

Record Number:

Author, Monographic: Cluis, D.

Author Role:

Title, Monographic: Relation entre la température de l'eau d'une rivière et la température de l'air ambiant / Relationship Between Stream Water Temperature and Ambient Air Temperature

Translated Title:

Reprint Status:

Edition:

Author, Subsidiary:

Author Role:

Place of Publication: Québec

Publisher Name: INRS-Eau

Date of Publication: 1972

Original Publication Date:

Volume Identification:

Extent of Work: 12

Packaging Method: pages

Series Editor:

Series Editor Role:

Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche

Series Volume ID: 3

Location/URL:

ISBN: 2-89146-002-2

Notes: Rapport annuel 1971-1972

Abstract: Version française ou anglaise
10.00\$

Call Number: R000003

Keywords: rapport/ ok/ dl

SELECTED WATER
RESOURCES ABSTRACTS

INPUT TRANSACTION FORM

W

RELATIONSHIP BETWEEN STREAM WATER TEMPERATURE AND AMBI-
ANT AIR TEMPERATURE (Relation entre la température de l'eau
d'une rivière et la température de l'air ambiant),

Cluis, D.

Québec Université. Institut National de la Recherche
Scientifique-Eau.

INRS-Eau, Technical Report No 3, 11 p. 1 tab.

The water temperature of streams and rivers is required for various prac-
tical purposes and is frequently obtained by calculating the heat budget.
This method is tedious and yields rather inaccurate values of the water
temperature. This paper presents an alternative approach which uses cheap
and simple measurements of air temperature, which are believed to be major
factor controlling the water temperature. It is demonstrated that a use-
ful separation can be made between the seasonal cyclic variations and the
daily stochastic fluctuations of these temperatures.

The Descriptors

*Water temperature, *Air temperature, *Stream, *Mathematical model,
Measurement, heat budget, climatology.

The Identifiers

02E, 07B

Send To:

WATER RESOURCES SCIENTIFIC INFORMATION CENTER
U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR
WASHINGTON, D. C. 20240

M. Cantin

INRS-Eau

Relation entre la température de
l'eau d'une rivière et la température
de l'air ambiant

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

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 3
1972

Rapport rédigé pour
INRS-Eau

par
D. Cluis

Résumé

Relation entre la température de l'eau d'une rivière
et la température de l'air ambiant.

Le but de cette étude est de déterminer, en tenant compte des caractéristiques climatiques globales de la région, avec quelle précision la température de l'eau peut être prévue en fonction des épisodes météorologiques locaux caractérisés par le facteur global rendant le mieux compte des différentes causes: la température extérieure.

Mots clé : hydrologie, rivière, température, bilan, mesure, climat, air, météorologie, modèle.

Référence: Cluis, D. (1972). Relation entre la température de l'eau d'une rivière et la température de l'air ambiant. INRS-Eau, rapport scientifique no 3, 10 p. (français-anglais).

TABLE DES MATIERES

| | <u>PAGE</u> |
|--|-------------|
| RESUME..... | i |
| TABLE DES MATIERES..... | ii |
| I- Introduction..... | 1 |
| II- La rivière et les données de température..... | 2 |
| III- Caractéristiques climatiques des températures..... | 3 |
| a) Méthode utilisée pour déterminer la sinusoïde moyenne ac- tuelle en fonction de 170 jours de données..... | 4 |
| b) Caractéristiques des sinusoïdes de température de l'eau, et des maximum et minimum journaliers de l'air..... | 5 |
| c) Choix d'une température de l'air représentative des échan- ges..... | 6 |
| IV- Fluctuations météorologiques des températures | |
| a) Caractéristiques des écarts: apériodicité et inertie..... | 7 |
| b) Modèle prévisionnel..... | 8 |
| c) Résultats..... | 9 |
| CONCLUSION..... | 10 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 11 |

RELATION ENTRE LA TEMPERATURE DE L'EAU D'UNE RIVIERE ET LA
TEMPERATURE DE L'AIR AMBIANT

CLUIS D. (1972)

1- INTRODUCTION

Cette étude cherche à remplacer le calcul de bilan thermique de la rivière et la mesure onéreuse, longue et relativement imprécise des termes de celui-ci par la mesure simple et bon marché de températures extérieures et utiliser un certain découplage existant entre les variations "climatiques" et les fluctuations "météorologiques" des températures.

La température d'un cours d'eau en régime naturel est déterminée par deux séries de facteurs, les facteurs météorologiques et physiques.

