

Marcel Terrier

Le mai 2025

LA TEMPERATURE MOYENNE DE LA SURFACE D'UNE PLANETE A-T-ELLE UN SENS ?

En thermodynamique, grandeurs extensives et extensives :

Les physiciens n'aiment pas faire des additions de températures et aiment encore moins faire des moyennes de températures ! En effet les grandeurs extensives comme volume et masse peuvent s'additionner mais les intensives comme la température ne le peuvent pas. C'est la cause de leur refus de prendre en considération la température moyenne de surface d'une planète, le calcul de la moyenne n'ayant selon eux pas de sens physiques ! Nous allons voir que ce point mérite une discussion tant est courant d'un côté le recours à ses moyennes et de l'autre côté le refus de les considérer.

La botanique fut la première science à se pencher sur cette question débattue :

Pourtant la nature de façon spontanée comme le rappelle le document à l'adresse ci-dessous réalise des additions et des moyennes sur les températures :

[https://mots-agronomie.inrae.fr/index.php/Temps_thermique_\(somm%C3%A9s_de_temp%C3%A9ratures\)](https://mots-agronomie.inrae.fr/index.php/Temps_thermique_(somm%C3%A9s_de_temp%C3%A9ratures))

Vous y trouverez que Réaumur dès 1735 introduit les concepts de « **température moyenne d'un jour** et de **somme des degrés de chaleur** » Cette idée fut reprise par le botaniste Adanson (1763 : 83 ss – dans un ouvrage dont l'orthographe phonétique radicalement simplifiée a dû rebuter bien des lecteurs), « les résultats de près de 15 années d'observations m'ont appris que, toutes choses égales, le nombre des degrés de chaleur qu'il faut pour opérer le développement des feuilles, des fleurs & des fruits d'une Plante est le même, soit que l'année soit hâtive, soit qu'elle soit tardive ».

La clé de la controverse, et la justification pratique de la méthode, est que, si les températures ne peuvent pas être additionnées, les effets de leur action peuvent l'être. Additionner des températures est alors une approximation pour évaluer leurs effets.

Chaque jour, l'ensemble des températures subies par la plante (ensemble que l'on approche par la température moyenne $T_{\text{moy}} = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 2$) y produit ce qu'on peut appeler un « développement élémentaire journalier ». Le développement de la plante sur une certaine durée est la somme de ces développements élémentaires. L'évaluer par une somme de températures, c'est faire l'hypothèse que l'effet de la température sur le développement est linéaire ; soit, par exemple, que le développement élémentaire d'un jour où $T_{\text{moy}} - T_{\text{base}}$ est de 15°C, est le triple de celui d'un jour où $T_{\text{moy}} - T_{\text{base}}$ est de 5°C !

L'Industrie chimique face à des problèmes de procédés industriels :

Nous ne parlerons pas ici de la notion d'équivalence temps/ Température utilisée pour les vitesses de réactions chimiques qui permet de jongler avec la notion intensive de température mais des procédés industriels confrontés à des calculs d'échanges thermiques où cohabitent plusieurs phénomènes physiques comme les échanges radiatifs et les convections.

UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING

International Editions 1993

Exclusive rights by McGraw-Hill Book Co. - Singapore for manufacture and export. The book cannot be re-exported from the country to which it is consigned by McGraw-Hill.

Copyright © 1993, 1985, 1976, 1967, 1956 by McGraw-Hill, Inc. All rights reserved. Except as permitted under the United States Copyright Act of 1976, no part of the publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 CWP PMP 9 8 7 6 5 4 3

This book was set in Times Roman.
The editors were B.J. Clark and Eleanor Castellano;
the production supervisor was Louise Karam.
The cover was designed by Joseph Gillians.

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

McCabe, Warren L. (Warren Lee), (date).

Unit operations of chemical engineering / Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott. - 5th ed.

p. cm. - (McGraw-Hill chemical engineering series)

Includes index.

