

**Etude et essai de la
Régulation Thermocyclique THZ**

Fabricant : Ingenieurbüro Kummerer
 Graf-Buttler-Str. 7
 D-85778 Haimhausen

Représenté par : Dr. Güthe Unternehmensberatung GmbH
 Haderuner Str. 45
 D-81375 München

Responsable d'étude : Prof. Dr. Ing. habil. G. Knabe
Groupe de travail : Ingénieur C. Felsmann
 Ingénieur H. Werdin
 Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung
 (Institut des Etudes Thermiques et des Techniques du Bâtiment
 de l'université de Dresde, Allemagne)

Dresde, le 21 juin 2000

Table des matières

1. Introduction
2. Résultats
3. Conclusions
 - A. Caractéristiques de la pièce
 - B. Paramètres du système de chauffage
 - C. Caractéristiques des vannes et des régulateurs

1 . Introduction

Le rapport suivant présente les résultats de l'étude du comportement de la régulation de chauffage thermocyclique THZ. Cette étude a été menée par l'Institut des Etudes Thermiques et des Techniques du Bâtiment de l'université de Dresde ("Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung"). Les essais ont été réalisés dans une pièce carrée de construction très légère, c'est-à-dire d'une capacité isolatrice minimale. Les conditions ambiantes dans une pièce bien isolée se différencient par leur stabilité. Les spécificités de la pièce sont présentées dans le tableau A.1. En règle générale, la forme de la pièce n'a pas d'influence sur de tels essais et donc sur ses résultats.

Le chauffage de la pièce était à eau chaude, le matériel utilisé pour l'émission de chaleur se composait de radiateurs, vannes, pompes, circuit de départ et de retour. Vous trouverez de plus amples informations sur le système de chauffage en annexe B.

Les besoins en énergie et la température ambiante de la pièce ont été calculés pour un cycle de chauffe complet en tenant compte de facteurs externes (température extérieure, rayonnement solaire) et d'un comportement d'utilisateur donné (température de consigne, aération, apport de chaleur intérieur (voir graphique A.1 à A.3)). Le concept d'utilisation de la pièce a été défini pour être le plus réaliste possible et en même temps nécessiter un comportement actif de la régulation.

Les calculs pour les essais ont été établis à l'aide du programme de simulation TRNSYS¹. La simulation de l'algorithme de la régulation THZ a été réalisée à l'aide d'un boîtier électronique ("black box") fourni par le fabricant. Ce boîtier a été intégré dans l'environnement TRNSYS par un système de couplage spécialement développé (TRNSYS-Type). Les écarts de simulation ont été fixés à 1 minute conformément à l'intervalle type du régulateur THZ.

La comparaison des résultats de la simulation avec un régulateur PI ou un régulateur type vanne thermostatique permet de juger de la qualité de la régulation THZ. Pour obtenir des relations hydrauliques comparables dans le circuit de chauffage avec un régulateur PI ou une régulation thermostatique, les vannes du circuit de chauffage (vannes manuelles donc non proportionnelles et non thermostatiques) étaient ouvertes en permanence avec la régulation THZ. Les ordres en tout ou rien (ouvert/fermé ; allumé/éteint) de la régulation THZ ont été utilisés pour la régulation des pompes, de sorte que la régulation du débit massique modélisé corresponde au débit d'une électrovanne classique (sans inertie).

¹ Numéro de brevet européen EP 0935 181 A2, publié le 11.08.1999 Page 1999/32

2. Résultats

Selon les valeurs établies par la simulation, les mesures devant être prises en compte pour la comparaison des 3 régulateurs THZ, PI et régulateur type vanne thermostatique sont les suivantes :

