HAL
open science

Echanges thermiques et phases fluides

Roger Prud'Homme, Stéphane Préau

To cite this version:

Roger Prud'Homme, Stéphane Préau. Echanges thermiques et phases fluides. ICTEA-HT3-06, May 2004, Beyrouth, Liban. hal-02275006

HAL Id: hal-02275006

https://hal.science/hal-02275006

Submitted on 30 Aug 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Libanaise

UNIVERSITÉ SAINT JOSEPH

RYERSON UNIVERSITY

Canadian Embassy in Lebanon
Ambassade du Canada au Liban

INTERNATIONAL CONFERENCE ON THERMAL ENGINEERING: THEORY AND APPLICATIONS

BOOK OF ABSTRACTS

May 31-June 4, 2004
BEIRUT-LEBANON

Scientific Program

Sunday May 30, 2004

18:00-19:30	Early Registration
19:30-21:00	Reception hosted by the Canadian Embassy

Monday May 31, 2004

08:30-09:30	**Registration**
	Master of the Ceremony: M. Z. Saghir
09:30-11:00	**Opening Ceremony**
	HE. President Emile LAHOUD HE Canadian Ambassador Michel Duval President of the Lebanese Order of Engineers and Architecture in Beirut Mr Sobhi Bissat
11:00-11:30	**Morning Break**
11:30-12:15	**Plenary Lecture by Prof. D.B. Ingham** Fluid Flows Through Porous Media: A Review and a Geological Application
12:15-13:00	**Plenary Lecture by Prof. D. Siginer** Heat Transfer Enhancement in the Flow of Complex Fluids in Straight Tubes
13:00-14:00	**Lunch Sponsored by the Lebanese Order of Engineers and Architecture in Beirut.** **Lunch Speaker: Mr. Nabil Abu Jawdi**
14:00-15:20	**Heat Transfer Session I** **Chair: D. Siginer**
ICTEA-HT1-01	Experimental and Numerical Modeling of Viscous Fingering under Combined Effects of Thermal, Solutal and Mixed Convection in Liquid-Liquid Miscible Displacements K. Bokhari and M.R. Islam
ICTEA-HT1-02	Numerical and Experimental Investigation for Reverse Flow in an Isothermal Inclined Tube I.Voicu, T. Maré, A.G. Schmitt, C.T. Nguyen, N. Galanis
ICTEA-HT1-03	MHD-Mixed Convection Heat Transfer from Radiant Vertical Cylinder H.M. Duwairi, S. Al-Araj
ICTEA-HT1-04	A Transiently Heated Micro Thermocouple Anemometer M. Khan, F. Lanzetta, E. Gavignet, P. Nika
15:20-15:40	**Afternoon Break**
15:40-18:20	**Porous Media Session I** **Chair: D. Ingham**
ICTEA-PM1-01	Theoretical Study of Heat and Mass Transfer within Cylindrical Porous Media with Cylindrical Dielectric Cores in Microwave Freeze Drying H. Wu, Z. Tao, G. Chen
ICTEA-PM1-02	Simulation Numérique du Phénomène de Condensation Autour d'un Tube Elliptique dans un Milieu Poreux R. Kibboua, A. Azzi
ICTEA-PM1-03	Augmentation of Natural Convection Heat Transfer by a Rotating Cylinder Placed in a Cavity

	K.R. Agha, H.A. Belhaj, S. Mustafiz, N. Bjorndalen and M.R. Islam
ICTEA-HT3-02	Steady Thermal Comfort by Radiant Heat Transfer:Impact of Heater Position N. Ghaddar, K. Ghali, M. Salam
ICTEA-HT3-03	Thermal Analysis of Electric Discharge Machining Process N. Ben Salah, F. Ghanem, K. Ben Atig
ICTEA-HT3-04	Radiant Floor Heating: An Opportunity for Energy Conservation K. Ghali, S. Chehade, K. El-Khoury
ICTEA-HT3-05	Experimental Analysis of Hydrodynamics and Influence of Temperature in a Food Dryer K. Daoud, M. Hamoudi, H. Abchiche
ICTEA-HT3-06	Echanges Thermiques et Phases Fluides R. Prud'homme, S. Préau
ICTEA-HT3-07	Numerical Study of Bidimensional Steady Natural Convection in Space Annuli Between Two Elliptic Confocal Ducts: Influence of the Slope Angle D. Mahfoud, M. Daguenet
ICTEA-HT3-08	Numerical Investigation of Fluid Flow and Heat Transfer Characteristics In Sine, Triangular and Arc Shaped Channels using Periodic Boundary Conditions M. Z. Hossain, M. J. Ahamed, A.K.M. Sadrul Islam

