Record Number:

Author, Monographic: Langham, E. J.//Sochanska, W.

Author Role:

Title, Monographic: Expériences avec un dispositif permettant le contrôle très précis de la

température d'un fluide frigorifique

Translated Title: Reprint Status:

Edition:

Author, Subsidiary:

Author Role:

Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1973
Original Publication Date:
Volume Identification:
Extent of Work: 19

Packaging Method: pages

Series Editor:

Series Editor Role:

Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche

Series Volume ID: 17

Location/URL:

ISBN: 2-89146-014-6

Notes: Rapport annuel 1972-1973

Abstract: 10.00\$
Call Number: R000017
Keywords: rapport/ ok/ dl

Expériences avec un dispositif permettant le contrôle très précis de la température d'un fluide frigorifique

INRS-Eau
UNIVERSITE DU QUEBEC
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 17 1973

Rapport rédigé pour INRS-Eau

par E.J. Langham, W. Sochanska

SOMMAIRE

Expériences avec un dispositif permettant le contrôle très précis de la température d'un fluide frigorifique.

Nous avons construit un prototype et nous avons vérifié les calculs au cours des premières expériences. Un petit ordinateur permet le contrôle de ces expériences, ainsi que l'acquisition des données.

Ensuite, nous avons mis au point un système de contrôle à boucle qui est basé sur l'analyse de l'état dynamique du régime de température du dispositif.

Enfin, l'ordinateur détermine les valeurs des paramètres à partir des résultats des essais précédents. Ainsi, nous sommes capables, au moyen de la mesure d'une seule température, de tenir compte des dérivées de l'écoulement et de la température d'entrée; ainsi, la température de sortie peut être amenée à 0 ± 0.001 oC.

La simplicité et le faible coût de construction permettent le contrôle exact des températures ou des gradients de température à l'aide de plusieurs de ces dispositifs.

Langham, E.J. et Sochanska, W. (1973). "Expériences avec un dispositif permettant le contrôle très précis de la température d'un fluide frigorifique". INRS-Eau, Rapport Technique No 17, 19 p.

ABSTRACT

Experiments on the precise control of refrigerant temperature.

A prototype temperature controller for refrigerants was constructed following theoretical studies of its capabilities.

The predictions were verified and a series of experiments were conducted in which the measurements on the device and the control of the fluid temperature were executed by computer.

In this way the programme parameters are changed by the programme to optimize the response. The fluid temperature can be controlled to $^{\circ}$ _0.001 $^{\circ}$ C at 0 $^{\circ}$ C.

Langham, E.J. et Sochanska, W. (1973). "Expériences avec un dispositif permettant le contrôle très précis de la température d'un fluide frigorifique". INRS-Eau, Rapport Technique No 17, 19 p.

RESUME

Nous avons fait ces expériences pour mettre à l'épreuve une idée très simple de contrôle exact de la température d'un fluide frigorifique (dont la base théorique est donnée dans un autre rapport (1))

Nous avons construit un prototype et nous avons vérifié les calculs au cours des premières expériences. Un petit ordinateur permet le contrôle de ces expériences, ainsi que l'acquisition des données.

Ensuite, nous avons mis au point un système de contrôle à boucle de retour qui est basé sur l'analyse de l'état dynamique du régime de température du dispositif.

Enfin, l'ordinateur détermine les valeurs des paramètres à partir des résultats des essais précédents. (La figure 15 montre l'histoire d'une telle expérience.) Ainsi, nous sommes capables, au moyen de la mesure d'une seule température de tenir compte des dérivées de l'écoulement et de la température d'entrée; ainsi, la température de sortie peut être amenée à $0 \pm 0.001^{\circ}$ C.

La simplicité et le faible coût de construction permettent le contrôle exact des températures ou des gradients de température, à l'aide de plusieurs de ces dispositifs.

INTRODUCTION

Nous proposons une nouvelle technique de contrôle de température d'un fluide frigorifique. Cette technique nous permet d'utiliser une source de chaleur commutée, ainsi le flux de chaleur dans le fluide frigorifique est constant. L'analyse mathématique de cette technique ⁽¹⁾ nous a permis de faire des calculs à titre indicatifs, qui ont montré que la technique devrait conduire au contrôle de température recherché. Dans ce rapport nous décrivons la construction du prototype de l'échangeur de chaleur et rendons compte des expériences effectuées dans le but de vérifier les calculs et d'en arriver à un contrôle adaptatif de l'appareil. Toutes ces expériences ont été faites à l'aide d'un petit ordinateur.

LA CONSTRUCTION DU PROTOTYPE

Cette technique se base sur la commutation d'une source de chaleur qui se situe à l'intérieur d'un cylindre de métal. Le fluide frigorifique circule autour du cylindre et nous profitons de la caractéristique de diffusion de la chaleur pour atténuer l'amplitude des ondes de température. Cet effet est fonction de la fréquence de commutation et il est plus fort dans le cas d'une symétrie circulaire.

Les calculs ont montré que l'acier est le métal convenant le mieux pour construire le cylindre. Nous savons qu'à chaque interface dans un milieu qui conduit la chaleur, il y a une discontinuité de température. Il faut donc éviter ces interfaces pour pouvoir comparer les résultats de ces expériences aux calculs. Puisque, pour des raisons pratiques, nous voulons utiliser l'eau comme fluide, nous avons dû fabriquer le cylindre en acier inoxydable. La connaissance du comportement du prototype nous permettra ensuite de ne plus éviter l'existence de ces interfaces et si l'on doit construire plusieurs appareils de ce type, on pourra envisager les modifications dans le but d'abaisser le coût de construction.

Ainsi, dans le prototype nous avons coupé dans la surface extérieure du cylindre, une hélice de section carrée, alors que dans le modèle produit en plus grande série, nous pouvons simplement enrouler autour d'un cylindre d'acier ordinaire, un tuyau de cuivre où circule le fluide.

La figure (1) montre ce cylindre du prototype. L'hélice coupée dans le cylindre est fermée par un mince tuyau qui s'ajuste précisément au diamètre extérieur et le tout est isolé avec de la laine d'amiante. A l'intérieur du cylindre se trouve l'élément de chauffage dont la puissance est de 50 watts. Ses commutations sont contrôlées par ordinateur.

L'écoulement de l'eau est réglé par un récipient Mariotte afin que le taux d'écoulement soit constant pendant l'expérience. La température de l'eau est celle de la pièce et elle ne varie pas pendant une expérience à cause de son inertie thermique. Nous avons d'ailleurs assuré l'uniformité par un agitateur magnétique.

LES MESURES DE TEMPERATURE

Pour vérifier les calculs, il faut que les températures soient mesurées en plusieurs points. Nous avons donc installé sept thermisteurs dans le cylindre et à l'entrée et la sortie du fluide. Ces thermisteurs sont soigneusement calibrés et sont capables de mesurer des changements de température inférieurs à un centième de degré centigrade. Notons ici que sur la gamme de température + 10°C à -10°C nous pouvons avoir la même précision dans la température exacte si un seul point de référence est disponible. Pour ce dernier nous utiliserons une cellule à point triple mais pour le but des expériences décrites ici, ce n'est pas nécessaire. Cette précision absolue est atteinte avec une équation (2) de forme:

$$\theta = 1/[A + B \ln R + C(\ln R)^3] - 273.15$$

où

 θ = température ${}^{O}C$

R = résistance - -

Les constantes B et C dépendent du type de thermisteur et A est la constante de calibration.

