

# TD : modélisation transitoire d'un bain de corium en fond de cuve et évaluation du risque de percement de la cuve

## Description

Dans ce TD, on se propose d'étudier les résultats donnés par des calculs PROCOR modélisant un bain de corium en fond de cuve. Via différentes coulées provenant de la fonte, d'une part, des structures internes du réacteur et, d'autre part, de la fonte de la cuve du réacteur, la thermochimie et la thermique du bain évoluent de manière transitoire dans le fond de cuve et cette évolution a un impact sur la charge thermique imposée sur la cuve du réacteur. On se propose d'étudier différents cas de test transitoires (différents instants de coulées et différentes options de modélisation dans le bain) correspondant à un benchmark proposé dans le cadre du projet européen H2020 IVRM [1] se basant sur l'étude d'accidents graves dans un réacteur type AP1000 [2]. La stationnaire atteint pour chacun de ces cas de test est comparable au stationnaire en fond de cuve atteint dans le TD1.

Dans un premier temps, il s'agira de comprendre les différents cas de test proposés et l'impact des coulées et des options de modélisation sur le transitoire en fond de cuve puis de comparer le bilan thermique transitoire du bain au bilan thermique stationnaire fait pour le TD1. Dans un second temps, une étude statistique de sensibilités permettra d'identifier les paramètres de modélisation pouvant avoir un impact important sur la charge thermique imposée sur la cuve pouvant mener à son percement.

## 1. Étude des cas de test du benchmark

### 1.1. Présentation des cas de test

Les cas 1,2 et 3 du benchmark sont présentés dans la Fig. 1.1. Pour chacun des cas, différentes coulées et différentes options de modélisation sont choisies.

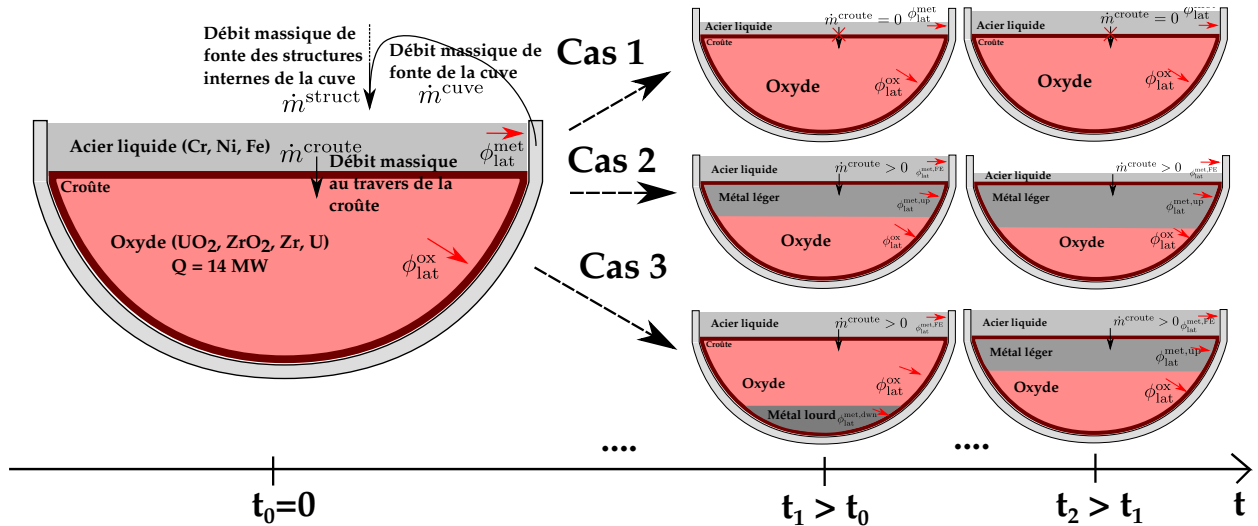


FIGURE 1: Configurations initiale ( $t_0$ ) et durant le transitoire ( $t_1$  et  $t_2$ ) pour les cas 1, 2 et 3 du benchmark.

Les conditions initiales à  $t_0$  sont :

- Masse de la couche oxyde :
  - *Cas n° 1* :  $m_{\text{UO}_2} = 59.6\text{t}$ ,  $m_{\text{ZR}} = 6.58\text{t}$ ,  $m_{\text{ZRO}_2} = 15\text{t}$
  - *Cas n° 2 et 3* :  $m_{\text{UO}_2} = 68\text{t}$ ,  $m_{\text{ZR}} = 7.5\text{t}$ ,  $m_{\text{ZRO}_2} = 17\text{t}$
- Masse de la couche d'acier liquide :
  - *Cas n° 1* :  $m_{\text{Cr}} = 7.2\text{t}$ ,  $m_{\text{Ni}} = 2.7\text{t}$ ,  $m_{\text{Fe}} = 27.7\text{t}$
  - *Cas n° 2* :  $m_{\text{Cr}} = 5.7\text{t}$ ,  $m_{\text{Ni}} = 2.2\text{t}$ ,  $m_{\text{Fe}} = 22.1\text{t}$
  - *Cas n° 3* :  $m_{\text{Cr}} = 1.9\text{t}$ ,  $m_{\text{Ni}} = 0.7\text{t}$ ,  $m_{\text{Fe}} = 7.4\text{t}$