Thursday June 3, 2004

Chair: G. Nasr

8:40-10:00	**Turbulent Flow Session I**
ICTEA-TF1-01	Numerical Simulation of Vertical Hybrid Solar Collector under Turbulent Natural Convection R. Bennacer
ICTEA-TF1-02	Large Eddy Simulation of Rotating Turbulent Convection Using the Estimation Subgrid Scale Model S.J. Klotzkin, F.P. Deek
ICTEA-TF1-03	Two Dimensional Clothing Ventilation Model for a Walking Human K. Ghali, N. Ghaddar, J. Harathani
ICTEA-TF1-04	Turbulent Kinetic Energy Distribution across the Interface Region Between a Porous Medium and a Clear Fluid M.J.S. De Lemos
10:00-10:20	**Morning Break**
10:20-12:00	**Material Science Session I** — **Chair: M. Mehrvar**
ICTEA-MS1-01	The Effect of Vibrations on Material Processing-related Transport Phenomena in Space S. Hassan, T. Lyubimova, D. Lyubimov and M. Kawaji
ICTEA-MS1-02	On Some Latent Heat Effects on Solid/Liquid Transition During Floating Zone Growth From the Melt E. Semma, M. El Ganaoui and R. Bennacer
ICTEA-MS1-03	Numerical Investigation of the Vertical Parallel-Plates Natural Convection Flows for Low-Prandtl Fluids A. Campo, O. Manca, B. Morrone
ICTEA-MS1-04	Modeling Substrate Concentrations and Biofilm Growth in Pipeline Systems M.M. Al-Darbi, K. Agha, M.R. Islam
ICTEA-MS1-05	Transient MHD Free Convection on a Moving Isothermal Vertical Plate with Chemical Reaction M. Al-Odat

ECHANGES THERMIQUES ET PHASES FLUIDES

R. Prud'homme, S. Préau
Laboratoire de Modélisation en Mécanique – UPMC/CNRS, Case 162 - 4 place Jussieu 75252 PARIS CEDEX 05

SOMMAIRE

GENERALITES

Un changement de phase s'accompagne toujours d'un échange de chaleur. Néanmoins les choses peuvent se passer différemment selon le chemin suivi sur le diagramme d'état thermodynamique.
Comme on peut le constater sur la figure 1, il est possible de ne pas observer d'interface lors de la transformation liquide-vapeur d'un corps pur, si l'on contourne le point critique C.
C'est le cas d'une goutte de liquide froid, s'épandant de façon isobare (de pression plus ou moins supercritique, comme cela se produit avec l'oxygène liquide dans un moteur cryogénique) dans une atmosphère chaude où elle a été plongée (chemin 1). En revanche, en suivant le chemin 2 qui traverse la ligne de coexistence liquide-vapeur, il y a forcément une interface. C'est toujours le cas dans les évolutions isobares à pression subcritique (chemin 3).

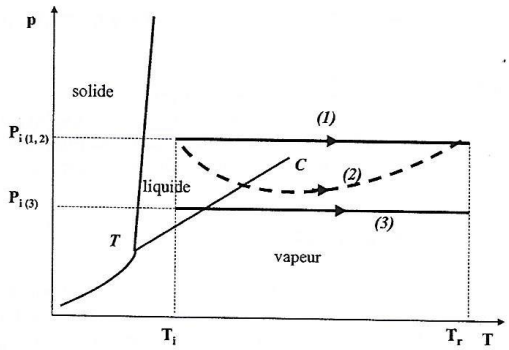

Fig 1. Chemins de transformations thermodynamiques dans le diagramme d'état d'un corps pur
(T, point triple, C, point critique)

CHANGEMENT DE PHASE AVEC INTERFACE

Nous présenterons ici diverses situations.

2.1. Goutte liquide en évaporation

La théorie classique (Godsave [1], Spalding) considère une évolution quasistationnaire en phase vapeur. En ce qui concerne la phase liquide, deux cas se présentent :

- le régime stabilisé, où la goutte a atteint une température uniforme de vapeur saturante correspondant à la pression considérée. On trouve que le carré du diamètre D de la goutte régresse suivant une loi linéaire du temps (loi du D^2).
- le régime de chauffage, pour lequel la température interne de la goutte est non uniforme et évolue dans le temps (une partie de la chaleur apportée par le gaz : Q_L sert à réchauffer le liquide, une autre à l'évaporer). Apparaît ici le nombre de Spalding caractéristique [2] : $B_T = \frac{C_p(T_\infty - T_S)}{\ell + Q_L/\dot{M}}$ (C_p, *chaleur spécifique à pression constante,* ℓ, *chaleur latente,* T_∞, T_S, *température à l'infini et à la surface de la goutte,* $\dot{M}$, *débit masse de la goutte)* et la loi du D^2 n'est plus vérifiée.