Les facteurs météorologiques les plus importants sont la température de l'air, l'intensité et la durée des radiations solaires, la vitesse du vent à la surface et la pression de vapeur d'eau dans l'air.

Les facteurs physiques influençant le phénomène sont les dimensions de la surface libre, la profondeur de l'eau, le degré de turbulence (mélange), le débit, la température des apports souterrains et superficiels.

La température de l'eau est fort probablement en elle-même une caractéristique de qualité très importante, et la plupart des autres propriétés physiques, chimiques et biologiques en sont des fonctions.

II- LA RIVIERE ET LES DONNEES DE TEMPERATURE

L'étude a été effectuée sur la rivière du Nord près de Saint-Jérôme (comté de Terrebonne). Le bassin versant à cet endroit est de 451 milles carrés. La rivière est peu profonde, assez turbulente et mélangée pour que sa température puisse être considérée comme homogène.

Les données de température de l'eau sont celles recueillies sur le thermographe du ministère des Richesses Naturelles à la station # 04010B (du Nord à 0.3 mille en amont du pont-route rue Larivière à Saint-Jérôme), dépouillée heure par heure (24 lectures par jour) à 1⁰F près; la valeur utilisée est la moyenne journalière.

Les données de température de l'air sont les températures maximales et minimales journalières recueillies à Sainte-Agathe-des-Monts (station météorologique # 243) à 1⁰F près.

Pour éliminer les effets de changements d'état dûs à l'hiver (embâcle, débâcle, fonte de neige sur une partie du bassin), on a effectué cette étude sur 170 jours consécutifs à partir du 11 juin 1969.

III - CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DES TEMPERATURES

C'est un fait reconnu de longue date que les températures de l'air prises à heure fixe en un lieu s'organisent dans le temps autour d'une courbe sinusoidale de grande stabilité interannuelle (caractéristique climatique locale); les fluctuations autour de cette courbe représentent des "épisodes météorologiques" aléatoires comme des précipitations, des passages de fronts de perturbations, etc...

Ce n'est que plus récemment que l'on s'est aperçu que les températures journalières de l'eau d'une rivière convenablement mélangée se présentaient globalement selon le même schéma. (J.C. Ward)

Ce sont les relations entre les courbes climatiques interannuelles d'une part, entre les fluctuations météorologiques aléatoires d'autre part, de ces deux températures que nous avons cherché à mettre ici en évidence.

- a) Méthode utilisée pour déterminer la sinusofde moyenne actuelle en fonction de 170 jours de données.

l'équation de la sinusofde s'écrit:

$$t = a [\sin (bx + c)] + \bar{t} \quad (1)$$

dans laquelle t , \bar{t} et a sont des températures en degrés Fahrenheit, x le nombre de jours depuis le 11 juin, c une phase et où

$$b = \frac{2\pi^0}{365 \text{ jours}} = 0.987^0 / J = 0.0172 \text{ radian / jour}$$

\bar{t} , a et c sont calculés de façon à minimiser la somme des carrés des écarts E avec la sinusofde (ajustement des moindres carrés).

$$E_n = a [\sin (bx_n + c)] + \bar{t} - t_n \quad (2)$$

l'équation (1) peut se développer ainsi:

$$t = p \sin bx + q \cos bx + \bar{t} \quad (3)$$

avec

$$c = \text{Arctg } \frac{q}{p} \text{ et } a = \sqrt{p^2 + q^2} \quad (4)$$

L'ajustement des moindres carrés consiste alors à déterminer c , a et \bar{t} en minimisant la somme des carrés des écarts $\sum E^2$:

$$\sum_n E^2 = \sum [p \sin bx + q \cos bx + \bar{t} - t]^2 \quad (5)$$

... /

n représente les 170 valeurs de l'échantillon. On annule donc les dérivées partielles par rapport à c, a et \bar{t} :

$$E. \frac{\partial E}{\partial c} = E. \frac{\partial E}{\partial a} = E. \frac{\partial E}{\partial \bar{t}} = 0 \quad (6)$$

Après regroupement et simplification, on obtient le système en p, q et \bar{t}

$$\begin{aligned} p \sum \sin^2 bx + q \sum \sin bx \cdot \cos bx + \bar{t} \sum \sin bx &= \sum t \sin bx \\ p \sum \sin bx \cos bx + q \sum \cos^2 bx + \bar{t} \sum \cos bx &= \sum t \cos bx \\ p \sum \sin bx + q \sum \cos bx + \bar{t} n &= \sum t \end{aligned} \quad (7)$$

Ce système linéaire de 3 équations à 3 inconnues a été résolu sur APL/360 en p, q, \bar{t} puis en a, c, \bar{t} grâce aux équations (4).

b) Caractéristiques des sinusoides de température de l'eau, et des maximum et minimum journaliers de l'air.

