



**HAL**  
open science

# Etude des phénomènes thermiques lors des transitions de phase dans un écoulement turbulent réactif mettant en oeuvre des fluides supercritiques

Charly Tesch, Antoine Leybros, J.C. Ruiz, Sébastien Lefevre, Pierrette Guichardon

## ► To cite this version:

Charly Tesch, Antoine Leybros, J.C. Ruiz, Sébastien Lefevre, Pierrette Guichardon. Etude des phénomènes thermiques lors des transitions de phase dans un écoulement turbulent réactif mettant en oeuvre des fluides supercritiques. SFGP 2019 - 17eme Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, Oct 2019, Nantes, France. . hal-04755930

**HAL Id: hal-04755930**

**<https://hal.science/hal-04755930v1>**

Submitted on 28 Oct 2024

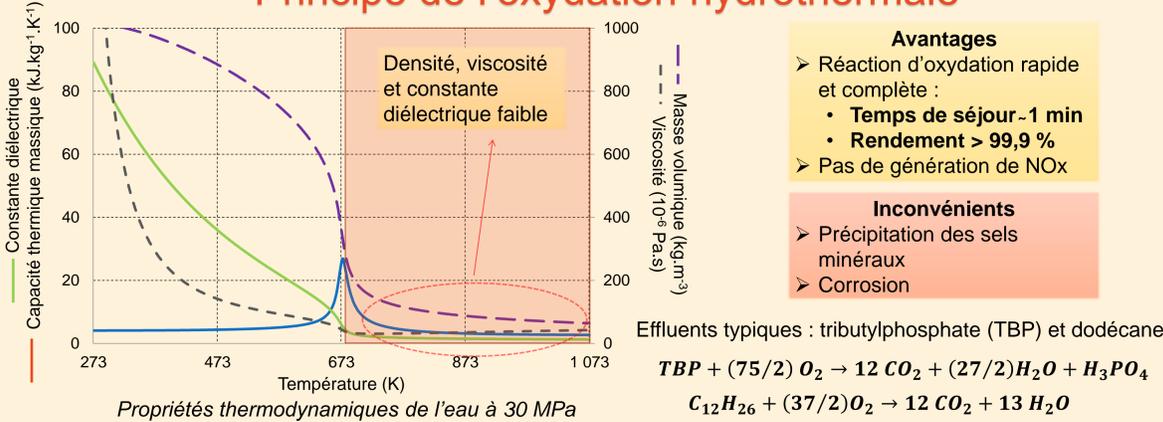
**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.

# Etude des phénomènes thermiques lors des transitions de phase dans un écoulement turbulent réactif mettant en œuvre des fluides supercritiques

Charly TESCH<sup>1</sup>, Antoine LEYBROS<sup>1</sup>, Jean-Christophe RUIZ<sup>1</sup>, Sébastien LEFEVRE<sup>2</sup>, Pierrette GUICHARDON<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>CEA, DEN, Univ Montpellier, DE2D, SEAD, LPSD, France; <sup>2</sup>A3i, Inovertis, France; <sup>3</sup>Aix Marseille Univ, CNRS, M2P2, France

## Principe de l'oxydation hydrothermale



## Transferts thermiques

Corrélation de Dittus-Boelter classique :

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$$

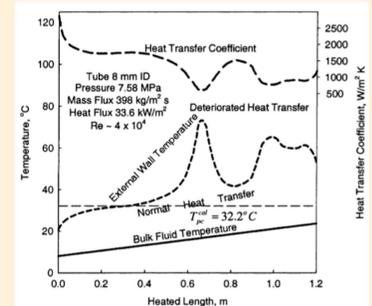
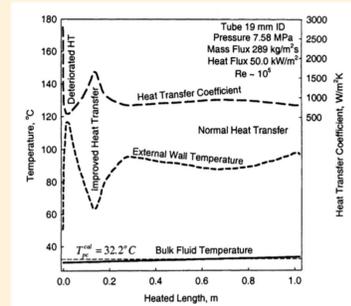
En milieu sub/supercritique :

$$Nu = f(\rho, \lambda, \mu, C_p, \dots)$$

Calcul du coefficient de transfert thermique :

