



# Analyse des sollicitations maximales sur les composants (chargements thermohydrauliques)





**Contexte / Objectifs de l'analyse**

**Exhaustivité des situations**

**Caractérisation des situations**

**Conclusions**



## Chargements thermohydrauliques

Les conditions de fonctionnement d'un réacteur sont définies à partir :

- de régimes permanents
- de transitoires qui résultent :
  - des actions prévues au titre de la conduite normale (suivi de charge, mise à l'arrêt...)
  - d'évènements fortuits qui peuvent affecter l'installation

Elles sont identifiées comme des *situations* dans lesquelles peut se trouver la chaudière

Ces situations sont classées en *quatre catégories* en fonction de leur fréquence estimée d'occurrence

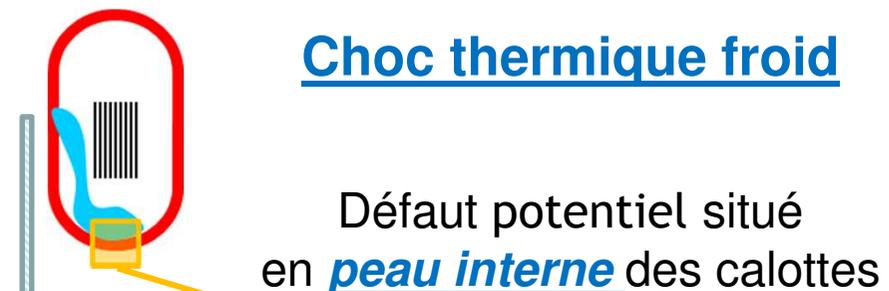
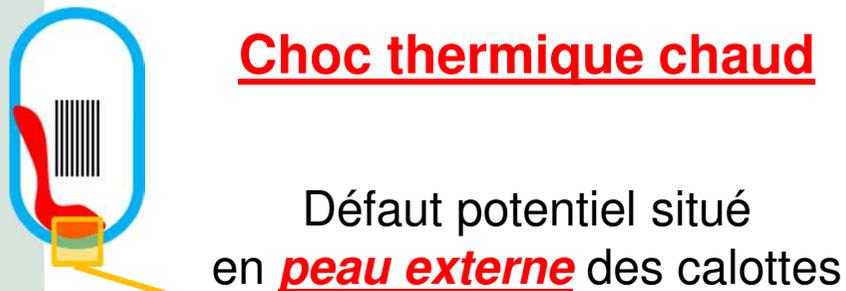
Chaque situation est caractérisée par des variations des conditions thermohydrauliques du fluide primaire (pression, température, débit) qui conduisent à des *chargements thermohydrauliques* sur les structures primaires, en particulier sur les calottes de cuve

**= Données d'entrée pour l'analyse mécanique**

## Chargements thermohydrauliques

Les situations pénalisantes vis-à-vis du risque d'amorçage d'un défaut potentiel sont celles qui pourraient conduire à l'ouverture de ce défaut

Ce risque dépend principalement de la variation de température, du sens de cette variation et de la **localisation** du défaut potentiel



## 1 - Exhaustivité des situations

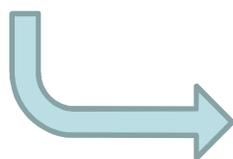
- Vérifier que **l'ensemble des situations pénalisantes** vis-à-vis de la résistance mécanique des calottes de cuve a bien été identifié

## 2 - Caractérisation des situations

- Vérifier le **caractère conservatif** de la description thermohydraulique **(ou caractérisation)** retenue pour chaque situation précédemment identifiée