La méthode décrite précédemment a permis de déterminer les coefficients suivants:

| température considérée | C_{rd} | a° | \bar{t}° | maximum annuel |
|------------------------|----------|-------------|-------------------|----------------|
| T eau | 0.773 | 21.90 | 47.49 | 63.39 |
| T min | 0.774 | 22.9 | 32.1 | 54.9 |
| T max | 0.777 | 29.7 | 45.2 | 74.9 |

De ce tableau, il ressort que ces sinusoides interannuelles sont en phase à 1 jour près et que le maximum se produit après 45 jours soit le 26 juillet.

c) Choix d'une température de l'air représentative des échanges.

J.E. Edinger, D.W. Duttweiler et J.C. Geyer ont montré que la température de l'eau est à la poursuite d'une "température d'équilibre" déterminée par les différents termes du bilan thermique, avec un retard de phase et un amortissement d'amplitude.

On sait que les séries des températures maximales et minimales journalières de l'air sont indépendantes. Nous avons choisi comme température représentative de l'air la combinaison linéaire de ces températures pour laquelle il n'y a pas d'échange de chaleur sensible au sommet du cycle, c'est-à-dire où le bilan "radiations-évaporation" change de signe:

On définit donc $T_{air} = \alpha T_{air\ min} + (1 - \alpha) T_{air\ max}$, tel que la somme $(a + t)$ pour la sinusoides ajustée à cette série soit égale à $69.39^{\circ}F$, le maximum annuel de la sinusoides "climatique" de l'eau. Cet ajustement a été effectué par approximations successives. Et l'on trouve:

| température considérée | C_{rd} | a° | \bar{t}° | maximum annuel |
|------------------------------------|----------|-------------|-------------------|----------------|
| T_{air} ($\alpha = 0.2755$) | 0.776 | 27.82 | 41.57 | 69.39 |

IV - FLUCTUATIONS METEOROLOGIQUES DES TEMPERATURES

a) Caractéristiques des écarts: apériodicité et inertie.

On définit les écarts météorologiques de température de l'air et de l'eau comme les différences entre la température réelle de la journée et la température donnée par la sinusoïde climatique qui a été ajustée au paragraphe précédent, pour la même journée. L'étude des spectres des autocorrélations de ces deux séries a montré qu'aucune périodicité parasite ne subsistait.

Si on considère le passage d'une perturbation atmosphérique comme un déplacement des équilibres thermiques par rapport aux sinusoïdes climatiques précédemment étudiées, il est intéressant de connaître dans la loi de retour à l'équilibre la part due à l'inertie thermique de l'eau et la part due aux échanges, air-eau qui est l'élément moteur des variations de température de l'eau. Nous avons donc calculé les coefficients d'autocorrélation des deux séries et les coefficients des séries de Markov du 2^{ème} ordre soit R_1 , le coefficient d'autocorrélation d'ordre 1

R_2 , le coefficient d'autocorrélation d'ordre 2

$$A_1 = \frac{R_1(1-R_2)}{1-R_1^2}$$

$$A_2 = \frac{R_2 - R_1^2}{1-R_1^2}$$

} coefficients du processus

} markovien d'ordre 2

On trouve:

| Série des écarts | R_1 | R_2 | A_1 | A_2 |
|------------------|-------|-------|-------|--------|
| Ec eau | 0.916 | 0.736 | 1.51 | -0.647 |
| Ec air | 0.619 | 0.290 | 0.712 | -0.150 |

On voit donc que l'inertie de l'eau de 2 jours explique une partie importante de la variance de la série et doit être prise en compte.

b) Modèle prévisionnel.

On écrit que l'écart de la température de l'eau au jour n est égal à l'inertie des écarts des 2 jours précédents plus un terme moteur dû aux échanges avec l'écart de la température de l'air:

SOIT:

TSEAU = la sinusofde climatique de l'eau

TSAIR = la sinusofde climatique de l'air

T AIR = la température de l'air

T EAU = la température de l'eau

$$TEAU(N) - TSEAU(N) = A_1 [TEAU(N-1) - TSEAU(N-1)] + A_2 [TEAU(N-2) - TSEAU(N-2)] + K [TAIR(N) - TSAIR(N)].$$

... /

Pour initialiser la récurrence, on doit se donner TEAU(1) et TEAU(2) en plus des données de température de l'air et de la sinusoïde climatique de l'eau.

