans la régulation.

Ceci nous amène à distinguer deux cas :

- 1° Le régime est établi à chaque instant;
- 2° Le régime est constamment variable.

1^{er} cas. — Nous supposons le régime établi à chaque instant, ce qui revient à considérer comme nulles les capacités calorifiques du bâtiment et du chauffage. Dans ce cas, toute variation d'une variable de refroidissement doit se traduire par l'augmentation d'une variable de réchauffement. Or la seule variable de réchauffement sur laquelle la régulation puisse agir est l'installation de chauffage elle-même puisque en général la régulation n'a aucune action sur les apports.

Si nous prenons le cas particulier d'une installation de chauffage à eau chaude il convient donc d'établir la relation qui lie la température moyenne des radiateurs à la température extérieure d'une part, puis à la variation de la vitesse du vent, de l'humidité et de l'insolation d'autre part.

Il y aura lieu ensuite d'établir la relation qui existe entre les apports calorifiques et la variation de température moyenne des radiateurs. Cette loi sera établie en comparant la puissance fournie par l'appareil de chauffage par degré d'écart et les calories d'apport également rapportées au degré d'écart entre la température désirée pour le local et l'excès de température (due aux apports) admis autour de cette température.

APPLICATION DE CES PRINCIPES

En définitive on se trouvera en possession d'un certain nombre de variables liées entre elles par des relations définies et le régulateur devra réaliser automatiquement les correspondances ainsi explicitées.

Le problème est difficile à résoudre par les moyens mécaniques mais l'idée d'employer le pont de Wheatstone a fourni une solution élégante, rendue pratiquement utilisable par l'adjonction du micro-contacteur S.P.C. MOREAU au galvanomètre de la diagonale du pont.

Le régulateur S.P.C. MOREAU règle, suivant les principes posés plus haut. En effet :

1° Il possède autant de prises sensibles qu'il existe de variables.

Dans le cas le plus général il y aurait donc :

- 1 prise de température eau chaude;
- 1 prise de température extérieure;
- 1 prise sensible au vent;
- 1 prise sensible à l'insolation,
- 1 prise sensible à l'humidité, pluie, neige, etc.;
- 1 prise de température sensible aux apports calorifiques.

2° Ces prises ont des valeurs qui sont liées par les lois définies ci-dessus et leur ensemble commande le galvanomètre micro-contacteur placé dans la diagonale du Pont de Wheatstone.

MODE D'ACTION DU RÉGULATEUR SUR LE SYSTÈME À RÉGLER

Le micro-contacteur ci-dessus peut réaliser suivant les besoins une commande dite « tout ou rien » ou au contraire une commande dite « progressive ».

Le choix entre ces deux types d'action peut être imposé par l'appareil-

lage : action par « tout ou rien » dans le cas de contacteur commandant des moteurs de ventilateurs, de brûleurs automatiques, tout ou rien, etc., action progressive au contraire lorsqu'il s'agit d'organes progressifs tels que vannes ou servo-moteurs à positions multiples ou à fonctionnement continu. Mais le choix peut être effectué également a priori et les organes d'exécution déterminés en conséquence.

Lorsque le choix est libre vaut-il mieux utiliser la commande par « tout ou rien » ou la commande progressive?

A cette nouvelle question souvent posée également, on peut répondre par un raisonnement analogue à celui qui a été fait lors du choix des principes de régulation. Il faut en effet que la variation de puissance du système commandé, et qui est provoquée par la régulation, ait la même allure que les variations de consommation provoquées par tous les facteurs variables.

Dans le cas particulier où les facteurs variables ont une variation brutale quasi instantanée, le régulateur devra agir instantanément, soit lors de l'augmentation de puissance soit de la diminution de puissance, soit dans les deux sens.

On retrouve ici le mode de réglage par « tout ou rien » ou par « tout ou peu » (réglage qui dérive du précédent).