Nous avons choisi des thermisteurs dont la résistance est environ 9,000 \triangle à 0° C. A la température de la pièce, ils ont une résistance d'environ 3,000 \triangle et ainsi une erreur de mesure d'un ohm équivaut à une erreur de température de \pm 0.003 $^{\circ}$ C. (Cette erreur peut être dûe par exemple, à une résistance d'un ohm aux contacts ou dûe à une fuite parasite de 10^{7} ohms.) Toutes ces mesures sont faites à l'aide d'un voltmètre digital à cing chiffres qui fonctionne sous contrôle de l'ordinateur.

EXPERIENCES

Les expériences que nous avons faites sont de quatre types différents:

- 1) Expérience de contrôle passif où il n'y a aucune boucle de retour.
- 2) Expérience de contrôle actif où il y a une boucle de retour mais où les décisions de contrôle n'ont lieu que lorsque le régime de température devient permanent.
- 3) Expérience de contrôle actif où il y a une boucle de retour et où les décisions de contrôle dépendent de l'état dynamique de température analysé par l'ordinateur.

4) Expérience de contrôle adaptatif, où les paramètres de contrôle actif de l'état dynamique, sont trouvés par l'ordinateur au moyen d'un processus de tâtonnements méthodiques.

EXPERIENCES DE CONTROLE PASSIF (vérification des calculs).

Dans cette série d'expériences, effectuées pour obtenir les données de base du comportement du dispositif, nous poursuivons deux buts:

- a) de vérifier les prédictions des calculs
- b) de vérifier la possibilité de contrôle de transfer de chaleur par la méthode de division de temps (c'est-à-dire que le taux moyen de chauffage varie selon le rapport, R, du temps de chauffage à la durée, P, du cycle).

Pour le premier but poursuivi, R est égal à $\frac{1}{2}$.

Expérience 1

P mins	8	4	2	1	0.5
R	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Expérience 2

P mins	1	1	1
R	0.25	0.75	0.25

Les expériences se déroulent jusqu'au moment où le cycle de température se répète. A ce moment-là, nous avons pris les mesures de température tous les 1/20^{ième} de cycle pour chaque thermisteur.

La figure 2 montre les températures moyennes pour chaque thermisteur en fonction du rayon. Nous avons préparé un tel graphique pour chaque période de commutation d'expérience. Notons que les courbes ont toujours une forme logarithmique, comme la théorie le laisse prévoir. En extrapolant ces courbes, nous obtenons les valeurs de température sur les surfaces intérieure et extérieure. Cette dernière est particulièrement intéressante car elle nous permet de déduire la valeur du coefficient E d'échange de chaleur entre le cylindre et le fluide frigorifique. La connaissance de la température du fluide (que nous prenons comme moyenne des températures d'entrée et de sortie) nous permet de déterminer la différence de température à travers la surface extérieure en effet.

Nous savons que:

$$\Delta\theta = \frac{q_0}{2\pi Eb}$$
 (loi Newtonian) (1)

où $\Delta\theta$ est l'écart de température à travers la surface extérieure q_0 est le taux d'écoulement de chaleur par cm de longueur du cylindre.

b est le rayon extérieur du cylindre (b = 4.125 cms)

Nous évaluons \mathbf{q}_{o} selon la mesure de taux d'écoulement et la différence de température d'entrée et de sortie du fluide.

Ainsi, nous avons
$$q_0 = 0.55 \text{ cal sec}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

d'où $E = 0.026 \text{ cal cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ o} \text{ c}^{-1}$ (2)

Dans la figure 3 nous donnons à titre d'exemple, un graphique où les fluctuations de température de chacun des thermisteurs sont présentées pour une période. (Ce sont les courbes de θ_1 à θ_4 .) Les températures de l'eau à l'entrée, θ_e , et à la sortie, θ_s , sont également incluses sur le graphique. La période dans cette expérience est de deux minutes.

La figure 4 montre l'atténuation d'amplitude de la température en fonction du rayon pour plusieurs périodes. Nous trouvons que pour une période de 0.5 minute, les fluctuations sont déjà au niveau de quelques centièmes de degré et la température du fluide sortant est constante à 0.003°C près, ce qui représente la précision de mesure de cette expérience.

Donc, en ce qui concerne l'élimination des perturbations de température dans le fluide frigorifique dûes à la commutation de l'élément de chauffage, nous avons bien réalisé le but de l'expérience. C'est-à-dire que nous avons montré qu'il est possible, avec cette technique, de fournir un flux de chaleur constant au

fluide frigorifique malgré la commutation périodique de l'élément de chauffage. Nous avons considéré le déphasage des ondes de chaleur sur le rayon en fonction de la fréquence, ce qui présente un intérêt en ce qui concerne les expériences de contrôle. Nous trouvons que, malgré les différences de période et l'effet de retard sur le rayon, la vitesse de propagation des ondes de chaleur est presque constante et correspond à un temps de passage de 40 secondes, entre la surface intérieure et la surface extérieure. (voir fig. 5)

L'analyse mathématique n'a considéré que la transmission des ondes sinusoidales. Pour comparer l'atténuation d'amplitude sur le rayon, il faut reconstituer l'onde carrée de chaleur à partir d'une série de Fourier. Nous l'avons fait mais c'est d'intérêt plutôt académique alors ce n'est pas présenté ici. La figure 6 permet la comparaison des amplitudes de fluctuation de température à la surface extérieure obtenues par l'analyse et l'expérience. L'écart entre ces courbes provient d'un taux de chauffage différent mais cette figure montre, et c'est ce qui est intéressant, que les deux courbes ont la même forme, donc que l'on réalise l'atténuation comme preuve.

Enfin, puisque le contrôle du taux moyen de transfert de chaleur dépend de la division du temps de commutation, nous avons effectué les 2 expériences où R = 0.25 et 0.75 pour P = 1 minute. La figure 7 montre que la forme de l'onde de température dépend de R. Les données proviennent du premier thermisteur qui se trouve à 0.5 cm de la surface intérieure. Aux thermisteurs plus éloignés, les ondes sont devenues plus symétriques et très faibles et elles ne présentent pas d'intérêt. Nous donnons, dans la figure 8, les graphiques d'atténuation de l'amplitude en fonction du rayon. Notons que dans les figures 7 et 8, pour le cas de R = 0.25 et R = 0.75, l'atténuation est encore plus forte que le cas de R = 0.5; la variation de R ne constitue donc pas un problème.

Nous présentons dans la figure 9, un graphique de l'augmentation de température du fluide en fonction de R.

Expériences à contrôle actif.

Il est évident que la période de commutation peut être choisie pour atteindre la limite de variation cyclique de température quelle qu'elle soit. Nous ne discutons donc plus l'effet de période de commutation.

D'après les expériences décrites ci-dessus, il est évident qu'avec une mesure de la température de l'entrée et en considérant l'expression de la pente, a, déduite de la figure 9, soit:

$$\alpha = \frac{\Delta \theta_{S}}{\Delta R} \tag{3}$$

nous ne devrions calculer R qu'une fois pour réaliser la température de sortie souhaitée. Malheureusement, la température d'entrée peut varier lentement et pour en tenir compte, il faut une boucle de retour.

Contrôle actif se basant sur l'état permanent.