2.2. Plaque en combustion soumise à un écoulement parallèle

La plaque se sublime (ou s'évapore après s'être liquéfiée superficiellement sous l'effet de la flamme). La théorie d'Emmons fournit une solution analytique vérifiant l'équation de Blasius. Apparaît ici le nombre de transfert de masse [3] : $B = \dfrac{\Delta H_C Y_{O_2,\infty} - Cp_\infty (T_w - T_\infty)}{\Delta H_P + Q}$

(ΔH_C, enthalpie de combustion par unité de masse d'oxygène consommée et $Y_{O_2,\infty}$, fraction massique d'oxygène, Cp_∞, capacité calorifique à pression constante de l'air ambiant et T_∞ sa température, ΔH_P, enthalpie massique de pyrolyse et Q regroupant l'ensemble des pertes thermiques à la surface du combustible par unité de masse de combustible pyrolysé)

2.3. Le recul différentiel de la vapeur

Dans certaines circonstances (évaporation sous vide, ébullition en proche critique), un terme de pression en carré de la vitesse relative du gaz par rapport à l'interface : $p_L - p_G = \dot{m}^2 \left(\dfrac{1}{\rho_G} - \dfrac{1}{\rho_L} \right)$,

(L pour la phase liquide, G pour la vapeur, p, pression, ρ, masse volumique, $\dot{m}$, débit unitaire) s'exerce normalement à cette interface, provoquant des perturbations importantes à son mouvement et à sa forme. En configuration plane, cela donne naissance à l'instabilité de Hickmann étudiée par Palmer [4]. Dans le cas de l' ébullition en proche critique, on observe une situation, étudiée par Nikolayev [5], où la vapeur paraît mouiller la paroi.

2.4. Evaporation et théorie cinétique des gaz (Nicodin et Gatignol [6])

L'écoulement du gaz est considéré sur la base des modèles discrets pour l'équation de Boltzmann. La formation et la propagation de la perturbation dans le gaz, initialement uniforme et limité par sa phase condensée en déséquilibre avec la phase gazeuse, sont analysées quand l'évaporation ou la condensation prennent place.

CHANGEMENT DE PHASE SANS INTERFACE

3.1. Tension superficielle effective

Selon les travaux de Defay et Sanfeld pour les fluides miscibles, ou selon la théorie du second gradient (voir Gatignol et Prud'homme [7]), une tension de surface effective apparaît du fait de la présence d'une zone de fort gradient. On trouve, pour cette tension effective dans le cas d'un fort gradient de masse volumique, une expression de la forme :

$\sigma_{eff} = \int_{\xi_I}^{\xi_{II}} \lambda \vec{\nabla}\rho . \vec{\nabla}\rho \, d\xi$, *($\xi$, coordonnée normale à l'interface, λ, coefficient de capillarité).*

3.2. Expansion d'une goutte sous pression supercritique

Deux cas se présentent :

- $p_r = p_i \geq p_c$, $\rho_i = \rho_c > \rho_r$, $T_i \cong T_c < T_r$, ce cas se présente dans les propulseurs cryogéniques avec l'injection de gouttes froides de LOX
- $p_r = p_i > p_c$, $\rho_i > \rho_c > \rho_r$, $T_i < T_c < T_r$, ce cas, difficile à traiter à cause des divergences critiques au voisinage de la goutte a fait l'objet d'études analytiques et numériques récentes (Préau et al. [7]). Nous présentons sommairement un résultat concernant l'évolution du diamètre de la goutte au cours du temps.

Il a été procédé à des développements asymptotiques et une solution quasi-stationnaire originale a été mise en évidence, qui s'avère en bon accord avec les résultats numériques. Pour ce nouveau type de solution, la limite intérieure de la zone de transition goutte-gaz considérée correspond à la densité initiale, tandis que sa limite extérieure est la sphère où le débit masse est maximum. On obtient une loi d'évolution approchée :

$D^{\beta} - \beta D = (1-\beta)\sqrt{1-\tau}$, (D, diamètre réduit de la limite intérieure de la zone de transition, τ, temps réduit, β, coefficient constant), qui permet de retrouver, pour β grand, la loi du D^2.

1. Godsave, G.A.E. (1953): "Studies of the combustion of drops in a fuel spray. The burning of single drops of fuel", *Fourth Symposium (International) on Combustion,* The Combustion Institute, 818-830.
2. Lefebvre, A.H. (1989) : *« Atomization and sprays »,* Hemisphere Publishing Corporation.
3. Emmons, (1956) : "The film combustion of liquid fuel", *Zeitschrift für angewande mathematik und mechanik*, vol. 36, pp. 60
4. Nikolayev, V.S. & Beysens, D.A. (1999): "Boiling crisis and non-equilibrium drying transition", *Europhys. Lett.,* **47**, 345-351.
5. Palmer, H.J. (1976): "The hydrodynamic stability of rapidly evaporating liquids at reduced pressure", *J. Fluid Mech.,* **75**, 487-511.
6. Nicodin et Gatignol (2003): « Modélisation du phénomène d'évaporation et de condensation sur la base de la théorie cinétique discrète » , 16ème Congrès Français de Mécanique, Nice, 1-5 septembre.
7. R. Gatignol & R. Prud'homme (2001) - Mechanical and thermodynamical modeling of fluid interfaces- Series on Advances in Mathematics for Applied Sciences, Vol 58, *World Sientific.*
8. S. Préau, J. Ouazzani, R. Prud'homme, B. Zappoli (2003) "Evaporation d'une goutte de corps pur dans sa vapeur près du point critique : pertinence de l'hypothèse quasi-stationnaire et corrections au deuxième ordre" . *Congrès Français de Mécanique, Nice, 1-5 septembre.*