ISBN 0-07-044844-2

I. Chemical processes. I. Smith, Julian C. (Julian Cleveland), (date).

II. Harriott, Peter. III. Title. IV. Series.

TP155.7.M393 1993

660'.2842-dc20

92-36218

When ordering this title, use ISBN 0-07-112738-0

Printed in Singapore

Un livre paru la première fois en 1956 dans lequel on trouve page 422 les calculs et considérations suivantes qui montrent la linéarisation de l'effet Température où la puissance 3 de la température se retrouve dans une constante.

COMBINED HEAT TRANSFER BY CONDUCTION-CONVECTION AND RADIATION

The total heat loss from a hot body to its surroundings often includes appreciable losses by conduction-convection and radiation. For example, a hot pipeline in a room loses heat nearly equally by each of the two mechanisms. Since the two types of heat transfer occur in parallel, the total loss is, assuming black surroundings,

$$\frac{q_T}{A} = \frac{q_c}{A} + \frac{q_r}{A} = h_c(T_w - T) + \sigma\epsilon_w(T_w^4 - T^4) \quad (14.46)$$

where q_T/A = total heat flux

q_c/A = heat flux by conduction-convection

q_r/A = heat flux by radiation

h_c = convective heat-transfer coefficient

ϵ_w = emissivity of surface

T_w = temperature of surface

T = temperature of surroundings

Equation (14.46) is sometimes written

$$\frac{q_T}{A} = (h_c + h_r)(T_w - T) \quad (14.47)$$

where h_r is a *radiation heat-transfer coefficient*, defined by

$$h_r \equiv \frac{q_r}{A(T_w - T)} \quad (14.48)$$

This coefficient depends strongly on the absolute magnitude of T_w and to some extent on the temperature difference $T_w - T$. However, when the temperature difference is small, the value of h_r can be approximated from a simple equation using only one temperature. Expansion of the fourth-power term in Eq. (14.46) gives

$$\frac{q_r}{A} = \sigma\epsilon_w(T_w^4 - T^4) = \sigma\epsilon_w(T_w^2 + T^2)(T_w + T)(T_w - T) \quad (14.49)$$

If $T_w - T$ is very small, T can be replaced by T_w in all but one term of Eq. (14.49) to give

$$\frac{q_r}{A} \approx \sigma\epsilon_w(2T_w^2)(2T_w)(T_w - T) = \sigma\epsilon_w(4T_w^3)(T_w - T) \quad (14.50)$$

From the definition of h_r , Eq. (14.48),

$$h_r \approx 4\sigma\epsilon_w T_w^3 \quad (14.51)$$

If the temperature difference $T_w - T$ is more than a few degrees but less than 20 percent of the absolute temperature T_w , the arithmetic average of T_w and T can be used to improve the accuracy of Eq. (14.51).

Equations (14.46) and (14.51) apply to a small area completely surrounded by a surface of much larger area, so that only the emissivity of the small area influences the heat flux. For surfaces of nearly equal area, the term ϵ_w should be replaced by $1/[(1/\epsilon_1) + (1/\epsilon_2) - 1]$, as indicated by Eq. (14.40).

RADIATION IN FILM BOILING. In film boiling at a very hot surface a major fraction of the heat transfer occurs by radiation from the surface to the liquid. Equation (14.46) applies to this situation, since the surrounding liquid, as discussed earlier, has an absorptivity of unity. When radiation is active, the film of vapor sheathing the heating element is thicker than it would be if radiation were absent and the convective heat-transfer coefficient is lower than it would be otherwise. For film boiling at the surface of a submerged horizontal tube, Eq. (13.22) predicts the convective heat-transfer coefficient h_o in the absence of radiation. When radiation is present, the convective coefficient is changed to h_c , which must be found by trial from the equation^{1b}

$$h_c = h_o \left(\frac{h_o}{h_c + h_r} \right)^{1/3} \quad (14.52)$$

where h_o is found from Eq. (13.22) and h_r from Eq. (14.48) or (14.51). Substitution of h_c and h_r into Eq. (14.47) then gives the total rate of heat transfer to the boiling liquid.