Mais dans le cas le plus général, les facteurs extérieurs agissent non plus instantanément mais avec des vitesses quelconques. Le régulateur devra donc agir avec une vitesse variable dans les deux sens, vitesse qui devra s'accorder avec la vitesse variable des facteurs extérieurs et qui pourra être nulle à certains moments. On retrouve dans ce cas général le réglage progressif à vitesse variable et à position d'équilibre.

Anticipant sur la suite de l'exposé et considérant le cas réel où le régime de fonctionnement de l'installation est constamment variable, il faut préciser que le mode de réglage progressif à vitesse variable doit également tenir compte de la capacité calorifique de système chauffant, de ce qu'on a appelé le « retard de réponse » à la commande.

Le régulateur progressif à vitesse variable doit donc également être compensé. Il est intéressant de signaler que dans les régulateurs progressifs à vitesse variable, appliquant les principes énoncés plus haut et utilisant le pont de Wheatstone à micro-contacteur, la compensation se fait elle-même à vitesse variable, sa mise en jeu se faisant sous la dépendance de la vitesse de réponse de l'installation.

Les régulateurs progressifs diffèrent des régulateurs tout ou rien en ce qu'ils définissent une position d'équilibre de l'organe de réglage séparant les deux positions d'enclenchement et de déclenchement qui existent seules dans le régulateur tout ou rien. Ce dernier est donc impuissant à donner une position d'équilibre intermédiaire entre l'ouverture totale et la fermeture totale à l'organe commandé. Cependant, grâce à la capacité calorifique du système chauffant on peut concevoir la réalisation d'une régulation semi-progressive d'une température en utilisant un organe de réglage du type progressif commandé par un régulateur du type « tout ou rien » ou même dans certains cas particuliers, en utilisant un organe de réglage tout ou rien commandé par un régulateur tout ou rien.

En effet, grâce à la capacité calorifique du système chauffant, la température que l'on désire régler ne prend pas instantanément la valeur maximum qui correspond à l'ouverture totale de l'organe de réglage; cette température s'établit progressivement. Lorsqu'elle passe par la valeur de réglage recherchée, le régulateur tout ou rien supprime totalement le chauffage. Au bout d'un certain temps la température cessera de croître. De même que l'élévation de la température ne se produisait pas instantanément, de même l'abaissement de la température consécutive à la suppression du chauffage se fera avec une certaine lenteur qui dépend justement de la capacité calorifique de l'installation. Lorsque

cette température se sera abaissée d'une certaine quantité en dessous de la valeur de réglage, quantité qui dépend de la sensibilité du régulateur, le système chauffant sera remis en action par le régulateur et les mêmes phénomènes se reproduiront; la température que l'on cherche à régler oscillera donc autour de la température de réglage et ses variations seront d'autant plus faibles et la régulation d'autant meilleure que la sensibilité du régulateur sera plus grande, c'est-à-dire que l'écart entre la température d'enclenchement et la température de déclenchement sera plus petite. Pour une grande sensibilité du régulateur la précision de la régulation obtenue sera comparable à celle que l'on obtiendrait avec un régulateur progressif mais ce résultat ne sera acquis qu'au prix d'une fréquence de fonctionnement très élevée qui pourra atteindre plusieurs enclenchements et déclenchements par minute si l'on recherche la précision du degré dans une installation à capacité calorifique moyenne ou faible.

L'organe de réglage sera donc en fonctionnement quasi-permanent, il en résultera une fatigue considérable parfois même une impossibilité pratique de fonctionnement.

Certains organes en effet ne peuvent supporter qu'un nombre d'opérations limitées par unité de temps. De toute façon, l'appareillage risque d'être mis hors d'usage rapidement par usure prématurée si l'on songe que dans le bâtiment la régulation reste en service permanent 24 heures par jour pendant plus de six mois.

Ce n'est donc que dans des cas particuliers et avec un appareillage spécialement construit à cet effet que l'on peut utiliser ce mode de réglage.