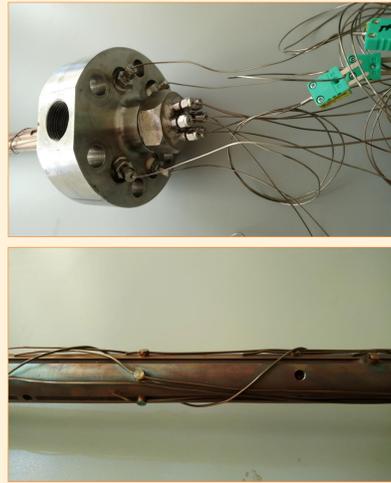
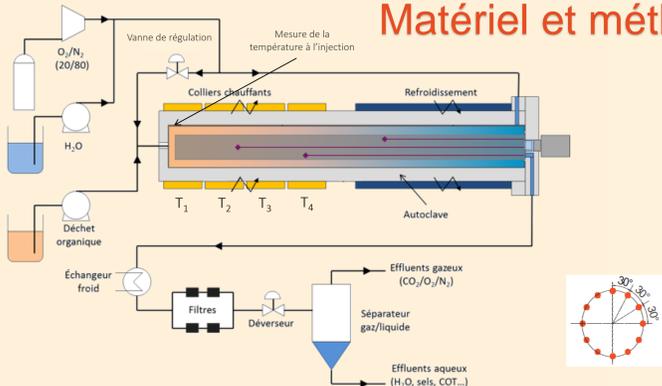
$$Nu = \frac{hL_c}{\lambda}$$

Prise en compte des variations des propriétés thermophysiques de l'eau au sein du réacteur



Profils de température et de coefficient de transfert thermique le long d'un réacteur dans le cas de transferts thermiques améliorés (à gauche) et détériorés (à droite)[1]

## Matériel et méthodes



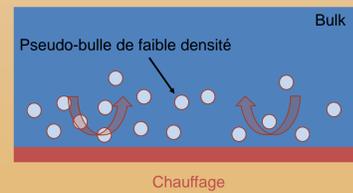
### Modifications apportées

Retrait du tube interne, remplacé par une canne en inox équipée de onze thermocouples

- Fonctionnement nominal : réacteur à double enveloppe agité sous pression à 30 MPa
- Préchauffage de l'eau et de l'air entre l'intrados du réacteur et l'intrados du tube interne de confinement
- Le mélange H<sub>2</sub>O + O<sub>2</sub> + hydrocarbure s'effectue au niveau de l'injection
- La réaction de minéralisation se situe dans le tube de confinement

### Transfert thermique amélioré

Pseudo-ébullition :  
Transfert de chaleur par convection



### Transfert thermique détérioré

Film pseudo-bouillant :  
Transfert de chaleur par conduction



### Conséquences sur le procédé :

- Diminution du coefficient de transfert thermique → échange de chaleur moins efficace
- Augmentation de la température de paroi du réacteur → problème de sécurité

## Problématique

Lors de la mise en œuvre d'un procédé d'OHT, le refroidissement de l'écoulement donne lieu à un écoulement multiphasique multiconstituants, de plus les propriétés thermophysiques de l'eau varient fortement en fonction de la température et de la pression au voisinage du point critique → **phénomènes thermohydrauliques complexes et fortement couplés.**

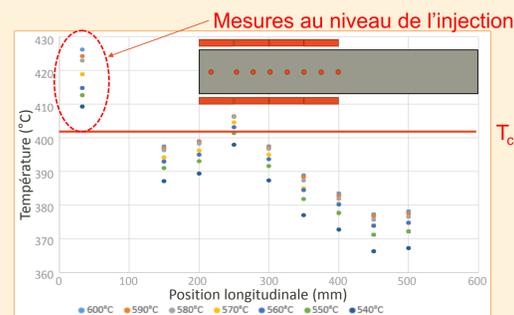
**Objectif :** Comprendre la phénoménologie pour cet écoulement multiphasique dans le cadre des transferts thermiques

## Stratégie de résolution

- Détection de la localisation de la zone de transition supercritique → sub-critique lors du refroidissement du fluide
- Evaluation de la dépendance du transfert thermique aux paramètres expérimentaux (température de chauffe, débits)
- Détermination de coefficients de transferts thermiques expérimentaux afin de les comparer aux coefficients calculés par une corrélation de Dittus-Boelter
- Couplage des résultats expérimentaux aux résultats obtenus grâce à la modélisation par mécanique des fluides numérique (CFD)