SYMBOLS

A	Area, m^2 or ft^2 ; A_1 , of surface 1; A_2 , of surface 2
C	Constant in Eq. (14.8), $2890 \mu m \cdot K$ or $5200 \mu m \cdot ^\circ R$; C_e , correction factor for radiation to gases at pressures other than 1 atm; C_1 , constant in Eq. (14.7), $3.742 \times 10^{-16} W \cdot m^2$; C_2 , constant in Eq. (14.7), $1.439 cm \cdot K$
c	Speed of light, $2.998 \times 10^8 m/s$ or $9.836 \times 10^8 ft/s$
D	Diameter, side of cube, or distance between planes, m or ft
F	View factor or angle factor, dimensionless; F_{11} , F_{12} , F_{13} , for radiation from surface 1 to surfaces 1, 2, 3, respectively; F_{21} , F_{23} , from surface 2 to surfaces 1 and 3, respectively
$\bar{F}$	Interchange factor for systems involving refractory surfaces, dimensionless; $\bar{F}_{12}$, from surface 1 to surface 2; $\bar{F}_{21}$, from surface 2 to surface 1
$\mathcal{F}$	Overall interchange factor, dimensionless; $\mathcal{F}_{12}$, from surface 1 to surface 2; $\mathcal{F}_{21}$, from surface 2 to surface 1
h	Planck's constant, $6.626 \times 10^{-34} J \cdot s$
h	Individual heat-transfer coefficient, $W/m^2 \cdot ^\circ C$ or $Btu/ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F$; h_c , for convection in the presence of radiation; h_r , for radiation; h_o , for boiling liquid in the absence of radiation

I	Radiation intensity, W/m^2 or $\text{Btu/ft}^2\text{-h}$; I_0 , at point on normal to radiating surface; I_1 , at surface 2 of radiation from surface 1
I_λ	Monochromatic intensity in absorbing material, W/m^2 or $\text{Btu/ft}^2\text{-h}$; $I_{0,\lambda}$, at surface of material
k	Boltzmann constant, $1.380 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
k_1	Constant in Eq. (14.13)
L	Thickness of material, radius of hemisphere or mean beam length in radiating gas, m or ft
L_λ	Absorption length, m or ft
p	Pressure, atm; $\bar{p}_G$, partial pressure of radiating gas
q	Heat flow rate, W or Btu/h ; q_T , total; q_c , by conduction-convection; q_r , by radiation; q_{12} , net exchange between surfaces 1 and 2; $q_{1 \rightarrow 2}$, radiation originating at surface 1 that is absorbed by surface 2; $q_{2 \rightarrow 2}$, radiation originating at surface 2 that returns to surface 2 and is absorbed
r	Radius of hemisphere or length of straight line connecting area elements of radiating surfaces, m or ft
T	Temperature, K or $^{\circ}\text{R}$; T_G , of radiating gas; T_w , of wall to surface; T_1 , of surface 1; T_2 , of surface 2
V	Volume of radiating gas, m^3 or ft^3
W	Total radiating power, W/m^2 or $\text{Btu/ft}^2\text{-h}$; W_b , of blackbody; W_1 , of surface 1; W_2 , of surface 2
W_λ	Monochromatic radiating power, $\text{W/m}^2\text{-}\mu\text{m}$ or $\text{Btu/ft}^2\text{-h-}\mu\text{m}$; $W_{b,\lambda}$, of blackbody
x	Distance from surface of absorbing material, m or ft
y	Variable, set equal to $(1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2)$