Remarques sur la correction de la température réalisée à l'intérieur des locaux en fonction des apports calorifiques intérieurs ou de la température intérieure. — La mesure et l'utilisation de la température extérieure et en général des variables extérieures au local ne présente aucune difficulté.

Il n'en va pas de même de la mesure et de l'utilisation des variables intérieures qui exige des précautions particulières. Ces variables sont décelées en général par l'élévation de la température intérieure qu'elles produisent dans les locaux.

— S'il s'agit d'une pièce unique, le contrôle de la température est aisé à l'aide d'une prise sensible.

— S'il s'agit de locaux multiples, on sera amené à fractionner la prise sensible, à la limite, en autant de tronçons qu'il y a de pièces différentes.

Il ne peut être question en effet d'avoir recours à la « pièce témoin » utilisée aux premiers âges de la régulation et dont le procès n'est plus à faire.

Mais cette mesure générale des températures et la correction centrale qu'elle entraîne n'ont de sens que si l'ensemble du bâtiment est soumis aux mêmes apports.

Dans ce cas en effet, il est légitime de diminuer la puissance en fonction de l'élévation générale constatée, puisque chaque pièce en particulier a subi une élévation de température.

Dans le cas contraire où les locaux reçoivent des apports hétérogènes, il est illusoire de faire une correction centrale des températures en fonction de la température intérieure puisque si certains locaux sont plus chauffés les autres ne recevant pas d'apports le sont correctement. Il n'y a donc pas lieu d'abaisser la température de ces locaux pour éviter la surchauffe dans certains autres.

On voit donc qu'il est impossible de répondre à une demande souvent faite de correction *générale* de la température en fonction de la température moyenne dans un bâtiment dont une face est exposée au nord et l'autre au sud. Cette correction ne donnerait satisfaction ni aux occupants nord ni aux occupants sud.

S'il existe une inégalité entre diverses parties d'un bâtiment les uns

recevant des apports, d'autres n'en recevant pas, il est nécessaire, comme on le fait pour les parties du bâtiment diversement exposées, de réunir sur un même circuit tous les locaux ayant des caractéristiques d'apports semblables.

Cependant, il peut arriver dans une installation que les locaux soumis aux apports représentent la partie la plus considérable de l'installation. Dans ce cas on peut admettre une correction centrale en sacrifiant les quelques locaux qui, n'ayant pas d'apports, se trouveront un peu moins chauffés.

On peut aussi remarquer que la prise de température intérieure destinée à tenir compte de l'influence des apports calorifiques intérieurs permet aussi de corriger les variations de la température intérieure qui éventuellement pourraient résulter d'un excès de chauffage dû à une adaptation imparfaite de l'installation de chauffage aux besoins réels du bâtiment.

En effet, que l'élévation de la température du local soit due à des apports réels ou qu'elle soit due à une surchauffe provoquée par l'installation de chauffage, le régulateur enregistrant cette variation de température intérieure provoquera la correction correspondante sur la puissance du chauffage, tendant ainsi à régler la valeur de la température intérieure désirée.

3^o *Cas où la correction intérieure doit être dissymétrique.* — La correction par prises de température intérieure agit aussi bien pour une élévation que pour un abaissement de la température intérieure du local et ceci est favorable dans le cas général. Il existe cependant des cas où il est nécessaire de ne faire qu'une correction dissymétrique : c'est le cas des groupes scolaires en particulier.

En général en effet de nombreuses classes sont branchées sur un même circuit. Ces classes sont occupées par un nombre d'enfants comparable et par conséquent sont tributaires d'une correction de la température intérieure pour compenser les apports dus aux occupants. Or, pour des questions d'organisation il arrive souvent que les récréations n'ont pas lieu simultanément pour toutes les classes. Les classes dont les élèves sont en récréation sont ventilées par l'ouverture des fenêtres, il en résulte un abaissement sensible de la température intérieure pendant cette aération et la correction habituelle entraînerait une augmentation de la puissance chauffante, d'où surchauffe dans les locaux encore occupés.