L'ordinateur pourrait prendre les températures d'entrée pour calculer les ajustements effectués sur R. Il est cependant préférable d'utiliser la température de sortie car la valeur de α peut varier. Ces variations ne sont pas critiques si l'ajustement de R est basé sur la température de sortie car l'ajustement continu jusqu'à la valeur voulue, est atteint. Il n'est pas nécessaire de bien choisir R au début car l'ajustement en tient compte. La figure 10 est un exemple d'une telle expérience parmi les nombreuses que nous avons faites.

Dans cette expérience, la valeur de a n'est pas exacte et il s'ensuit que la température requise est atteinte après plusieurs étapes successives. Si la température d'entrée change après que la température de sortie est stabilisée, les ajustements de R en tiennent compte.

Nous avons ainsi réalisé un contrôle actif qui ramène toujours la température de sortie à la température requise. Il reste quand même deux problèmes secondaires à résoudre: Premièrement, il faut attendre que la température de sortie soit stable (ou presque) pour être capable de la corriger selon un procédé basé sur l'équation 9.

Deuxièmement, l'efficacité des corrections successives dépend de la plus ou moins bonne connaissance de α .

Contrôle actif se basant sur l'état non-permanent.

Pour surmonter le premier problème, il faut concevoir un système de correction qui se base sur l'analyse de l'état non-permanent de l'échangeur de chaleur. Nous le considérons donc encore dans le cadre du contrôle actif, ce qui revient à dire que l'intervention de l'ordinateur se fait à partir de la compréhension analytique de l'état dynamique. Dans ce cas, au moment où se fait la correction de R, la température de sortie varie encore plus en réponse au dernier changement de R, qu'aux changements précédents. Remarquons sur la figure 10 par exemple que chaque condition permanente s'achève de façon exponentielle. Nous supposons que cette réponse exponentielle est nette dans la deuxième moitié d'un intervalle entre les changements de R. Si cet intervalle comprend n cycles de commutation, nous pouvons donc écrire que:

$$\frac{\theta_{p} - \theta_{a}}{\theta_{p} - \theta_{b}} = e^{-\frac{n}{2}\beta P}$$
(4)

où θ_{p} = température de l'état permanent

 θ_a = température actuelle

 $\theta_{\rm b}$ = température à n/2 cycles avant le temps présent (demi-intervalle)

P = période d'un cycle

 β = coefficient de réponse de l'appareil.

n = nombre de cycles par intervalle de correction de R.

Dans l'état dynamique, nous ne connaissons pas la température de l'état permanent, car elle n'est jamais atteinte.

Pour déterminer une valeur de β, nous appliquons deux fois l'équation (4) en considérant la même courbe. En utilisant les symboles de la figure 11, nous pouvons écrire

$$\theta_{p} - \theta_{a} = (\theta_{p} - \theta_{b}) e^{-\frac{n}{2}\beta P}$$

$$\theta_{p} (1 - e^{-\frac{n}{2}\beta P}) = \theta_{a} - \theta_{b} e^{-\frac{n}{2}\beta P}$$
(5)

et pour la première moitié de l'intervalle, l'équation (5) s'écrit:

$$\theta_{\rm p} \ (1 - e^{-\frac{n}{2} \beta P}) = \theta_{\rm b} - \theta_{\rm a}' \ e^{-\frac{n}{2} \beta P}$$
 (6)

On peut, à partir des équations (5) et (6) éliminer $\boldsymbol{\theta}_p$ ce qui donne:

$$\frac{\theta_a - \theta_b}{\theta_b - \theta_a}, = e^{-\frac{n}{2}\beta P}$$
 (7)

Cette relation permet de déterminer β et ainsi nous pouvons calculer e $^-\frac{n}{2}\;\beta^p$ pour tous les n et P donnés.

Si nous considérons l'équation (4) sous la forme suivante:

$$\frac{\theta_{p} - \theta_{a}}{\theta_{p} - \theta_{a} + \theta_{a} - \theta_{b}} = e^{-\frac{n}{2}\beta P}$$

nous pouvons écrire:

$$\theta_{p} = \left(\frac{1}{e^{\frac{n}{2}\beta P}-1}\right) \left(\theta_{a} - \theta_{b}\right) + \theta_{a}$$

ou encore

$$\theta_{p} = m \left(\theta_{a} - \theta_{b} \right) + \theta_{a}$$
 (8)

avec

$$m = 1 \left(e^{\frac{n}{2}\beta P} -1 \right)$$
 (9)

Supposons que l'objectif de contrôle est de ramener la température de θ_a à θ_s dans l'intervalle suivant. (On pourrait choisir d'autres objectifs).

Avec les symboles de la figure 12, nous voyons que le changement de R doit être tel que la température permanente passe de θ_p ' à θ_p . C'est-à-dire que selon l'équation (3)

$$R = R' + \alpha \left(\theta_p - \theta_p'\right) \tag{10}$$

Pour exprimer θ_p en considérant un intervalle entier, nous devons modifier l'équation (8), ce qui est valable pour un demi-intervalle.

Selon l'équation (9)

$$m = \frac{1}{e^{\frac{n}{2}\beta P} - 1}$$

ce qui s'écrit:

$$\frac{m^2}{2m+1} = \frac{1}{e^{n\beta P} - 1} \tag{11}$$

Alors nous pouvons remplacer m dans l'équation (8) par le facteur correspondant à l'intervalle entier. Ainsi, les deux équations relatives à la figure 12 sont:

$$\theta_{p}' = m (\theta_{a} - \theta_{b}) + \theta_{a}$$
 (12)

$$\theta_{p} = \frac{m^{2}}{2m+1} (\theta_{s} - \theta_{a}) + \theta_{s}$$
 (13)

Nous pouvons alors remplacer θ_p et θ_p de l'équation (10) pour obtenir l'équation de contrôle dynamique, soit

$$R = R' - \alpha \left[m(\theta_a - \theta_b) - \frac{(m+1)^2}{2m+1} (\theta_s - \theta_a) \right]$$
 (14)

A partir de cette équation nous avons effectué des expériences très concluantes. La figure 13 montre l'évolution de température avec cette forme de contrôle actif.

Il est à noter que les coefficients m et $\frac{(m+1)^2}{2m+1}$ pondèrent la tendance de la température et l'écart entre les températures actuelle et requise. De ce point de vue, la figure 13 met en évidence la validité de l'équation (14). Nous notons cependant que la grandeur des corrections de R est fonction de la valeur de α . La figure 14 montre un cas où la valeur de alpha n'est pas exacte. Il faut d'ailleurs remarquer que de trouver la bonne valeur de R au début d'une expérience ne donne pas le moyen le plus rapide de se rendre à la température requise. Nous cherchons plutôt une valeur de α qui assure la convergence optimum de température et de contrôle étroit par la suite.

Expériences de contrôle adaptatif

En principe, nous pouvons effectuer une analyse mathématique pour fournir à l'ordinateur, le moyen de corriger α selon le déroulement de l'expérience. Cependant, cette analyse fournit une équation de correction dans laquelle intervient un rapport de petites différences. La valeur de ce rapport est donc mal défini. Par contre, les figures 13 et 14 montrent que l'effet de mauvais choix de α doit être pris en considération, ce qui nous a conduits à rechercher une technique heuristique de correction. Il faut trouver un moyen par lequel l'ordinateur prend la décision de changer la valeur de α d'après le résultat découlant de la valeur actuelle. Le choix du principe de décision est libre mais il est

évident que certains principes peuvent être meilleurs que d'autres. Nous avons donc essayé de trouver un principe simple qui permette de reconnaître les valeurs de α trop élevées ou trop faibles.