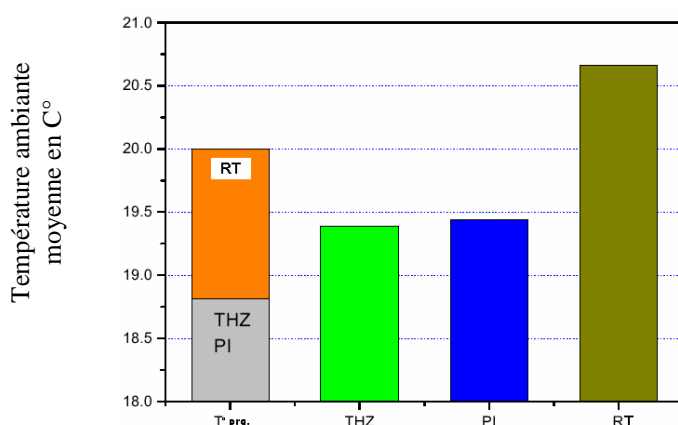
- Température ambiante moyenne
- Besoin de chauffe effectif
- Ecart moyen de régulation

ainsi que les évolutions temporelles de la

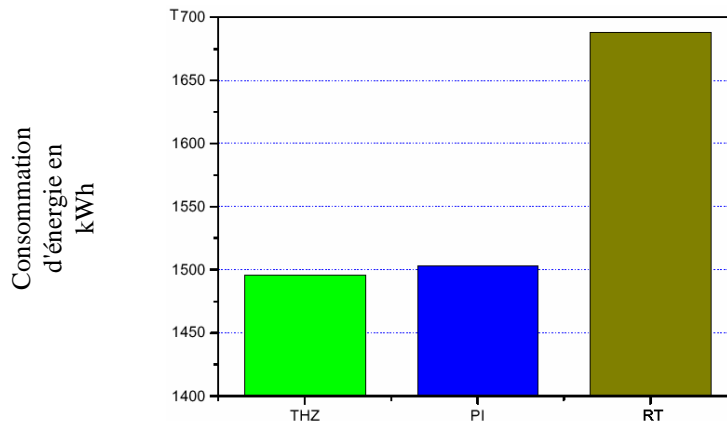
- Température ambiante
- Course de la vanne

Les consignes pour le régulateur type vanne thermostatique sont restées les mêmes tout au long de l'essai, contrairement à celles des régulateurs PI et THZ qui ont été régulièrement changées (graphique A.1).

Le graphique 2.1 permet de visualiser la température ambiante moyenne sur toute la durée du test. Les consignes pour les régulateurs THZ et PI ayant été régulièrement changées, il apparaît que les températures ambiantes moyennes obtenues sont plus petites qu'avec un régulateur type vanne thermostatique dont les valeurs de consigne étaient constantes. Ceci entraîne évidemment un besoin en énergie moindre (Graphique 2.2). Une manipulation des températures de consigne sur chaque régulateur pour compenser ces écarts n'est pratiquement pas réalisable, dans la mesure où les variations de température liées au système (par exemple régulateur type) peuvent créer des conditions désagréables dans la pièce que l'utilisateur ne tolère pas. En comparaison avec la régulation thermostatique avec des réglages de consigne constants, les baisses de température sur durée limitée ont permis de réduire les besoins en énergie de 11% dans l'exemple étudié.