Il est donc nécessaire de prévoir une correction dissymétrique agissant en cas d'élévation de température mais n'agissant pas lorsque la température s'abaisse.

2^o CAS DE RÉGIME VARIABLE

Lors de la recherche des relations entre les variables nous avons envisagé deux cas et nous avons exposé d'abord les relations existant entre les variables en supposant le régime constamment établi. Or, dans la réalité le régime n'est jamais établi, nous nous trouvons toujours en régime constamment variable.

Les lois qui relient les variations dont il est question deviennent plus complexes. Elles font intervenir les inerties calorifiques du bâtiment et des installations et l'on rejoint ainsi le 2^e problème que nous nous sommes proposés de traiter.

II — RÉGULATION DE LA TEMPÉRATURE DES LOCAUX ET DES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE A INERTIE CALORIFIQUE NON NÉGLIGEABLE

1^o On ne peut jamais faire abstraction de l'inertie calorifique du bâtiment et de l'installation de chauffage et tous les travaux de MM. NESSI et NISOLLE montrent combien leur considération est indispensable lorsque

l'on veut calculer, régler et conduire automatiquement une installation en régime variable.

Il n'y a pas lieu de reprendre ici l'exposé de ces questions connues. Nous plaçant simplement au point de vue de la régulation nous retiendrons de ces travaux qu'ils conduisent à comparer l'inertie calorifique du bâtiment à celle de l'installation de chauffage et qu'en conséquence, les régulateurs de température doivent être conçus et construits suivant des principes découlant de cette comparaison.

Considérons en effet un bâtiment à capacité calorifique non négligeable. Ce bâtiment est soumis à toutes les variations de température extérieure précédemment explicitées et l'on désire maintenir à chaque instant une température définie à l'intérieur de ce bâtiment.

Supposons l'équilibre réalisé à un instant donné. A cet instant, la température de l'air du local et les températures des faces intérieures des parois ont une valeur qui permet de définir le flux de chaleur perdu par l'air du local. Au même instant la température de la surface des appareils de chauffage a une valeur qui dans les mêmes conditions représente la quantité de chaleur fournie à l'air du local. Cette quantité de chaleur compense exactement les pertes et la température de l'air reste constante.

Supposons qu'une perturbation extérieure de valeur unité se produise. L'effet de cette perturbation se traduira par une variation dx de la température de la surface intérieure des murs, au bout d'un certain temps dz_1 provoquant ainsi une variation des pertes calorifiques de l'air du local (courbe d'influence de MM. NESSI et NISOLLE).

Supposons de même qu'une perturbation de valeur unité de la température du fluide chauffant se produise, l'effet de cette perturbation se traduira par une variation dy de la température de la surface extérieure de l'appareil de chauffage au bout d'un temps dz_2 provoquant une variation de l'émission calorifique dans le local.

Pour qu'il y ait équilibre et que la température intérieure conserve la valeur désirée, il faut que la variation des pertes calorifiques du local soit compensée par la variation de l'émission calorifique, donc que la variation de température dx de la face du mur soit compensée par une variation de température dy de la surface de l'appareillage de chauffage.

On voit donc :

1° qu'il existe comme en régime établi une relation entre la variation d'une ou plusieurs variables extérieures et la variation de la température du fluide chauffant;

2° Que les variations dx et dy se produisent à des temps dz_1 et dz_2 et qu'en général il n'y a pas concordance entre ces temps dz_1 et dz_2 .

On peut résumer ceci en disant qu'à un instant zéro, une variation dx due à une perturbation extérieure ayant pris naissance au temps ($- dz$) doit être compensée par une variation dy due à une perturbation du chauffage ayant pris naissance au temps ($- dz_2$). On peut donc prévoir qu'il y aura trois combinaisons possibles :

soit $dz_1 = dz_2$;

soit $dz_1 > dz_2$;

soit $dz_1 < dz_2$

1° Si $dz_1 = dz_2$ les inerties calorifiques du bâtiment et de l'installation de chauffage sont égales (par exemple bâtiment léger, béton et verre, sans gros murs intérieurs) et chauffage à vapeur ou à air chaud).