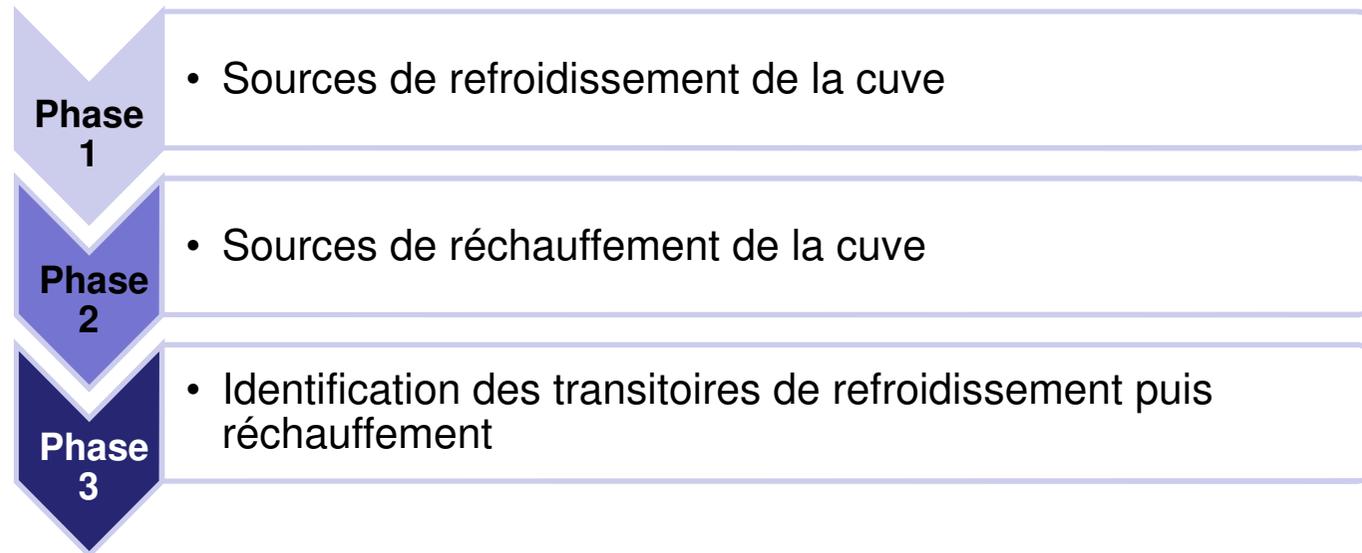
- L'analyse couvre :
  - la calotte inférieure (fond de cuve) et la calotte supérieure (couvercle)
  - les situations de choc chaud et froid (défaut potentiellement situé en paroi externe et interne)
  - toutes les catégories de situation



- Conditions normales de fonctionnement
- Epreuves hydrauliques de la cuve
- Conditions incidentelles et accidentelles



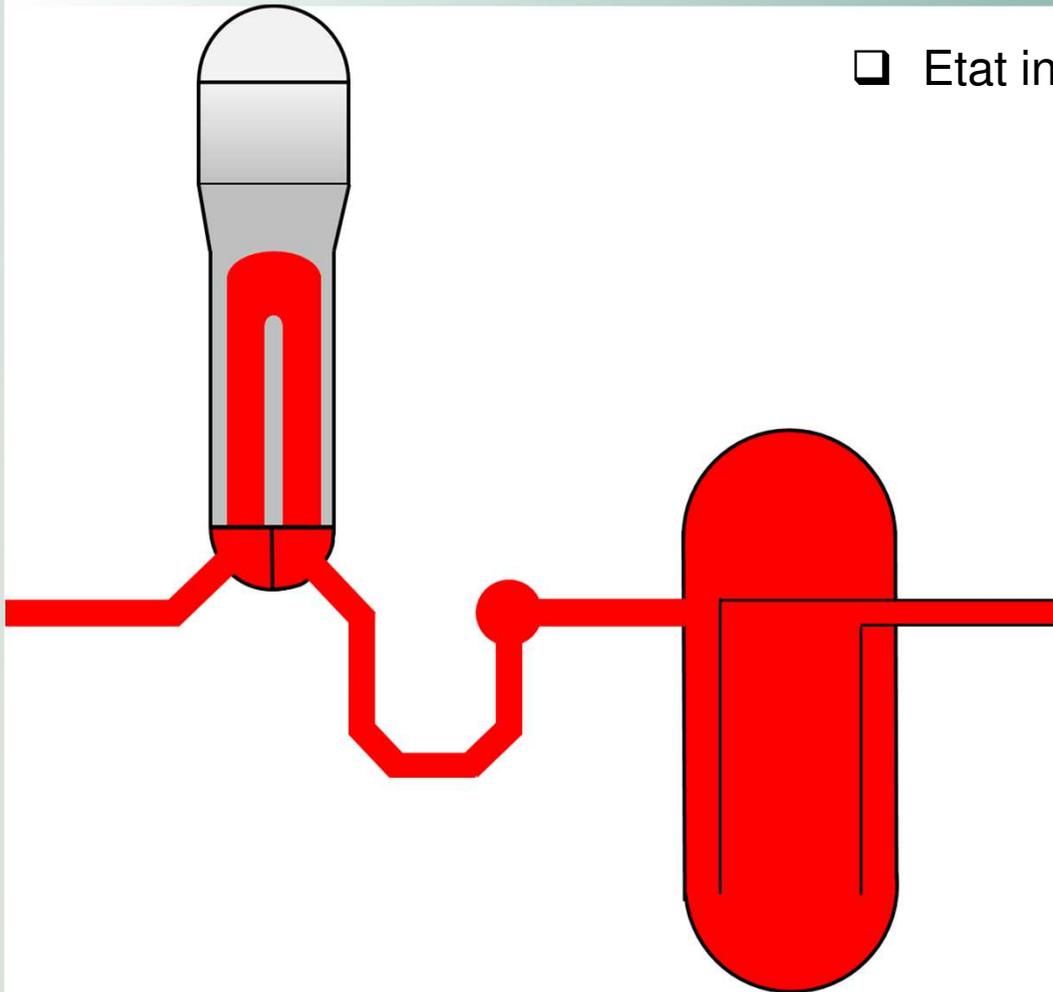
## Exemple : démarche d'identification des situations de choc chaud