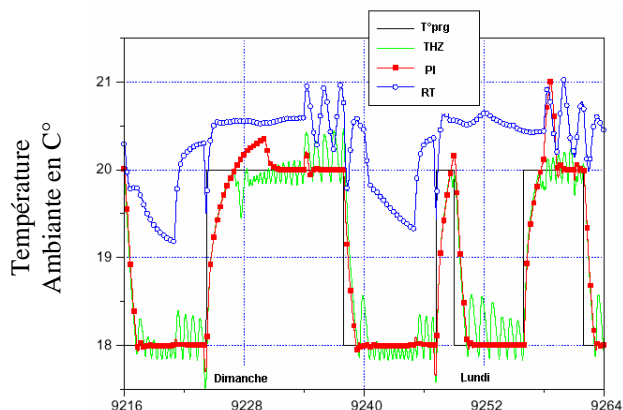


Graphique 2.1 : Températures ambiantes moyennes



Graphique 2.2 : Consommation annuelle d'énergie

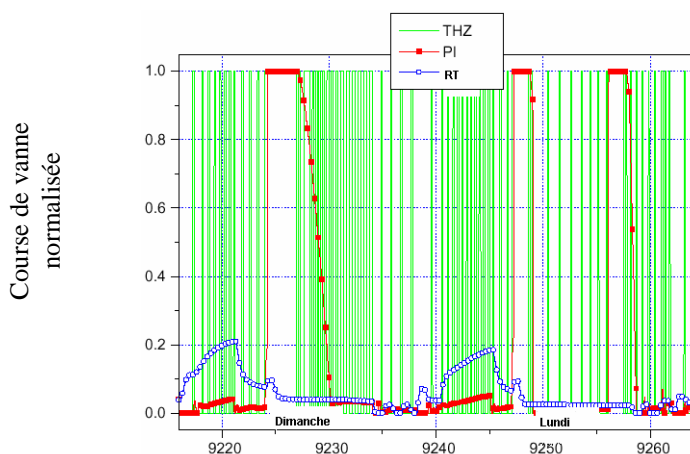
Le graphique 2.3 indique l'évolution des courbes de température ambiante pour deux jours : dimanche et lundi. Les courbes montrent comment les régulateurs réagissent face à une modification des consignes (THZ, PI) ou des perturbations (apports de chaleurs intérieurs ou extérieurs, aération de la pièce, changement de la température de départ). A première vue, les courbes de température résultant de changements brusques des températures de consigne (aussi bien plus chaud que plus froid) sont très semblables entre les régulateurs PI et THZ (les températures de consigne pour le régulateur type vanne thermostatique étant considérées constantes). Cependant, THZ et PI se distinguent clairement une fois la consigne atteinte. Avec le régulateur PI, la température réelle dépasse la température de consigne et surchauffe donc la pièce, alors qu'avec la régulation thermocyclique THZ la température réelle baisse légèrement. Les 2 régulateurs stabilisent ensuite la température réelle au niveau de la consigne. Avec la régulation thermocyclique THZ, la température réelle se stabilise lentement sans dépasser la température de consigne. On peut observer la même chose de façon inversée lorsque l'on rafraîchit la pièce.



Graphique 2.3 : Courbes des températures ambiantes

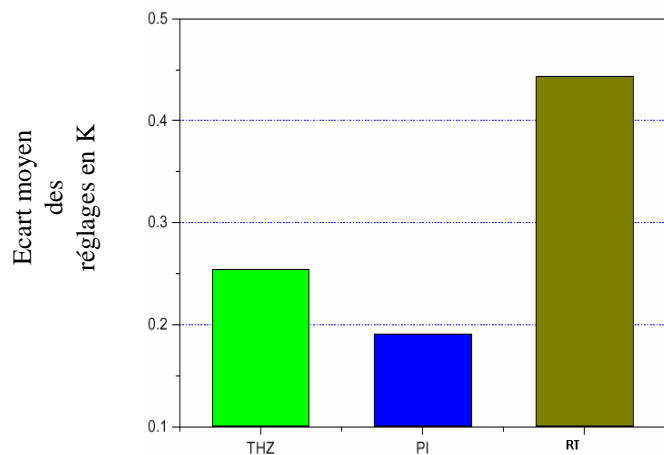
On peut constater que les variations de température ambiante avec la régulation thermocyclique THZ sont quasi constantes ($\pm 0,1 \dots 0,3$ K) et que les paramètres sont automatiquement adaptés. Avec un régulateur type vanne thermostatique, la température ambiante varie de ± 1 °K alors qu'avec un régulateur PI, la température reste constante si les conditions ambiantes le sont aussi. Avec ce régulateur, il est cependant indispensable d'établir des paramètres exacts aussi bien pour pouvoir ajuster la température face aux changements ambiants que pour éviter l'instabilité de la régulation. Les apports de chaleur intérieurs se sont traduits par une augmentation de la température ambiante pour les 3 régulateurs.