Dans ce cas on voit que toute perturbation causée par une variable doit être immédiatement compensée par une variation du fluide chauffant suivant une loi définie.

La régulation à réaliser dans ce cas est analogue à celle dont nous avons parlé en régime constamment établi (fig. 1).

2° $dz_1 > dz_2$ (fig. 2).

L'inertie du bâtiment est plus grande que celle du chauffage (cas d'un bâtiment lourd, murs épais, petites ouvertures murs de refends importants, et chauffage léger ou assez léger, air chaud, vapeur ou eau pulsée avec convecteur).

Dans ce cas lorsqu'une perturbation extérieure se produit, il ne faut

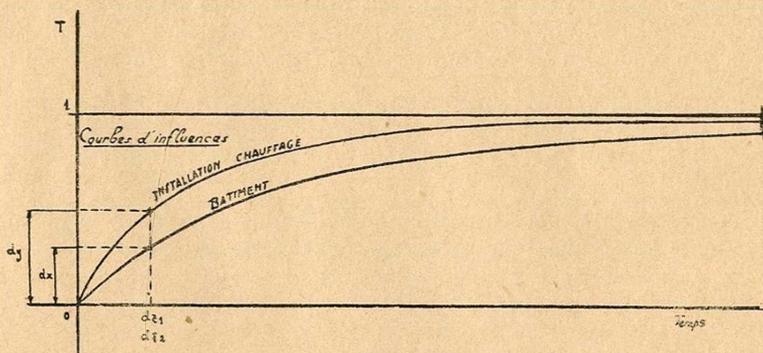


FIG. 1. — $dz_1 = dz_2$
Inerties. Bâtiments et installations égales
(La valeur de dy relative à dx sera obtenue au bout de dz_1).

agir sur le système chauffant qu'avec un retard qui en première approximation sera égal à $(dz_2 - dz_1)$. La régulation doit apporter ce décalage.

Il existe une manière intéressante de réaliser la régulation dans les deux cas ci-dessus : c'est de conduire et régler le chauffage suivant la

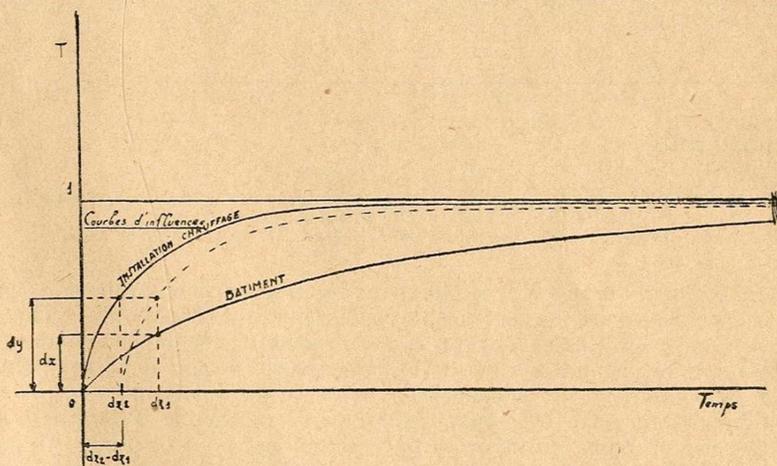


FIG. 2. — $dz_1 > dz_2$
Inertie Bâtiment plus grande que l'inertie de l'installation de chauffage.
En décalant l'action sur le chauffage de $(dz_2 - dz_1)$ on obtient la valeur de dy au même instant dz_1 correspondant à dx .

courbe de puissance déterminée par les procédés de MM. NESSI et NISOLLE. La valeur de la puissance à mettre en jeu à chaque instant est proportionnelle à la différence des ordonnées de la courbe de température virtuelle intérieure et la courbe de température virtuelle extérieure;

les travaux de MM. NESSI et NISOLLE permettent de déterminer ces courbes de température virtuelle pour un bâtiment, une installation de chauffage et un programme d'utilisation donné.