Le coefficient K, d'échange air-eau est ajusté en minimisant les écarts avec la série mesurée des températures de l'eau. Cet ajustement a donné $K = 0.062$.

c) Résultats.

Le modèle a été testé sur 2 paramètres:

$\bar{\Delta}$ = Moyenne des écarts en valeur absolue:

σ = Variance des résidus:

| série | $\bar{\Delta}$ | σ |
|------------------|----------------|----------|
| série initiale | 2.23° F | 2.70° F |
| série résiduelle | 1.07° F | 1.36° F |

Comme les mesures ont été prises à 1° F, on a donc, au niveau de l'incertitude sur les données un de 0.5° F environ. Le modèle a donc divisé par 3 le niveau des fluctuations météorologiques de température.

Ces résultats sont présentés aux figures 1 et 2.

CONCLUSION

Ces résultats provisoires montrent qu'un certain découplage existe entre la périodicité annuelle et les fluctuations météorologiques. Ce modèle, très primitif de lissage et de persistance des températures de l'air, demande à être encore très amélioré pour pouvoir devenir opérationnel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Précis de Climatologie. Ch. P. Peguy P 155 - 164 Masson & Cie 1970

Température Analysis of a Stream - M.R. Collings, Tacoma, Wash. U.S. Geol. Survey
Prof. Paper 650B, Pages B174-B179

The Response of Water Temperature to Meteorological Conditions. J.E. Edinger, D.W.
Duttweiler, J.C. Geyer. Water Resources Research Vol 4 No 5, Oct. 1968, P1137-1143

The Temperature of a Small Stony Stream T.T. Macan Hydrobiologia Vol 12 195
p. 89-105