Or, dans le cas où α est trop élevé, la courbe de température dépasse continuellement la température requise (même avec la possibilité de diverger). Par contre, dans le cas où α est trop faible, la courbe de température tend trop lentement vers la température requise, ce qui se caractérise par une différence dont le signe ne change pas. Nous savons de plus, que la convergence la plus rapide est telle que la température requise est dépassée quand même.

Notre règle est donc:

si la signe de $(\theta_S$ - $\theta_a)$ ne change pas dans deux intervalles successifs, la valeur de α est trop petite et l'ordinateur l'augmente en le multipliant par un facteur, F;

si le signe de $(\theta_s$ - $\theta_a)$ change dans chacun des deux intervalles, la valeur de α est trop grande et l'ordinateur la diminue en la divisant par F;

si le signe de $(\theta_s - \theta_a)$ change dans un des deux derniers intervalles mais non dans l'autre, l'ordinateur laisse α inchangé.

Nous évaluons le progrès à chaque changement de R, c'està-dire à la fin de chaque intervalle. Nous soulignons que, de la nature d'un procédé adaptatif, la règle de l'objectif est quelque peu arbitraire et que le procédé utilisé ici n'est qu'une possibilité. Il marche bien néanmoins et la figure 15, montre un exemple de son comportement dans une expérience qui débute avec une mauvaise valeur de α. La trace de température est construite de mesures prises toutes les 1.8 secondes dans un cycle de 18 secondes. Il est à noter qu'il ne reste aucune périodicité dans ces mesures. Il y a dix cycles par intervalle de revue ce qui est donc trois minutes.

Les conditions de l'expérience sont comme suit:

Température de sortie requise	25 ⁰ C
Température de sortie initiale	23 ⁰ C
F	1.1
R initial	1.0
R final	0.282
α initial	0.125
α final	0.151

Au début, R est trop grand et α est faible. En conséquence, la courbe dépasse la température requise et ne revient pas assez vite. A la fin du troisième cycle, la règle de correction s'applique pour augmenter α . La même séquence d'évènements cause une deuxième augmentation à la fin du sixième intervalle et après neuf intervalles, <u>la température s'est stabilisée à 25 ± 0.003</u>°C.

Cette précision correspond à \pm 1 \wedge dans les résistances d'environ 3,000 \wedge des thermisteurs. A 0 $^{\circ}$ C. leur résistance est d'environ 9,000 \wedge et la précision serait donc \pm 0.001 $^{\circ}$ C.

Nous avons effectué des expériences similaires pour les valeurs de α trop élevées au départ.

D'autres choix de n, ϵ , règles d'adaptation etc. auraient d'autres résultats dont quelques-uns seraient sans doute meilleurs. Notre but cependant, n'était que de montrer que l'optimisation de α est possible.

CONCLUSION

Nous avons montré que malgré sa simplicité, ce dispositif est capable de contrôler la température d'un fluide frigorifique avec une précision et une exactitude remarquable. Ici, nous avons atteint $0 \pm 0.001^{\circ}$ C (voir fig. 15).

Enfin, le concept est très flexible. Si, par exemple, il faut une réponse plus rapide, les dimensions de l'appareil et la période de commutation peuvent être changées afin de l'obtenir.

REFERENCES

- 1. LANGHAM, E.J., L'analyse mathématique d'un échangeur de chaleur qui convient au contrôle par ordinateur. INRS-Eau, Rapport technique No. 16
- 2. TROLANDER H.W., CASE, D.A. and HARRUFF, R.W. Reproducibility, stability and linearization of thermistor resistance thermometers. 5th Symposium on temperature, 1971.

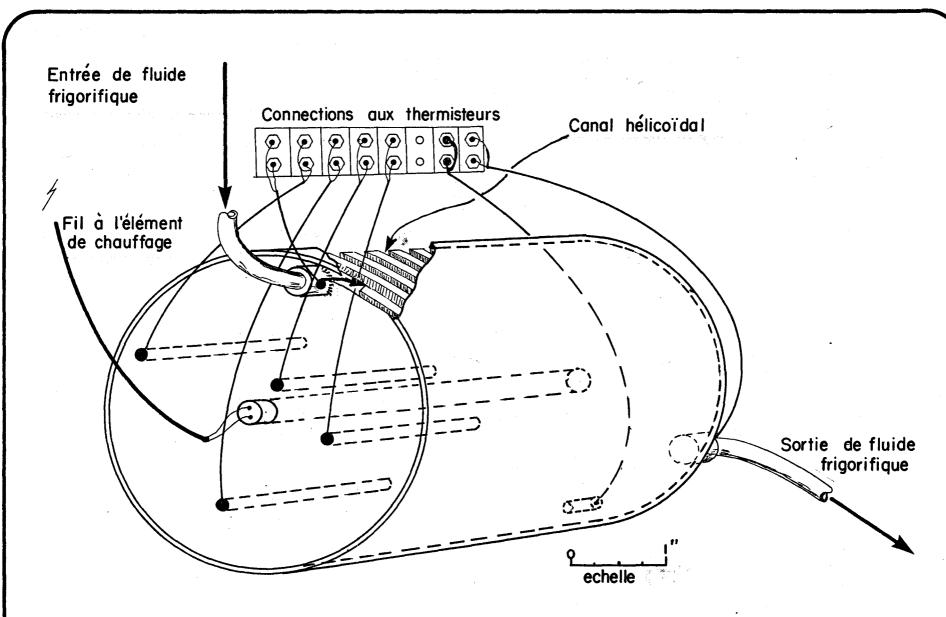
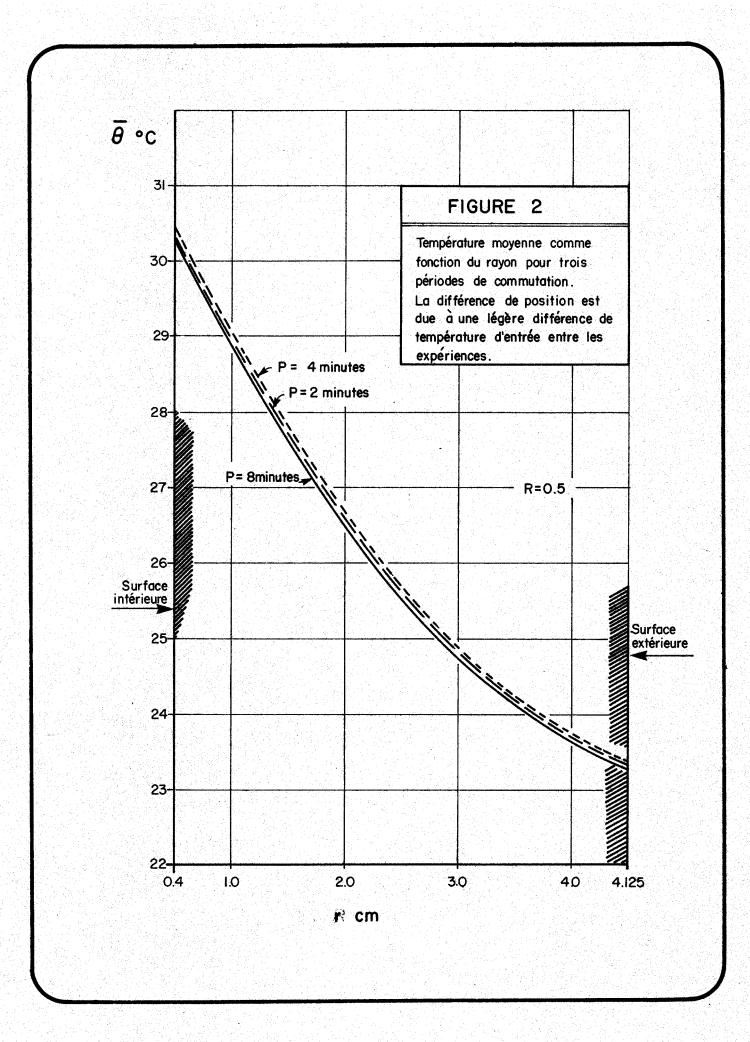


FIGURE 1. Diagramme qui montre le mode de construction du prototype et les positions des thermisteurs.