La connaissance de ces courbes permet de réaliser un régulateur, le NESNIS MOREAU qui, influencé d'une part par la température virtuelle extérieure et d'autre part, par une came représentant la température virtuelle intérieure, conduit le chauffage automatiquement pour réaliser le programme de température réelle intérieure désirée.

3° $dz_1 < dz_2$ (fig. 3).

L'inertie du bâtiment est plus faible que celle du chauffage, cas d'un bâtiment léger : béton, vitrage, sans gros murs intérieurs et installation lourde, eau chaude à thermosiphon, chauffage incorporé dans le sol ou le plafond.

À l'inverse du cas précédent, c'est la variation du fluide chauffant qui doit précéder la perturbation extérieure. Il semble donc que l'on soit désarmé pour régler ce 3^e cas puisqu'il faut devancer la variation extérieure.

Il n'en est rien cependant, dans le cas le plus général où la perturbation extérieure n'est pas brusque, mais varie progressivement, et

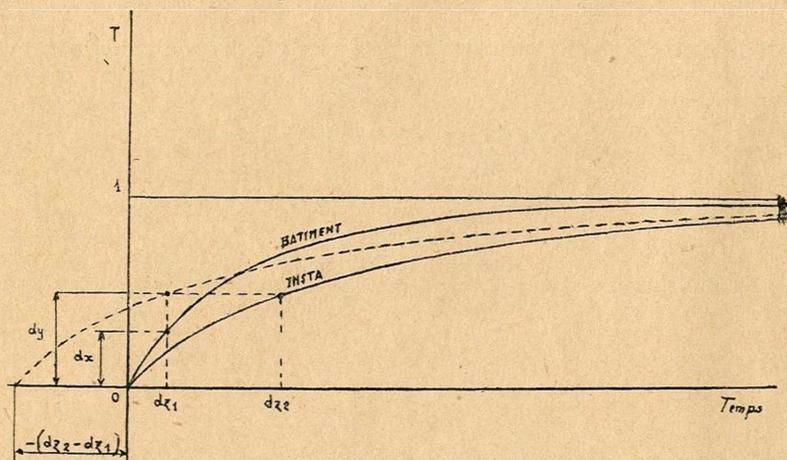


FIG. 3. — $dz_1 < dz_2$

Inertie du Bâtiment plus petite que l'inertie de l'installation de chauffage.
En avançant l'action sur le chauffage de $-(dz_2 - dx_1)$
on obtient la valeur de dy au même instant, dz correspondant à dx .

comme pour le premier et le deuxième cas, on peut construire un régulateur pour le troisième cas : c'est le régulateur à tendance S.P.C. MOREAU.

Ce régulateur mesure à la fois la valeur instantanée de la température extérieure et la tendance de cette température : il agit donc également suivant la dérivée de la courbe de température extérieure.

Connaissant cette dernière, il est possible de définir la température extérieure probable qui existera au bout du temps (dz_1 , dz_2). Cette température estimée sera légèrement différente de la température réelle, mais très voisine et elle sera constamment corrigée puisque le régulateur agit d'une manière continue.

En fonction de cette température estimée, qui existera au temps ($dz_1 - dz$) le régulateur commande au temps zéro la variation de la puissance du chauffage suivant la loi rappelée plus haut qui lie la variation dx à la variation dy .

CONCLUSION

En résumé cet examen rapide de la question montre que pour réaliser la régulation de la température d'un bâtiment réel, il y a lieu de comparer les inerties calorifiques du bâtiment et de l'installation de chauffage.

Si elles sont égales on devra utiliser un *régulateur instantané*. Si l'inertie du bâtiment est plus grande que l'inertie du chauffage, on devra utiliser un *régulateur retardé*. La régulation en fonction de la courbe de puissance (NENIS-MOREAU) peut être utilisée également dans ces deux cas.