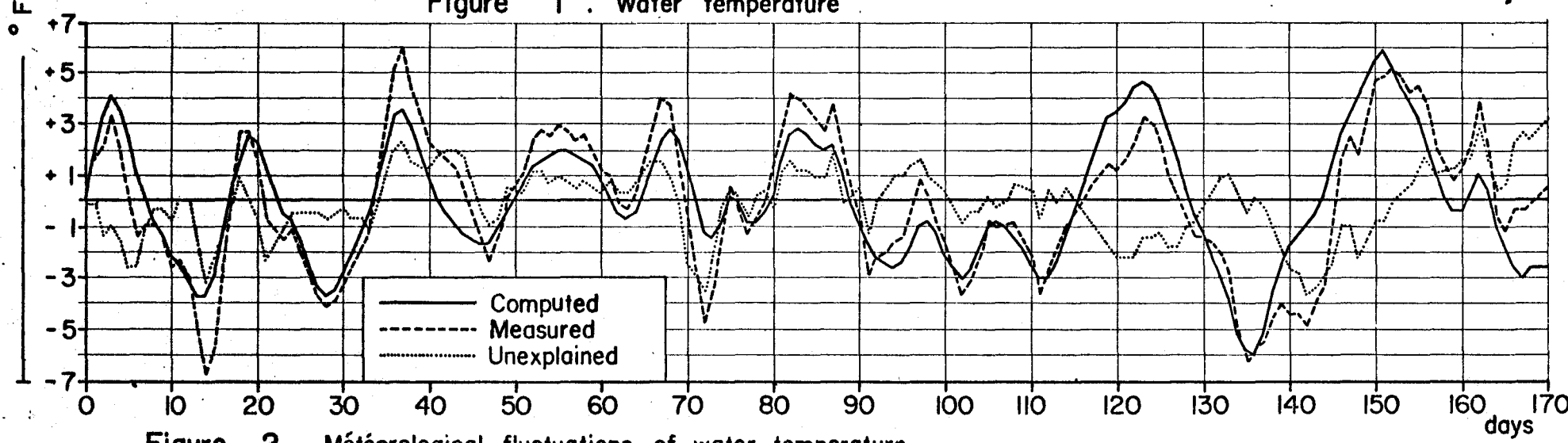
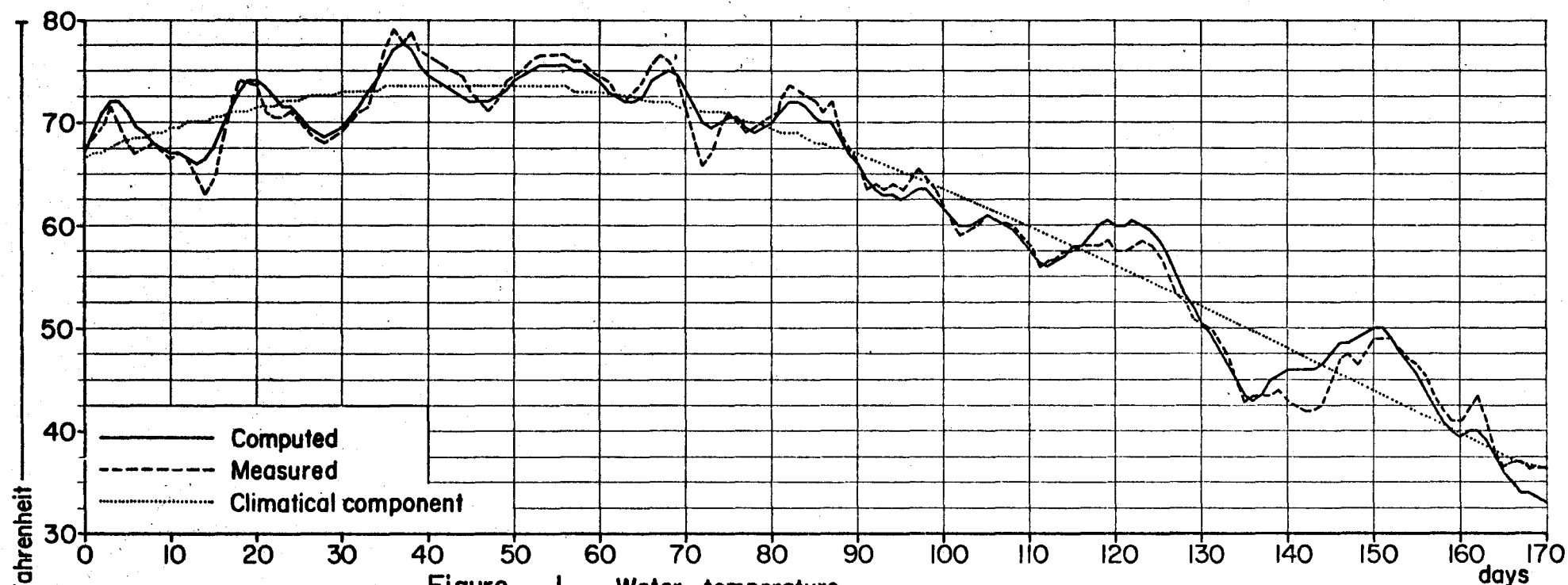
Grundlagen der Untersuchung der Temperaturverhältnisse in den Fliessgewässern
W. Schmitz P. 29-50 1954 Limnol. Flusstation Freudental

Etude du profil thermique de régime d'un cours d'eau
C. Haleur Cebedeau Mai et Nov. 1964 No 246 et 252

Annual Variation of Stream Water Temperature

J.C. Ward

Journal of Sanitary Engineering SA6 - Dec. 1963 P 1-16



ABSTRACT

Relationship between stream water temperature
and ambient air temperature.

The water temperature of streams and rivers is required for various practical purposes and is frequently obtained by calculating the heat budget. This method is tedious and yields rather inaccurate values of the water temperature. This paper presents an alternative approach which uses cheap and simple measurements of air temperature, which are believed to be major factors controlling the water temperature. It is demonstrated that a useful separation can be made between the seasonal cyclic variations and the daily stochastic fluctuations of these temperatures.

Key-words: stream, water temperature, measurement, air temperature, climatology, heat budget, mathematical model.

REFERENCE: CLUIS, D. (1972). Relationship between stream water temperature and ambient air temperature. INRS-Eau, rapport scientifique no 3, 10 p (french-english).

TABLE OF CONTENTS

| | <u>PAGE</u> |
|---|-------------|
| ABSTRACT..... | i |
| INTRODUCTION..... | 2 |
| REGIONAL CLIMATICAL CYCLES OF TEMPERATURE..... | 2 |
| METEOROLOGICAL FLUCTUATIONS OF TEMPERATURE..... | 3 |
| EXPRIMENTAL TEST OF THE RECURRENT EQUATION..... | 5 |
| FURTHER DEVELOPMENTS..... | 7 |
| REFERENCES..... | 8 |

INTRODUCTION

The water temperature of a natural stream is determined by two kinds of factors, the meteorological and the geophysical ones. The principal meteorological factors are the air temperature, the intensity and duration of sun radiations, the wind speed at the surface and the pressure of water vapor in the air.