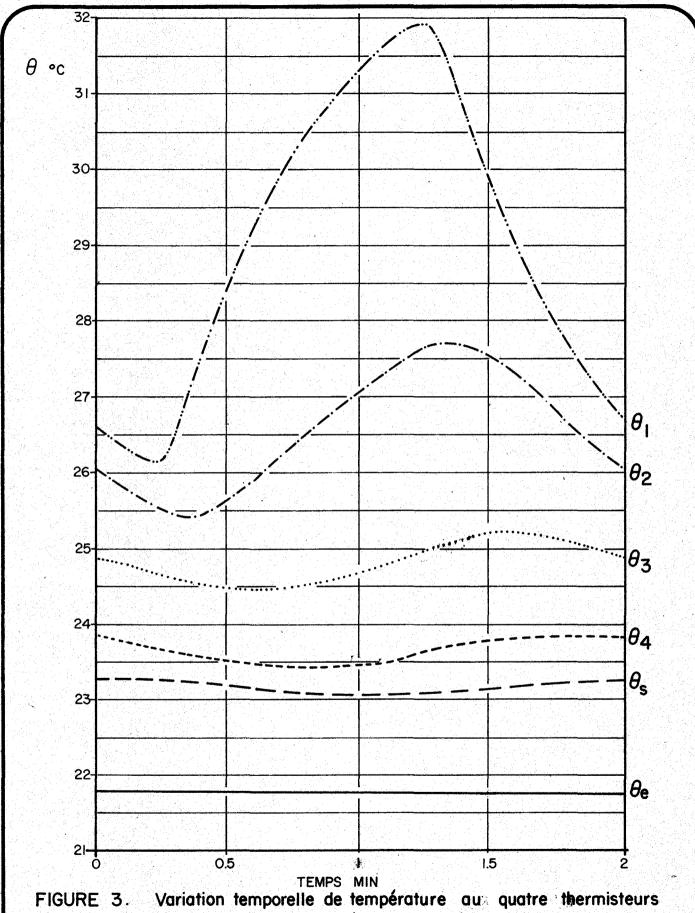
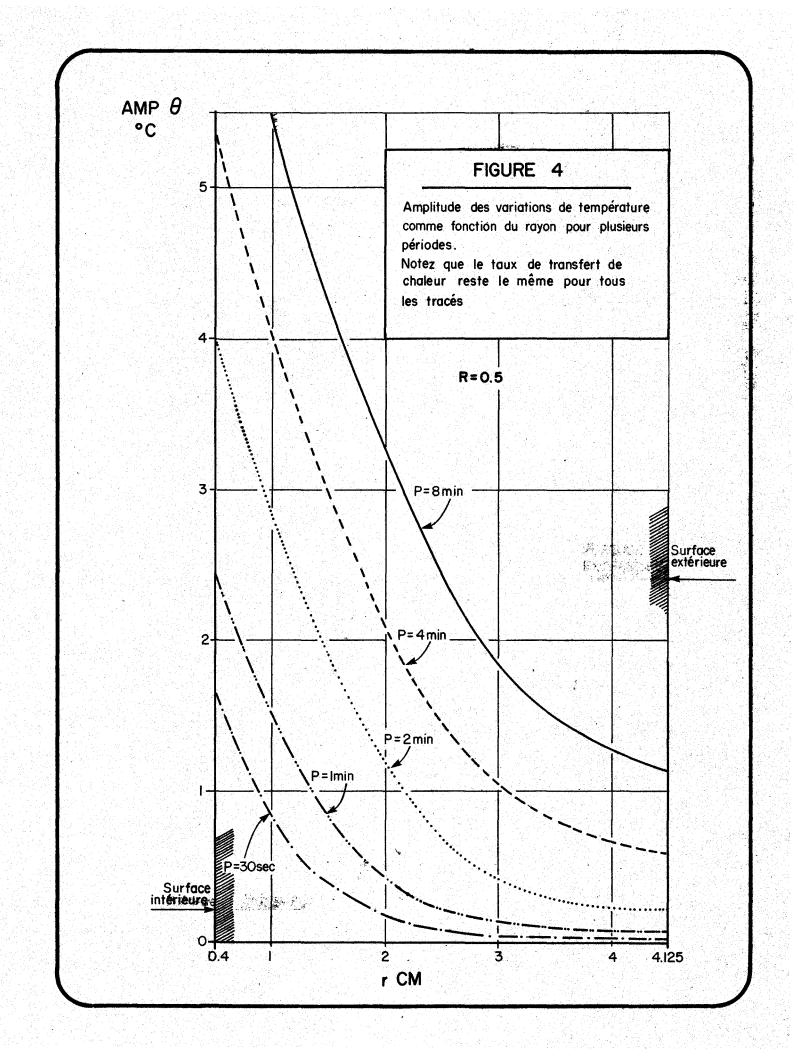


FIGURE 3. Variation temporelle de température aux quatre thermisteurs sur le rayon plus deux à l'entrée et à la sortie.