Le transfert de masse par thermochimie au travers de la croûte horizontale,  $\dot{m}^{\text{croûte}}$ , peut ou non être activé :

- *Cas n° 1* :  $\dot{m}^{\text{croûte}} = 0$
- *Cas n° 2 et 3* :  $\dot{m}^{\text{croûte}} > 0$

Des coulées  $\dot{m}^{\text{struct}}$ , correspondant à la fonte des éléments du réacteur arrivant dans le bain, différentes sont considérées :

- *Cas n° 1, 2 et 3* :  $\dot{m}^{\text{struct}}(t) = 6\text{kg.s}^{-1}$  pour  $6000 \leq t \leq 9000$
- *Cas n° 3* :  $\dot{m}^{\text{struct}}(t) = 5\text{kg.s}^{-1}$  pour  $800 \leq t \leq 4800$

La stratification du bain de corium peut ou non être calculée :

- *Cas n° 1 et 2* : pas de stratification dans le bain sous la croûte, une seule couche oxyde ;
- *Cas n° 3* : stratification du bain en *métal lourd/oxyde* suite à la 1<sup>re</sup> coulée puis en *oxyde/métal léger* suite à la 2<sup>e</sup> coulée.

## 1.2. Lancement et analyse des cas de test

Arborescence du répertoire de travail pour le TD2 :

```
|_ benchmarkLauncher.sh
|_ appScilab.sh
|_ data
|   |_ vessel_steel_properties/
|   |_ ap1000_lower_head_application_parameter_input_file.txt
|   |_ ap1000_benchmark_parameter_input_file.txt
|_ output
```

Les différents fichiers correspondent à :

- **benchmarkLauncher.sh** : *script de lancement du benchmark PROCOR* utilisant l'application fond de cuve PROCOR pour chaque cas de test ;
- **appScilab.sh** : *script de lancement de l'outil Scilab* permettant de tracer les courbes des sorties PROCOR ;
- **vessel\_steel\_properties** : propriétés physique de l'acier de cuve ;
- **ap1000\_lower\_head\_application\_parameter\_input\_file.txt** : fichier d'entrées de l'application fond de cuve PROCOR dans lequel les différentes options de modélisation peuvent être modifiées ;
- **ap1000\_benchmark\_parameter\_input\_file.txt** : fichier d'entrées du benchmark permettant de surcharger des entées de l'application fond de cuve et/ou du benchmark. C'est celui utilisé pour l'étude statistique pour faire varier des paramètres aléatoirement ;
- les sorties seront dans **output**.

Les cas de test du benchmark peuvent être lancés via :

- `./benchmarkLauncher.sh AP1000Benchmark data/ ap1000_benchmark_parameter_input_file.txt output/`

Les sorties PROCOR dans **output/** sont :

- des fichiers \*.csv contenant les données temporelles des différents modèles de l'application fond de cuve ;
- des fichiers \*.png permettant une visualisation 'grossière' du fond de cuve au cours du temps ;
- des fichiers VTK/\*.vtk permettant une visualisation à l'aide du logiciel PARAVIEW ;

Elles peuvent être analysées via l'outil Scilab. Celui ci peut être lancé via :

- `./appScilab.sh -aTransientInLowerHead masses temperatures ...`
- Les arguments `masses temperatures ...` indiquent au script les courbes à tracer. Les courbes disponibles sont : `masses`, `mass_fractions`, `heights`, `temperatures`, `powers`, `heat_fluxes`, `vessel`, `water`

### 1.3. Étude du cas 1

- **Q1** Observer le transitoire de  $\bar{\phi}_{up}^{oxy}$ , le flux de chaleur moyen par la surface supérieure du bain oxyde. ■
- **Q2** Observer le transitoire de  $T_{met,FE}^{liq}$ , la température moyenne de la couche d'acier liquide. ■
- **Q3** Expliquer le transitoire de  $\bar{\phi}_{lat}^{met,FE}$ , le flux de chaleur moyen par la surface latérale de la couche d'acier liquide. ■
- **Q4** Expliquer le transitoire des flux de chaleur imposés sur la paroi interne de la cuve et leur impact sur l'épaisseur de la cuve. ■
- **Q5** Observer l'épaisseur  $h_{met,FE}^{liq}$  de la couche d'acier liquide. ■

Suites à ces questions, le temps auquel le flux de chaleur par la surface latérale de la couche d'acier liquide sera maximal peut être déduit.

- **Q6** Relever graphiquement cette valeur et la comparer au flux stationnaire  $\phi_{lat}^{met}$  calculé au TD1. ■
- **Q7** Dans le fichier d'entrées du benchmark, faire varier l'émissivité de la couche d'acier liquide. Expliquer son impact sur le focusing effect. ■

### 1.4. Étude du cas 2

### 1.5. Étude du cas 3

## 2. Étude statistique

### Références

- [1] L. Carénini, F. Fichot, N. Bakouta, R. Le Tellier, L. Viot, I. Melnikov, P. Pandazis, A. Filippov, Main outcomes from the ivr code benchmark performed in the IVMR project, in : Proc. of the 9th European Review Meeting on Severe Accident Research ERMSAR2019, Prague, Czech Republic, 2019.
- [2] H. Esmaili, M. Khatib-Rahbar, Analysis of in-vessel retention and ex-vessel fuel coolant interaction for AP1000, Technical Report NUREG/CR-6849 ERI/NRC 04-201, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research (2004).