The main geophysical factors are the flow discharge, the depth of the river, the degree of mixing, the dimension of the free surface, the temperature of the superficial and underground inflows.

The water temperature is a very important criterion in water quality and most of the other quality parameters (physical, chemical and biochemical) are temperature dependant.

The purpose of this study is to determine, after subtraction of the seasonal climatological cyclical component of the region, the precision with which one can predict the daily stream temperature fluctuations as a function of the local meteorological events characterized by the global factor integrating best the different causes : the air temperature.

REGIONAL CLIMATICAL CYCLES OF TEMPERATURE

It is a long recognized fact that air temperature measured locally at a fixed time is tributed around an annual sine curve of good interan-

nual stability; the fluctuations around that curve represent the effect of the stochastic events as the precipitations, the passages of fronts and the change in cloud coverage.

More recently, it was shown that the daily temperatures of a correctly mixed stream followed the same cyclical pattern (J.C. WARD, 1963).

In this paper, we develop a relationship between the stochastic components of the water and air temperatures.

For both air and water temperatures, the representative sine curve can be written :

$$T_s = a - b \sin (cn - d) \quad (1)$$

with $c = \frac{2\pi}{365} = 0.985 \text{ degree. day}^{-1} = 0.0172 \text{ radian. day}^{-1}$

and n being a numeration of the day in the year. The three other coefficients a , b and d can be determined by a least square fit of a sufficient number of data points to the curve.

This fitting confines us to the solution of a set of three normal equations derived from equation 1 as described by J.C. WARD (1963). J.E. EDINGER and al. (1968) have shown that the water temperature follows an " equilibrium " temperature determined at every moment by the heat budget, with a time lag and a damping of amplitude.

Given the independant serials of maximum and minimum air temperatures,

one has to choose some kind of air temperature, best representative for the heat exchanges.

After determination of the sine curve representing the seasonal cyclical part of water temperature, we chose as "representative" the air-temperature combination for which there is no sensible heat-exchange on the top of the cycle, i.e., when the "radiation - evaporation" budget reverses sign.

$$T_{air} = \alpha T_{min} - (1 - \alpha) T_{max}$$

with the maximum of T_{air} equals $(a - b)$ of the water sine-curve. The value of α can be evaluated by a trial and error procedure.

METEOROLOGICAL FLUCTUATIONS OF TEMPERATURE

We call meteorological fluctuations the daily differences between actual temperature and the cyclical component, both for water temperature and the "representative" temperature of the air as calculated before. The standard calculation of the auto correlations of the two series shows that no residual periodicity remains.

If one considers the passage of atmospheric perturbations as a disruption of the thermal equilibrium in regard to the "steady state" climatological sine curves calculated before, it is interesting to investigate the laws of return to equilibrium and specify the part due to water thermal inertia and the part due to the air-water exchanges.

After calculating the auto correlation coefficients for different data available, it was shown that the coefficient for two days still explained a non-negligible part of the variance of the phenomena.

If R_1 and R_2 are the auto correlation coefficients for one and two days, the coefficients of the second-order Markov process are given by :

$$A_1 = \frac{R_1 (1 - R_2)}{1 - R_1^2} \qquad A_2 = \frac{R_2 - R_1^2}{1 - R_1^2}$$

The fluctuations of the water temperature can then be calculated by the recurrent following equation :

$$\begin{aligned} Tw(n) - Tsw(n) &= A_1 Tw(n-1) - Tsw(n-1) \\ &- A_2 Ts(n-2) - Tsw(n-2) \\ &- K Ta(n) - Tsa(n) \end{aligned}$$

where n = number of the day in year
 Tw = actual water temperature
 Tsw = seasonal trend water temperature
 Ta = actual air temperature
 Tsa = seasonal trend air temperature
 $A_1 A_2$ = second-order Markov process coefficients
 K = exchange coefficient to be optimized

Once the seasonal sine curves are known, one just needs $T_w(1)$ and $T_w(2)$ to calculate every subsequent water temperature.

EXPERIMENTAL TEST OF THE RECURRENT EQUATION

The equation has been tested on the Du Nord River at Saint-Jérôme, 30 miles north of Montréal, P.Q., Canada. The intercepted area is 451 square miles and the flow is quite natural. The river is shallow and well mixed. The water temperature measurements were recorded by the Department of Natural Resources of the Province of Quebec with an accuracy of 1°F . The mean daily values were computed as the averages of the 24 hourly readings.