Greek letters

α	Absorptivity, dimensionless; α_G , of gas; α_1 , of surface 1; α_2 , of surface 2; α_λ , for wavelength λ
ε	Emissivity, dimensionless; ε_G , of gas; ε_w , of wall; ε_1 , of surface 1; ε_2 , of surface 2
ε_λ	Monochromatic emissivity, dimensionless
λ	Wavelength, μm ; λ_{max} , wavelength at which $W_{b,\lambda}$ is a maximum
μ_λ	Absorption coefficient, m^{-1} or ft^{-1}
ρ	Reflectivity, dimensionless
σ	Stefan-Boltzmann constant, $5.672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{-K}^4$ or $0.1713 \times 10^{-8} \text{ Btu/ft}^2\text{-h-}^{\circ}\text{R}^4$
τ	Transmissivity, dimensionless
ϕ	Angle with normal to surface; ϕ_1 , to surface 1; ϕ_2 , to surface 2

Ainsi l'équation 14.51 montre la linéarisation visée qui permet de faire des calculs de moyennes sur les températures !!!

Henri Masson a su utiliser cette méthode pour les planètes.

Soleil, température et CO₂

AUTEURS

Roland Van den Broek - Ingénieur civil

Henri Masson - Professeur (émérite) à l'Université Antwerpen

DATE DE PUBLICATION

14 avril 2023

Le document montre en son chapitre 4.3 comment linéariser la température au sol par un modèle thermique basé sur des moyennes équivalant au modèle dynamique !

Voici un extrait du texte de Masson.

Il est intéressant de noter que la modélisation de l'anomalie de température par une moyenne du rayonnement solaire n'est qu'une autre formulation du modèle thermique utilisé par Stockwell et exposé dans un de ses autres articles ([Stockwell 2011](#)) :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{C} (S - F) \quad (4.4)$$

Dans ce modèle, $\frac{dT}{dt}$ représente la dérivée de la température par rapport au temps, S le rayonnement solaire, F une perte radiative et C une constante. La perte radiative est supposée proportionnelle à la température:

$$F = \frac{T}{\lambda} \quad (4.5)$$

Cette hypothèse semble bizarre à première vue, la contribution radiative comprenant normalement un terme en T^4 . Cette formule correspond cependant à une démarche relativement courante, lorsqu'on travaille aux environs de la température ambiante. Voir ([McCabe, Smith, et Harriott 1993](#)).

Elle revient à considérer que le terme radiatif est un complément au coefficient de transfert convectif h_c , la formule de transfert de chaleur combinée radiative-convective devenant :

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = (h_c + h_r) S_e (T_0 - T) \quad (4.6)$$

où $h_r = 4\sigma\epsilon T^3$

Dans ces formules :

ρ	masse spécifique [kg/m ³]
c_p	chaleur spécifique [Joules /(kg°K)]
T	température [°K]
t	temps (h)
h_c	coefficient de transfert convectif (empirique) [W/(m ² °K)]
h_r	coefficient de transfert radiatif “linéarisé” [W/(m ² °K)]
S_e	surface d’échange [m ²]
T_a	température de l’autre milieu avec lequel la chaleur est échangée [°K]
σ	la constante de Stefan-Boltzmann [$\sigma = 5,670\,374 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$]
e	l’émissivité [0]

Moyennant cette linéarisation, obtient alors

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\lambda C} = \frac{S}{C} \quad (4.7)$$

Posons $\lambda C = k$

Si l’on considère $t = 0$ lorsque $\frac{dT}{dt} = 0$ et qu’à cet instant, $S = S_0$ et $T = T_0 = \lambda S_0$, une solution de l’équation différentielle est donnée par

$$T(t) - T_0 = \frac{e^{-\frac{t}{k}}}{C} \int_0^t e^{\frac{t}{k}} \Delta S(t) dt \quad (4.8)$$

Dans cette formule. $\Delta S(t) = S(t) - S_0$

C’est dans la formule 4.6 obtenue de la même façon que dans le Document de Cabe, Smith et Harriott qu’apparaît cette linéarisation qui autorise à donner un sens aux calculs de moyennes de températures. Bien sûr, il faut lire les deux documents et constater que des limites de validité sont données.

Conclusion :

Les calculs sur les moyennes de températures au sol ou sur les moyennes des écarts de température est donc possible et les valeurs moyennes ont un sens !!!