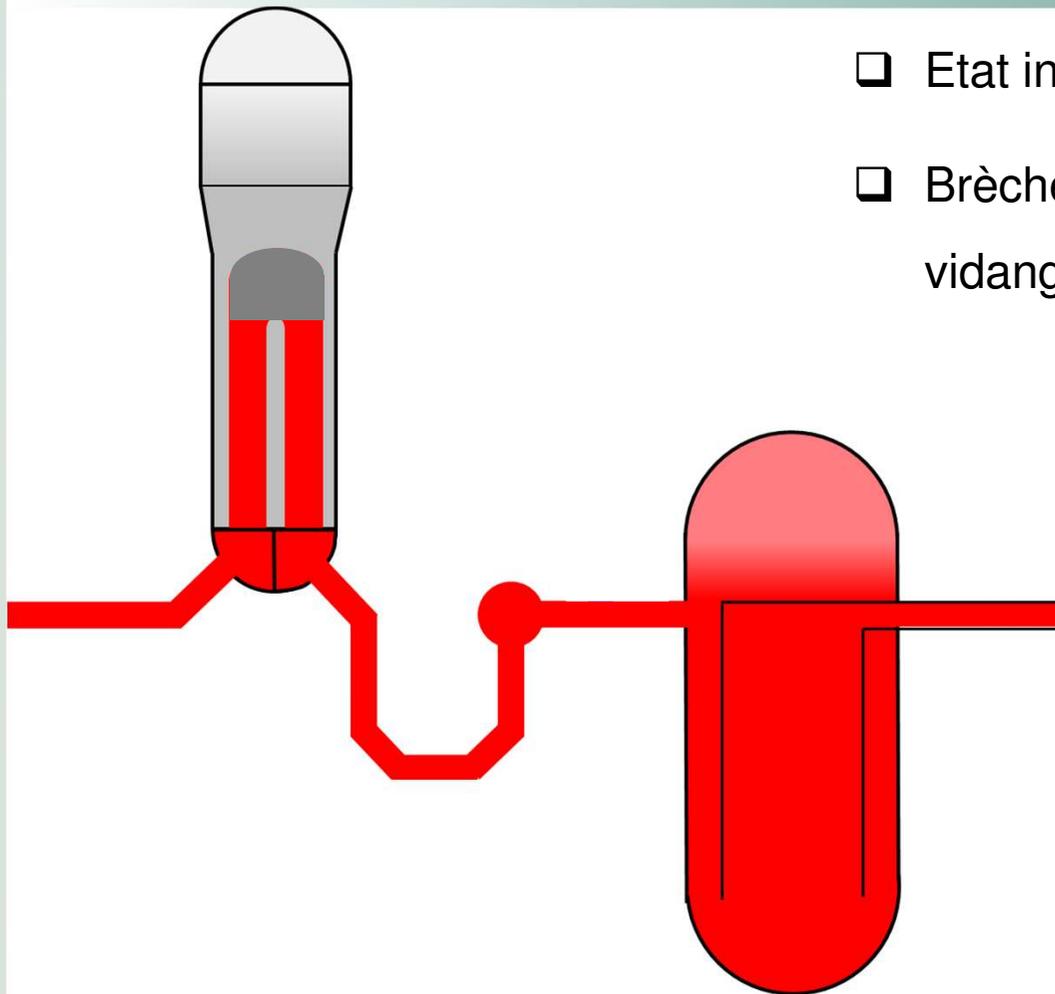
**→ L'IRSN a considéré que cette démarche est satisfaisante**