The maximum and minimum daily temperatures used were taken at the nearby meteorological station of Sainte-Agathe-des-Monts.

In order to avoid the effect of phase-change due to the winter conditions (jamming, snowmelt on some parts of the bassin), the study used the data of 170 consecutive days from June 11, 1969.

The fitting of the sine curve coefficients was executed on an APL/360 computer and the results are noted on table 1.

| Adjusted temperature | a $^{\circ}\text{F}$ | d rd | b $^{\circ}\text{F}$ | Annual maximum |
|--|-------------------------|---------|-------------------------|----------------|
| Water temperature | 47.49 | 0.773 | 21.9 | 69.39 |
| Minimum air temperature | 32.1 | 0.774 | 22.9 | 54.9 |
| Maximum air temperature | 45.2 | 0.777 | 29.7 | 74.9 |
| " representative " air temperature ($\alpha = 0.2755$) | 41.57 | 0.776 | 27.82 | 69.39 |

TABLE 1. Computed coefficients of the cyclical component of the temperature

On this table, it appears that the cyclical part of the temperatures are in phase within one day (0.0172 rd) and that the maximum appears 45 days after the 11th of June, i.e., on the 25th of July.

The two first auto correlation coefficients and Markov coefficients of the fluctuations series have been computed and are shown in Table 2.

| Fluctuation series | R_1 | R_2 | A_1 | A_2 |
|--------------------|-------|-------|-------|--------|
| Water | 0.916 | 0.736 | 1.510 | -0.647 |
| Air | 0.619 | 0.290 | 0.712 | -0.150 |

TABLE 2 : Auto correlation coefficients and Markov Coefficients of the stochastic components of the temperature.

This table shows the importance of the inertia for the water series.

The coefficient K, standing for the driving term of the exchange air-water has been adjusted on a sample of the data in minimizing the discrepancies between prediction and measurement. This adjustment gives $K = 0.062$.

The recurrent equation was run for the whole set of data and the results are shown on the Figures 1 and 2.