Si l'inertie du bâtiment est plus petite que celle du chauffage on devra utiliser un *régulateur à tendance*.

La comparaison des inerties calorifiques pourra se faire à l'aide des courbes d'influence établies par les procédés de MM. NESSI et NISOLLE.

Tous les régulateurs utilisés devront tenir compte de toutes les variables intervenant dans le problème en donnant à chacune d'elles une valeur proportionnelle à son influence.

Une remarque s'impose cependant au sujet de la correction par la température intérieure dans le 3^e cas, où l'inertie du bâtiment est plus petite que l'inertie de l'installation de chauffage.

Il faut alors appliquer à la mesure de la variation de la température intérieure le même procédé qui a été utilisé pour mesurer la variation de la température extérieure et pour les mêmes raisons : une correction faite au moment de la variation de la température ne produirait son effet qu'au bout du temps ($dz_1 - dz_2$) à cause de l'inertie du chauffage. La correction arrivera toujours en retard et si la différence ($dz_1 - dz_2$) est grande, peut être à un moment où elle n'est plus nécessaire.

Enfin une dernière remarque peut être faite au sujet de la comparaison des inerties calorifiques. Pour faire cette comparaison, nous avons imaginé que l'on comparait les temps dz_1 et dz_2 nécessaires pour provoquer des variations correspondantes dx et dy en partant d'une perturbation unité.

On pourrait au contraire, imaginer de déterminer la valeur de la perturbation à imposer au chauffage à l'instant zéro pour qu'au bout du temps dz_1 la variation dy provoquée ait justement la valeur correspondant à dx (fig. 4). Mais le problème ainsi posé est plus complexe, il

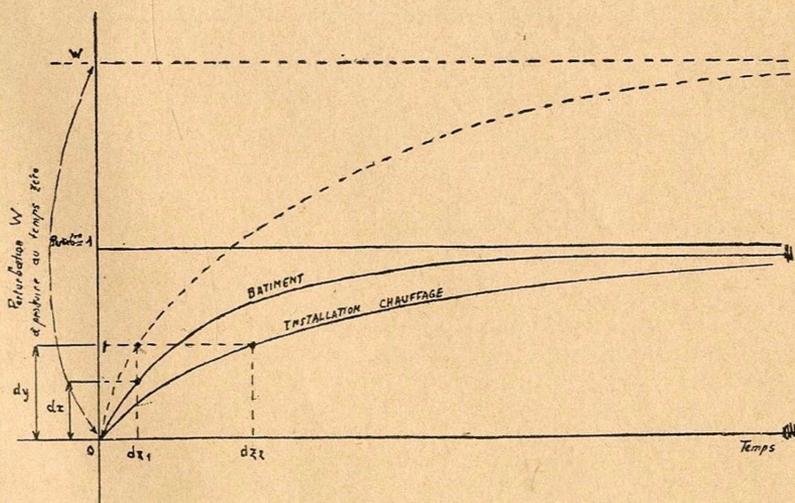


FIG. 4. — Recherche de la perturbation W à provoquer sur le chauffage à l'instant zéro pour que la variation dy correspondant à dx soit obtenue au bout du temps dz_1 .

se prête bien moins à la fois à l'exposé des faits et à la réalisation d'un régulateur simple.

En terminant, qu'il nous soit permis de rendre hommage à la mémoire



de M. H. MOREAU FEBVRE, l'inventeur et l'initiateur de ces procédés modernes de régulation.

Au cours des précédents Congrès il avait su exposer de manière saisissante et humoristique à la fois, les nouveaux principes et les régulations originales qu'il avait imaginés et réalisés.

La valeur de ces principes peut se mesurer à l'ampleur des développements qu'ils ont pris au cours des années passées et qu'ils continuent à prendre actuellement. Le nombre important des régulations conçues et installées suivant ces principes montre à quel point ces procédés nouveaux ont été appréciés par les spécialistes et les usagers et aussi tout ce que la technique de la régulation doit à cet esprit inventif qui savait unir la science et l'art.