## 1- Identification de sources de refroidissement de la cuve

- Etat initial chaud (en puissance)



## 1- Identification de sources de refroidissement de la cuve

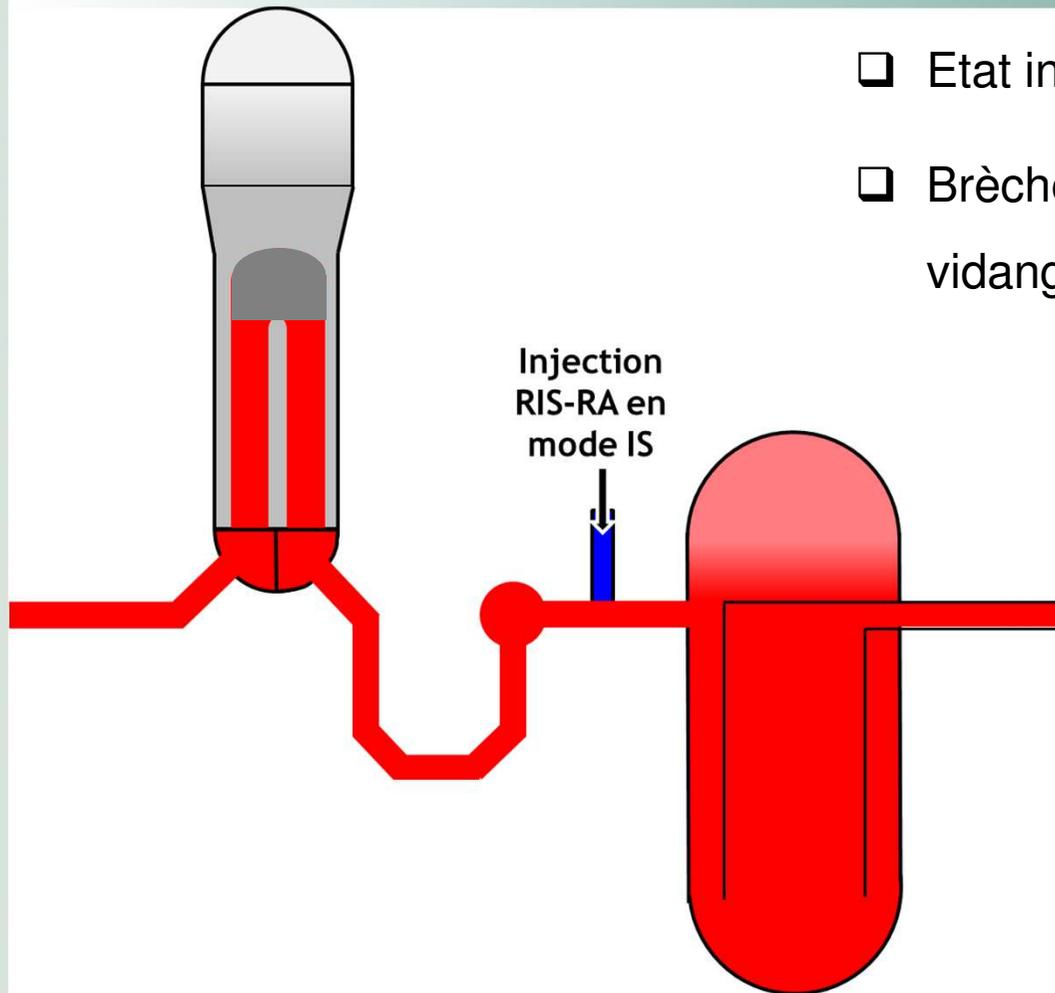


- ❑ Etat initial chaud (en puissance)
- ❑ Brèche primaire → dépressurisation et vidange du circuit primaire et arrêt GMPP



1- Découvrement des épingles GV  
= **Perte de la circulation naturelle**

## 1- Identification de sources de refroidissement de la cuve



- ❑ Etat initial chaud (en puissance)
- ❑ Brèche primaire → dépressurisation et vidange du circuit primaire et arrêt GMPP