Le graphique 2.4 montre les 3 courbes des courses des vannes qui constituent les valeurs de réglage de température. Le graphique montre le comportement en tout ou rien de la régulation THZ ainsi que les signaux de réglage caractéristiques du régulateur PI et d'un régulateur type vanne thermostatique.



Graphique 2.4 : Courbe des courses des vannes

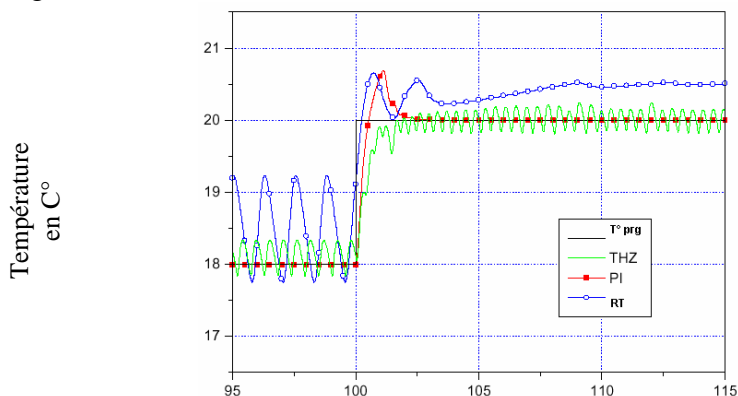
Une des mesures représentatives de la qualité de la régulation est l'écart moyen absolu des réglages montré par le graphique 2.5. Seul le bilan des températures de novembre à février est pris en compte afin d'éviter les hausses de températures dues au rayonnement solaire des autres mois.



Graphique 2.5 : Ecart moyen des réglages pendant la période de chauffage

Les résultats montrent que la régulation selon le principe thermocyclique par rapport à celui des thermostats est substantiellement meilleure car elle permet une régulation bien plus précise (écart moyen des réglages de 42%). Les résultats de la régulation PI peuvent être d'une qualité légèrement supérieure avec des variations de température plus ou moins prononcées (selon les réglages du régulateur PI) et en fonction des changements brusques des valeurs d'entrées (consigne, apports de chaleur intérieurs).

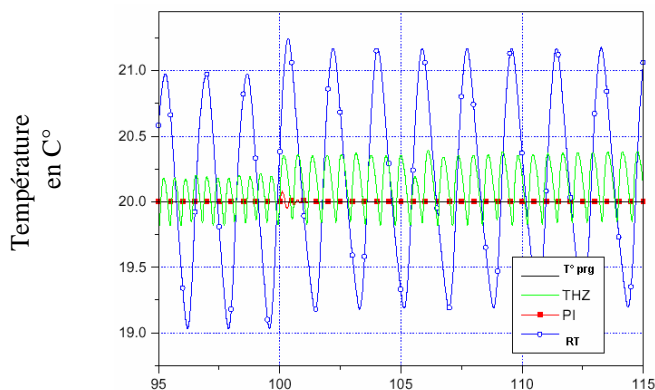
Les graphiques 2.6 et 2.7 montrent la réaction de la température ambiante pendant les phases de transitions en cas de changements brusques des consignes ou des apports de chaleur intérieurs avec les 3 types de régulation (de qualité différente). Pour ces simulations, les conditions ambiantes restent les mêmes à l'exception de la valeur à modifier. Concernant la régulation thermocyclique THZ, deux changements supplémentaires des consignes ont été préalablement effectués afin de permettre au système d' « apprendre » quels sont les effets de ces changements.



Graphique 2.6 : Transition lors d'un changement de la consigne (100 h)

Comme prévu, il n'y a pas de variations continues avec le régulateur PI. Une fois réglée, la température réelle correspond à la température de consigne. En revanche, la température varie avec le régulateur type vanne thermostatique et la régulation thermocyclique THZ d'une valeur moyenne qui n'est pas forcément identique à la consigne. Dans ce cas, les variations s'élèvent jusqu'à 2°K avec le régulateur type vanne thermostatique et jusqu'à 0,5°K avec la régulation thermocyclique THZ. Les variations moyennes de la consigne ainsi que l'amplitude augmentent dans la dernière phase (température de consigne diminuée, apports de chaleur intérieurs plus importants). Le régulateur type vanne thermostatique est le système de régulation P dont les variations sont les plus importantes.