## Premiers résultats

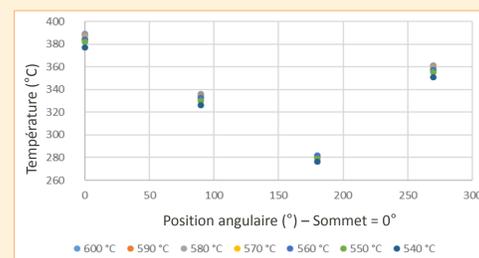
Les profils de température sont tracés pour différentes valeurs de température de consigne et de débit d'eau, le réacteur étant isobare (30 MPa)



Le pic de température à 250 mm est expliqué par les pertes thermiques en amont : le premier collier chauffant ne peut atteindre la température de consigne

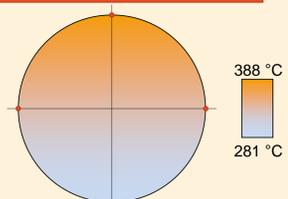
Le thermocouple placé à l'injection diffère des autres :  
 ➢ Il n'est pas attaché à la canne métallique, mais intégré dans le réacteur ;  
 ➢ Le thermocouple est placé contre la paroi → température plus élevée

Profils longitudinaux de température à débit fixé (4 kg/h)



Profils transversaux de température à une position longitudinale des thermocouples de 350 mm ; débit de 4 kg/h

Écoulement stratifié en température dans cette zone → Écoulement sub-critique

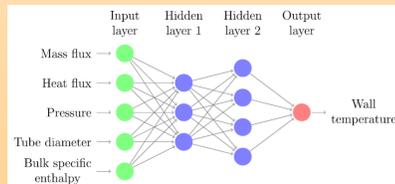


### Poursuite de l'étude en cours :

- Parcourir toute la gamme de débits d'eau (0,5 à 4 kg/h)
- Obtenir une zone de température uniforme dans le réacteur en manipulant les températures des colliers chauffants, de sorte à pouvoir raisonner sur celle-ci en bilans de puissance et de masse
- Repositionner les thermocouples de manière à obtenir le plus d'informations possibles dans cette zone

## Perspectives

Implémentation d'un réseau de neurones artificiel à l'aide du logiciel URANIE :



Exemple de réseau de neurones artificiel construit dans le contexte de l'étude du transfert thermique en milieu supercritique [2]

Nécessité de collecter beaucoup de données (10<sup>4</sup> - 10<sup>5</sup> points)

### Etude du mélange à l'injection :

Les conditions opératoires (température, pression, vitesse d'écoulement) et donc le caractère supercritique ou sub-critique de l'écoulement ont un effet sur le mélange :

- Équilibre thermodynamique eau/déchet organique
- Présence ou non d'une interface eau/déchet

Influence sur la cinétique du mélange

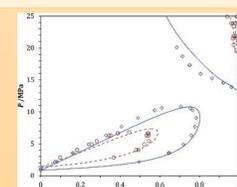
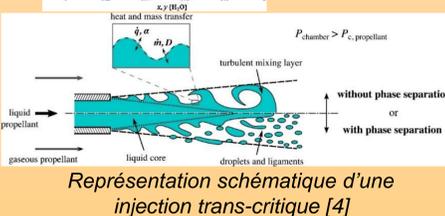


Diagramme de phase eau/dodécane [3]



Représentation schématique d'une injection trans-critique [4]

**Références :** [1] R. B. Duffey, I. L. Pioro, Experimental heat transfer of supercritical carbon dioxide flowing inside channels (survey), Nuclear Engineering and Design 235 (2005) 913-924 ; [2] W. Chang et al., Heat transfer prediction of supercritical water with artificial neural networks, Applied Thermal Engineering 131 (2018) 815-824 ; [3] F. A. Sanchez et al., Modeling hydrocarbon droplet dissolution in near-critical or supercritical water using GCA-EOS and non-ideal diffusional driving force in binary mixtures, The Journal of Supercritical Fluids 146 (2019) 1-14 ; [4] P. C. Ma et al., On the numerical behavior of diffuse-interface methods for transcritical real-fluids simulations, International Journal of Multiphase Flow 113 (2019) 231-249