P=2min R=0.5



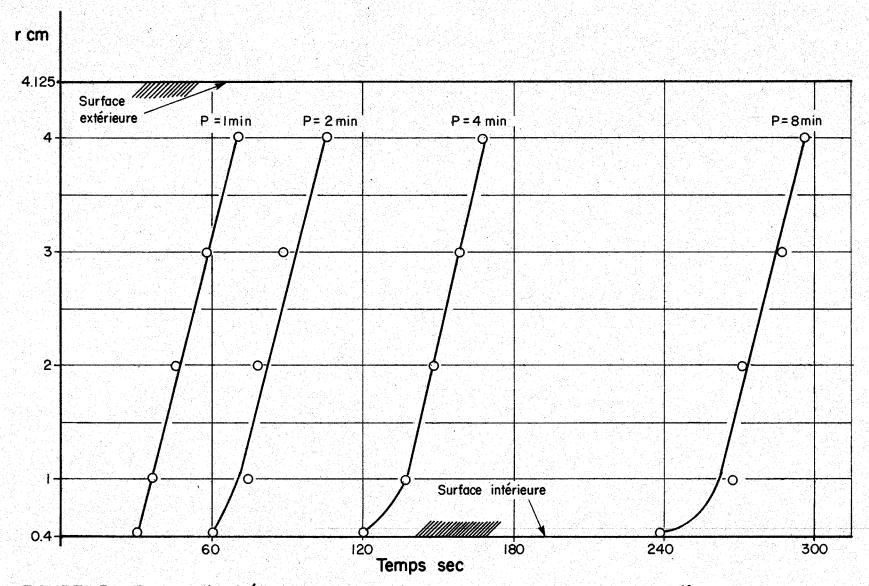
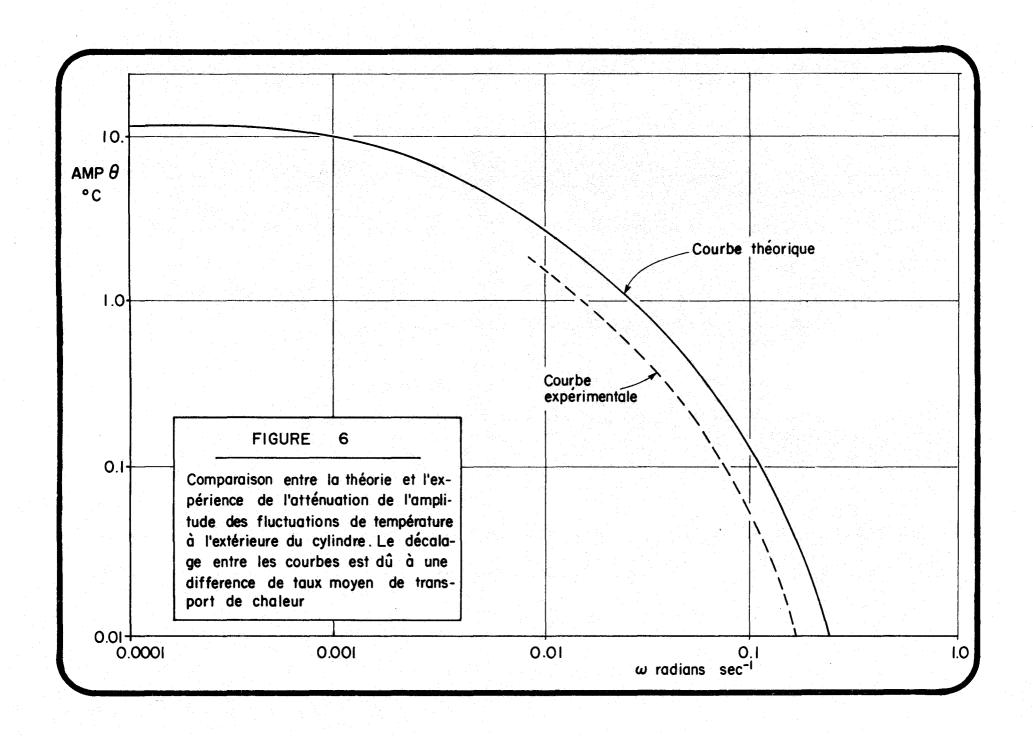
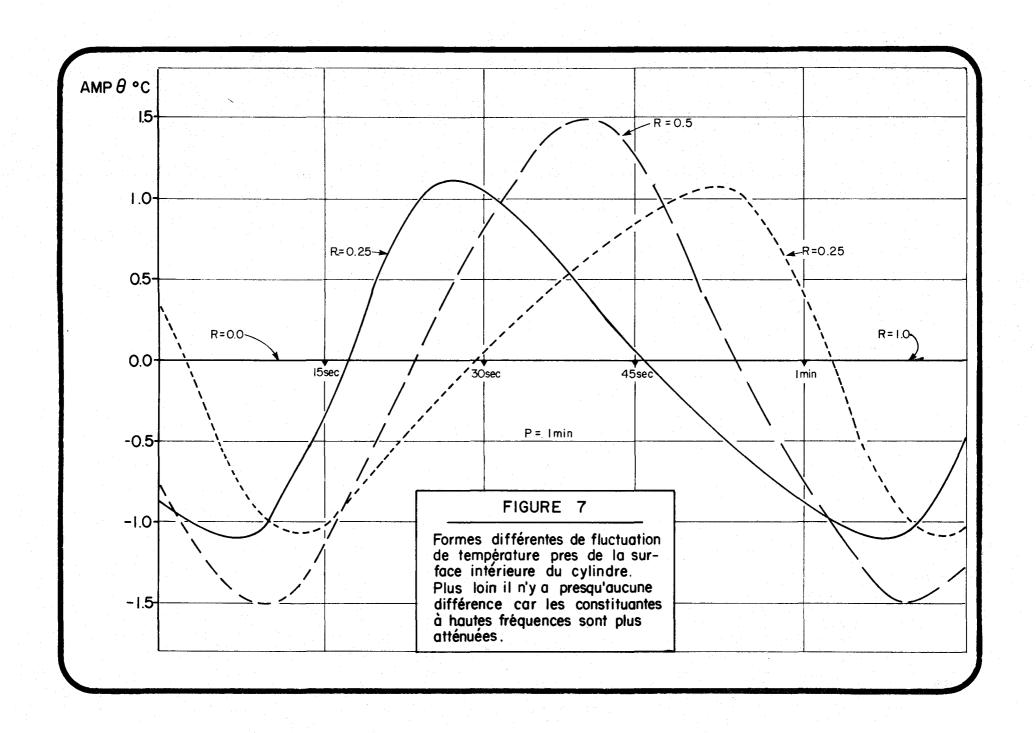
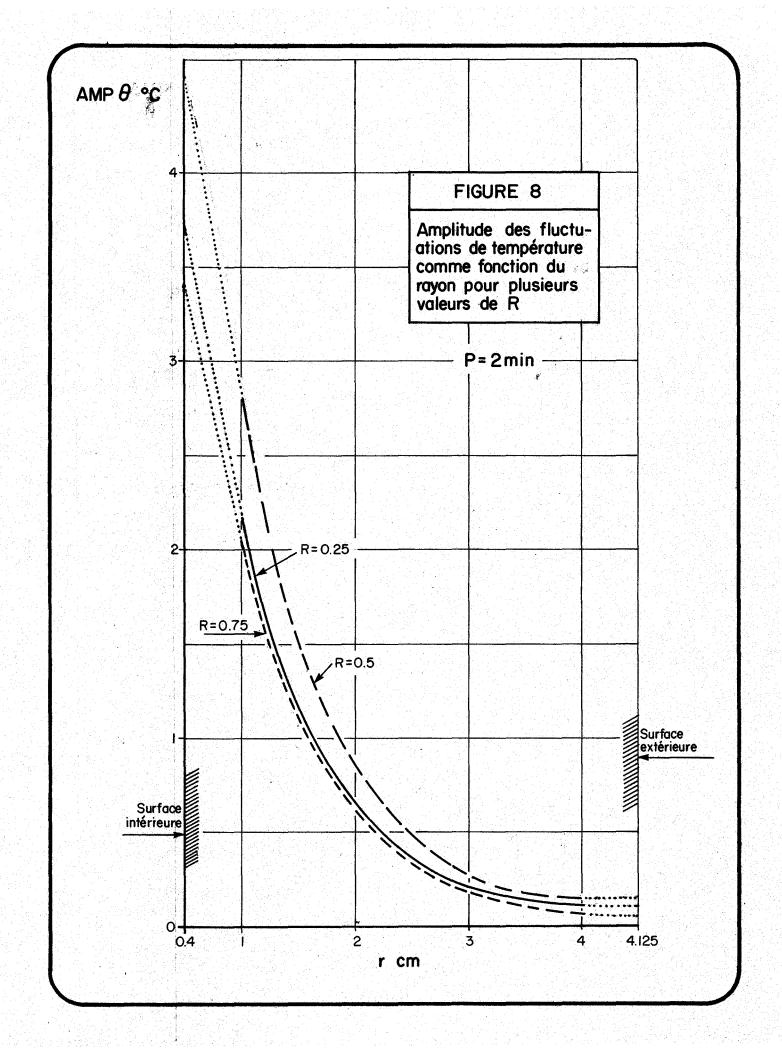
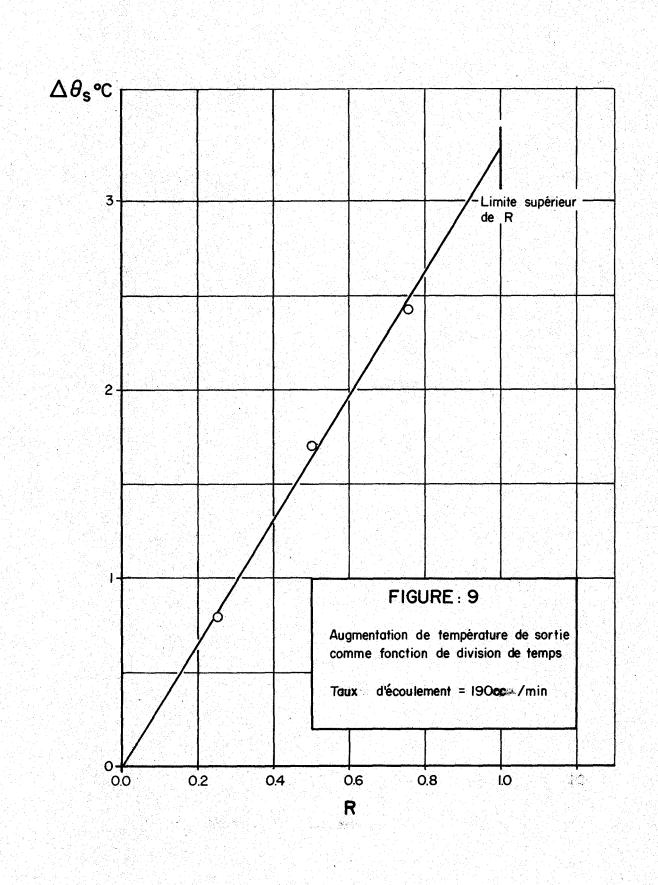