Grâce aux microvariations, la régulation thermocycliques THZ s'avère être le principe le plus efficace, tant du point de vue de la régulation de température que du point de vue confort.



Graphique 2.7 : Réactions lors de changements brusques des conditions ambiantes (100 h)

4. Conclusion

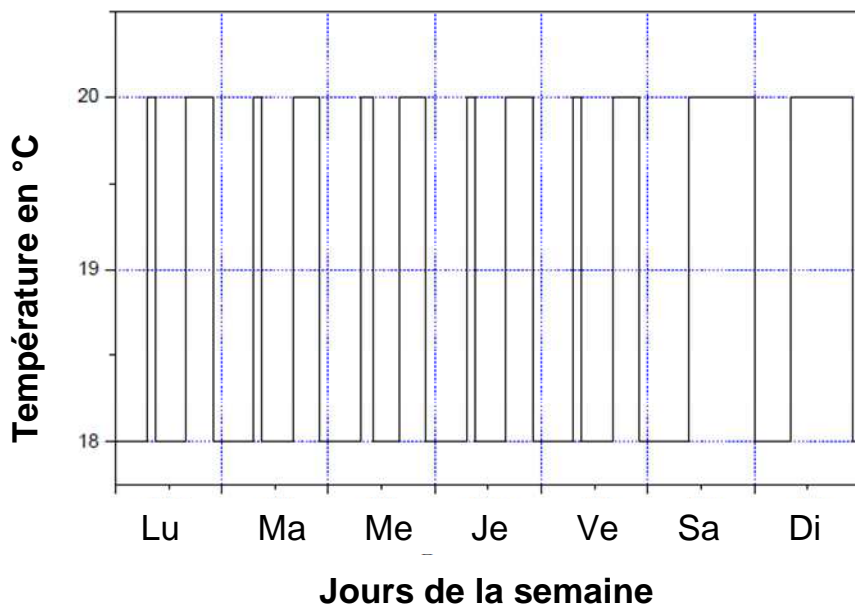
La régulation thermocyclique THZ permet de réguler la température ambiante de façon très confortable. Selon le réglage du régulateur et les tendances de dépassements des valeurs plus ou moins prononcées, l'écart moyen des réglages à prévoir est comparable à celui d'un régulateur PI.

Dans ce contexte, il convient de souligner l'avantage d'auto-paramétrage du régulateur qui permet d'éviter toute erreur et toute instabilité de régulation. Dans l'exemple, le réglage d'une température de consigne variable dans le temps permet de réduire les besoins en énergie de 11% par rapport à un régulateur type vanne thermostatique.

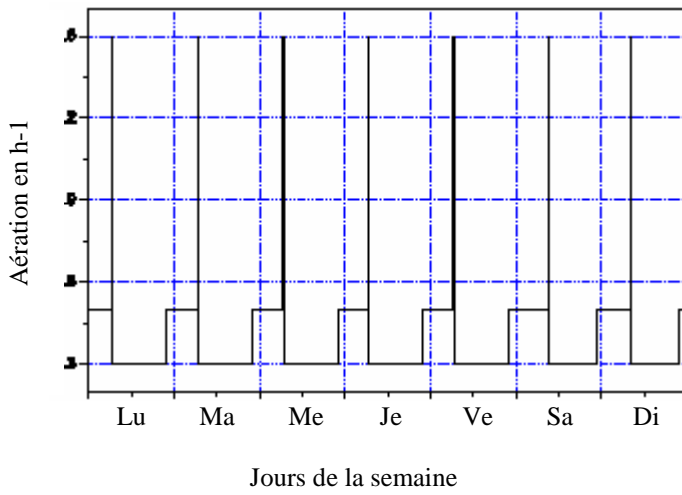
A. Caractéristiques de la pièce

Caractéristiques	Valeurs
Cotes intérieures	3,6m x 5,5m x 2,8m
Surface totale des cloisons extérieures	18,48m ² Orientation SE - SO
Surface totale des cloisons intérieures (adiabatique)	65,08m ²
Surface vitrée	7,00m ² Orientation SE
Ombrage	0,9 C°
Aération	Voir graphique A.2
Température extérieure moyenne pendant l'essai	5,1°C
Apports de chaleur intérieurs	Voir graphique A.3