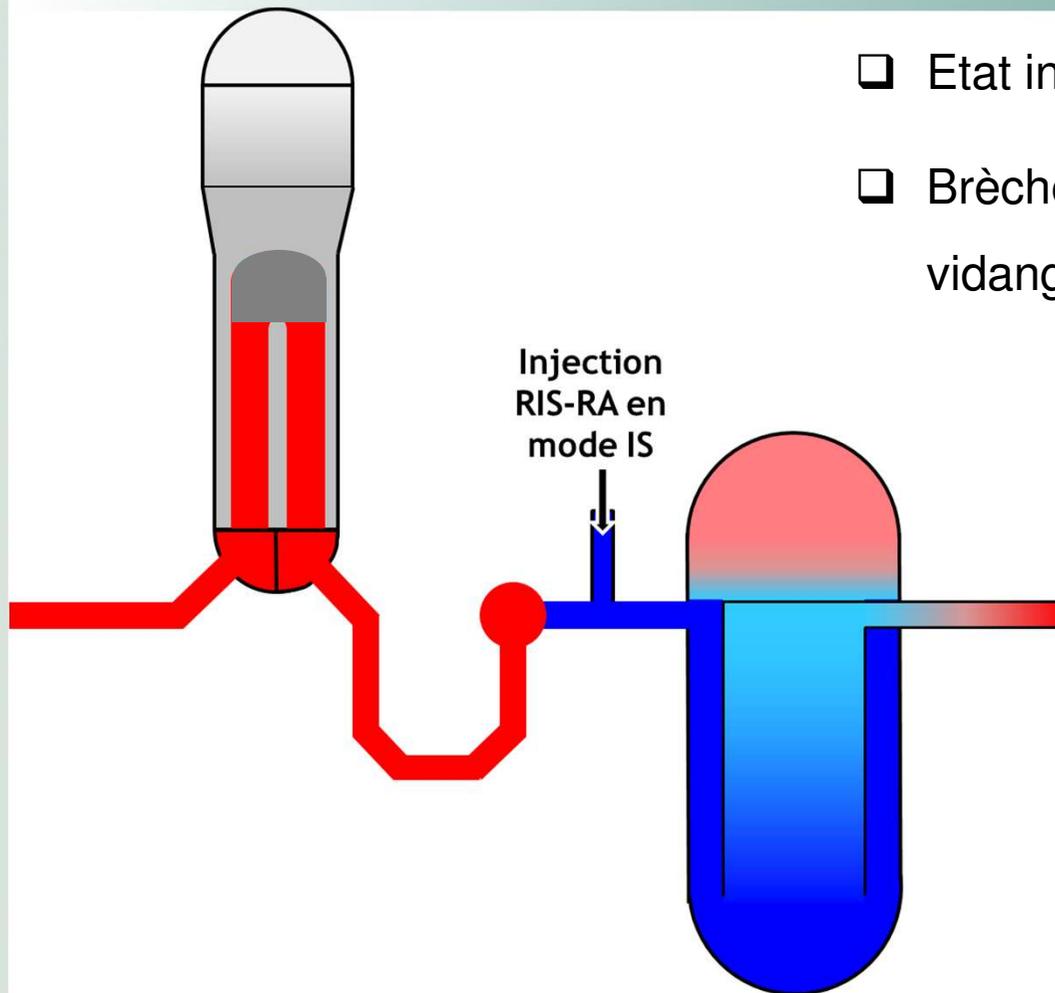


1- Découvrement des épingles GV  
= **Perte de la circulation naturelle**

2- Injection d'eau froide par l'IS



## 1- Identification de sources de refroidissement de la cuve



- ❑ Etat initial chaud (en puissance)
- ❑ Brèche primaire → dépressurisation et vidange du circuit primaire et arrêt GMPP