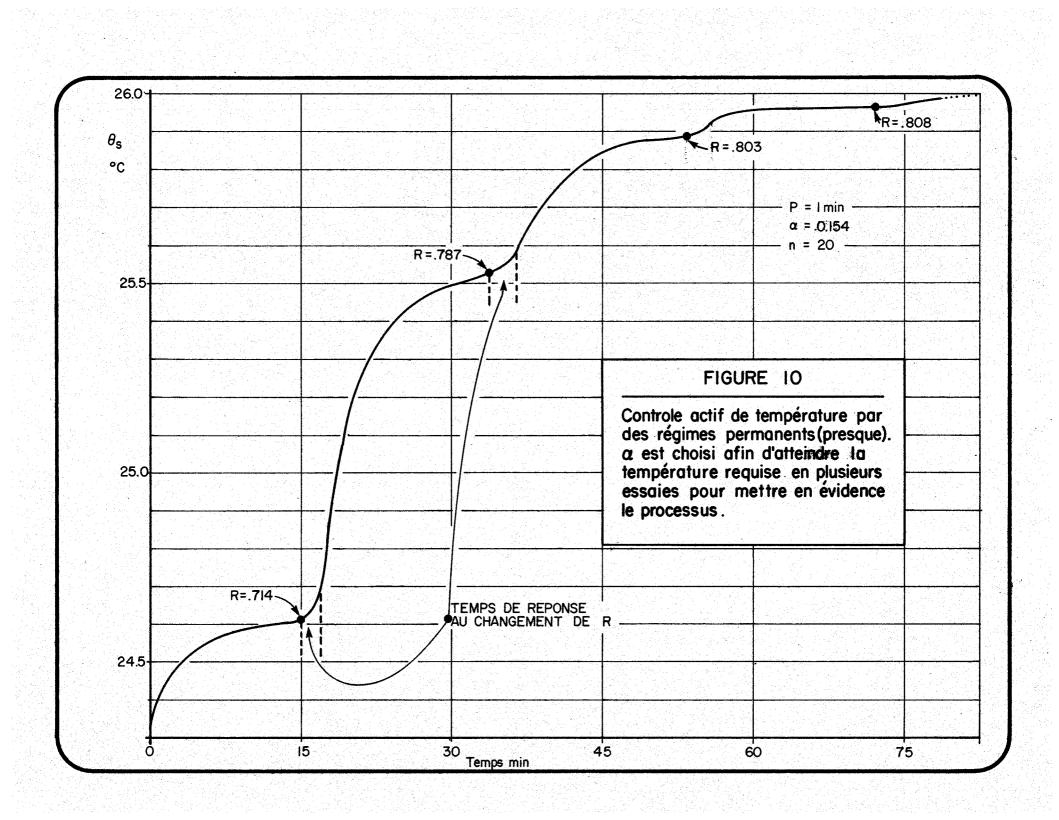
FIGURE 5. Temps d'arrivés de l'onde de chaleur aux thermisteurs, successifs sur le rayon.











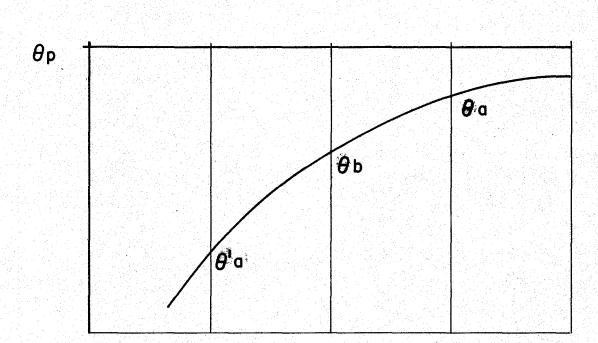
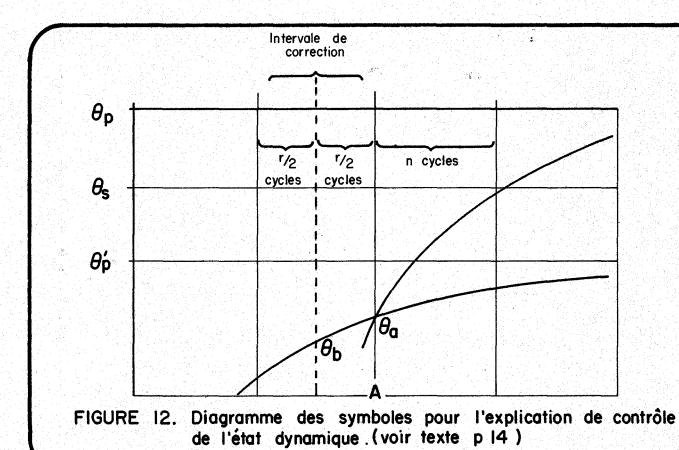


FIGURE II. Diagramme des symboles pour l'évaluation de $oldsymbol{eta}$ (voir texte p 12)