The mean of the absolute values of the measured fluctuations (stochas-

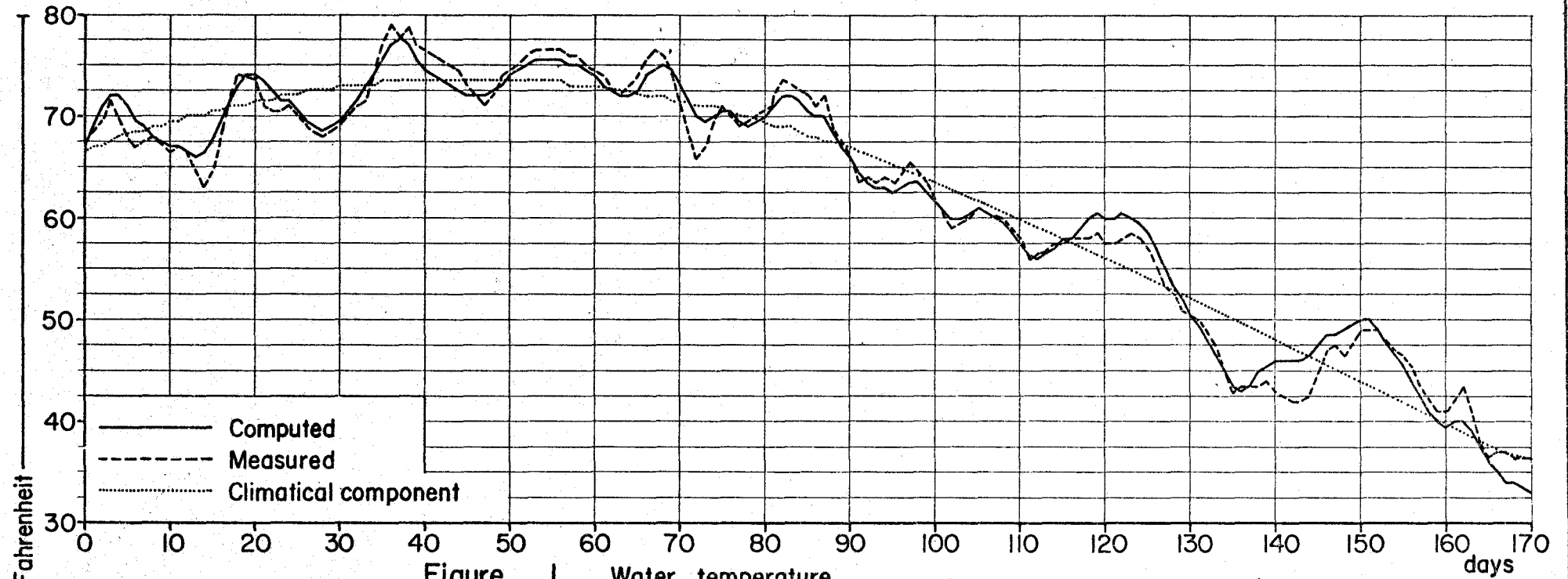


Figure 1 . Water temperature

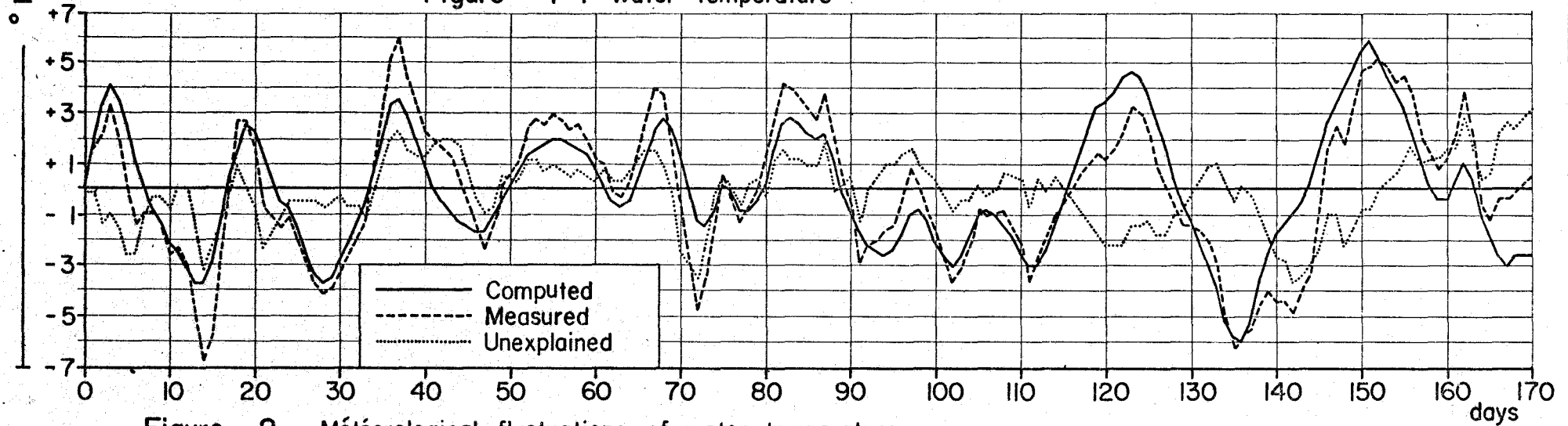


Figure 2 . Météorological fluctuations of water temperature

tic component) was 2.23°F . After the run of the auto regressive equation, this value for the unexplained part of the fluctuations was 1.07°F .

It can be seen that those discrepancies are outside the range of the experimental measurements (1°F) and it confirms the fact that air-temperatures are not the sole factor, but only the most important one for the prediction model.

Nevertheless, that kind of model, after a suitable experimental calibration, could be useful for certain uses. For example, it could prove some change in the thermal regime of the stream due to industry, if subsequent measurements show an unexplained fluctuation outside the precision range of the model.

FURTHER DEVELOPMENTS

The testing of the auto regressive scheme is currently made on different rivers of the province where data are available. We will also try to improve the model by using cyclical values of the air-water transfer coefficient K around the year.

Another step will be to investigate on the shape of the circadian fluctuations.

REFERENCES

1. Edinger, J.E.; Duttweiler, D.W. and Geyer, J.C.,
The response of water temperature to meteorological
conditions.
In: Water Resources Research, 4(5): 1137-1143, 1969.
2. Kothandaraman, V., Analysis of water temperature
variations in large river. In: ASCE, Journal of Sa-
nitary Engineering division, proceedings SA1, pp. 19-31,
Feb. 1971.
3. Quimpo, R.G., Stochastic model of daily river flow
sequences. In: Colorado State University Hydrology
paper; no. 18, Feb. 1967.
4. Ward, J.C., Annual variation of stream water temperature.
In: ASCE, Journal of Sanitary Engineering Division,
proceedings SA6, pp. 1-6, Dec. 1963.