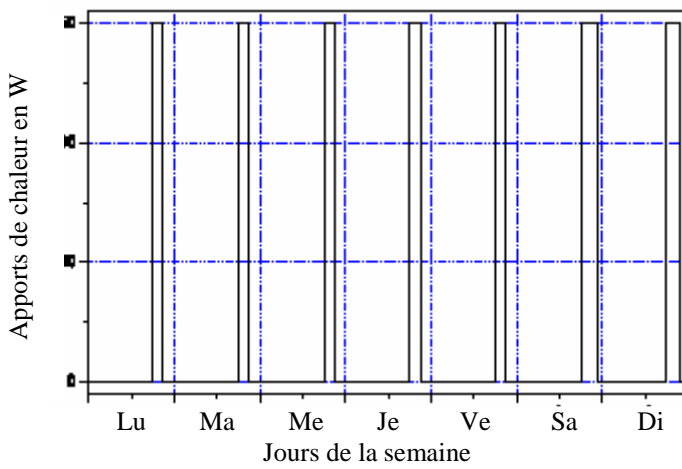
Tableau A.1 : Caractéristiques de la pièce



Graphique A.1 : Température de consigne hebdomadaire pour le régulateur PI et la régulation THZ ;
Consigne constante pour le régulateur type vanne thermostatique à 20°C



Graphique A.2 : Aération hebdomadaire

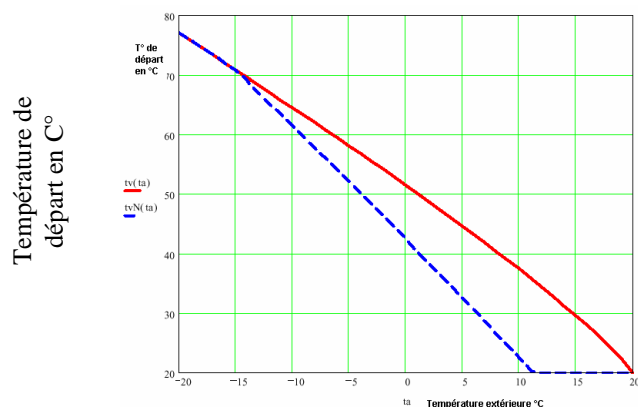


Graphique A.3 : Planning hebdomadaire des apports de chaleur intérieurs

B. Paramètres du système de chauffage

Caractéristiques	Valeurs
Températures (départ, retour et ambiante)	70°C/ 55°C/20°C
Débit nominal	49,3 kg/h
Courbe de chauffage (avec baisse de la température de départ pendant la nuit)	Voir graphique B.1
Baisse de la température pendant la nuit	Journalière de 0h00 à 5h00

Tableau B.1 : Paramètres du système de chauffage



Graphique B.1 : Courbe de chauffage

C. Caractéristiques des vannes et des régulateurs

Régulateur	Caractéristiques
Thermostat	Plage proportionnelle 6,51 K Dimensionnement x_p : 1 K Hystérésis 0,3 K Constante de temps T = 14,5 min
Régulateur PI	Facteur proportionnel $0,4 \bar{H}/K$ Temps d'intégration 1200 sec.
Régulation thermocyclique THZ	Electrovanne

Tableau C.1 : Paramètres des régulateurs et vannes
Bibliographie

1. Transsolar Energietechnik GmbH. Stuttgart: *TRNSYS – a transient system simulation programm.* 1996. - Version 14.2, Dokumentation