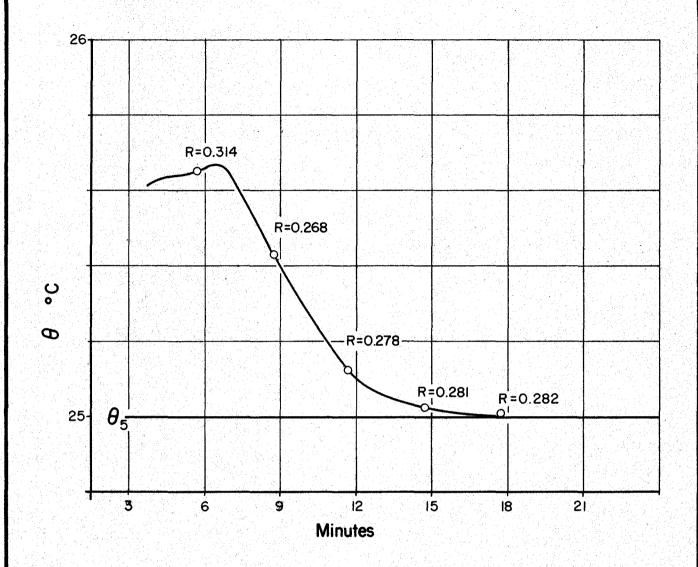
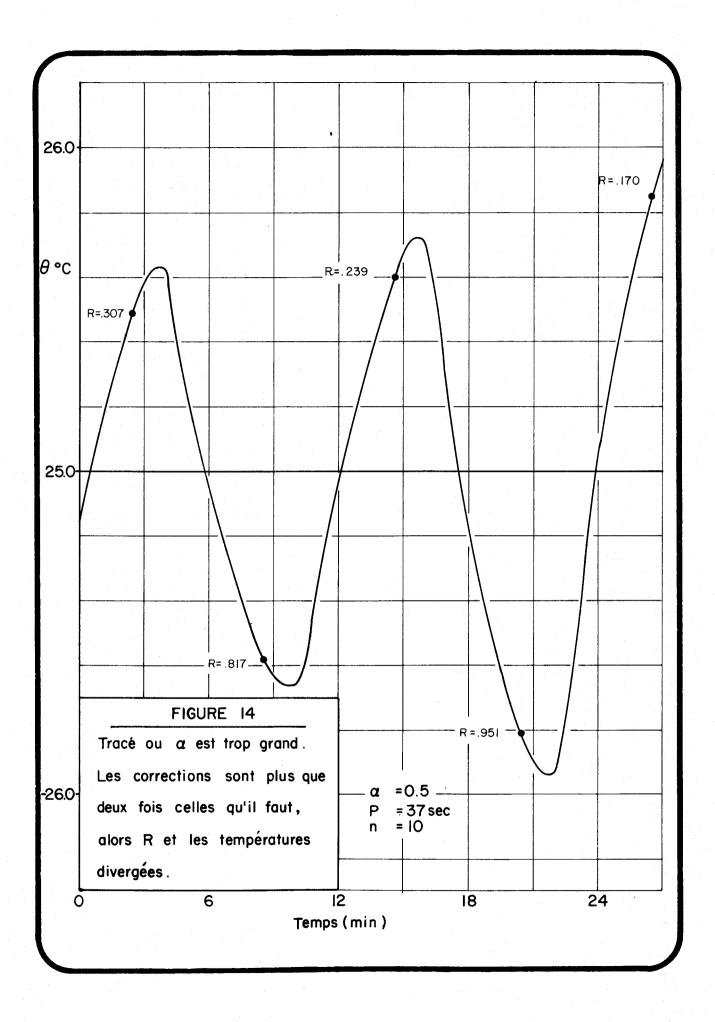
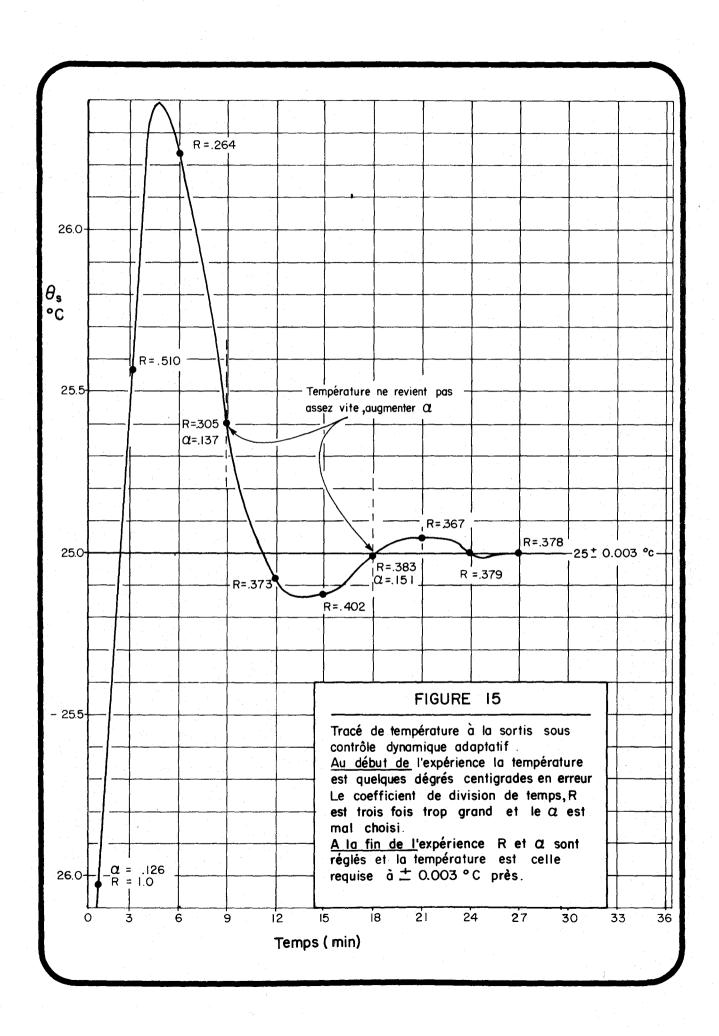


FIGURE: 13. Tracé où a est bien chaisi.

Le R est donc bien corrigé au début et il n'y a que des petites corrections ensuite. Encore mieux pour convergence rapide serait de surcorriger R pour une approche plus rapide à la température requise et de le remettre à la valeur juste par la suite; ce qu'on peut faire avec le controle adaptatif.





SELECTED WATER		i Report	No.	A. Berrson, C.
INPUT TRANSACTION	FORM			W
EXPERIMENTS ON PERATURE (Expériences le très précis de la		f permettant	le contrô-	A. R. ort Dec. 6. 8. Parforming Organ action Report We.
Langham, E.J.	and Sochanska, W.			10. Projectilo
S. Organizetian				
Québec Univers Scientifique-E	echerche	II. Continue (Green to.		
12. Sponsoring Organization 15. Supplementry Notes				13. Type of Repest and Period Covered
INRS-Eau, Tech	nical Report No 17	, 1973. 19 p	. 15 fig.	
16. Abserver				
wing theoretic fied and a ser on the device computer. In t	al studies of its iesof experiments of and the control of his way the programthe response. The	capabilities were conduct the fluid t mme paramete	. The predic ed in which emperature w ers are chang	the measurements ere executed by ed by the program-
				The man
·		•		
17a. Descriptors				
	ontrol, *Temperatu eat transfer, Cond		,*Snowmelt,	*Refrigeration,
17h. Ideolilious				
*Thermistor, M	elting snow, Fluid	•		
n en	02C			
	19. 3°C 128-28 1935.	D. A. of Pages	Send To:	
	A CAMPAGA AND A	the Property	WATER RESOURC U.S. DEPARTMENT WASHINGTON, D.	ES SCIENTIFIC INFORMATION CENTER TOF THE INTERIOR C 20240

INRS-Eau

M. Cantin