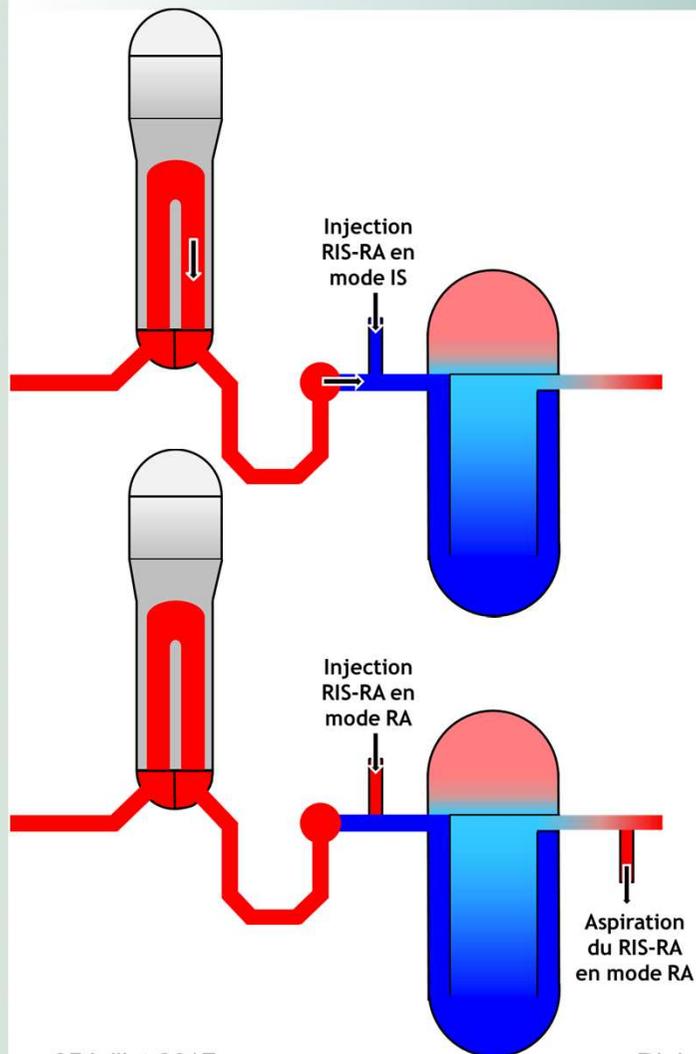
1- Découvrement des épingles GV  
= **Perte de la circulation naturelle**

2- Injection d'eau froide par l'IS  
= **Refroidissement de la cuve**

= **CHOC FROID**



## 2- Identification de sources de réchauffement de la cuve



Exemple de sources de réchauffement de la cuve :

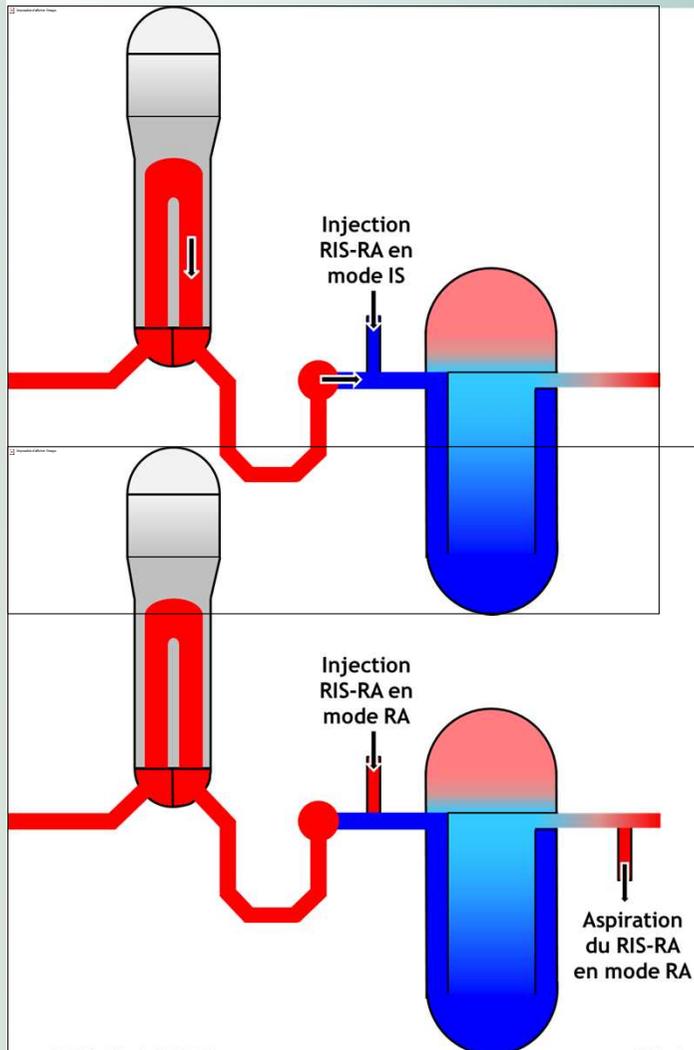
Mise en circulation d'eau chaude stagnante dans le circuit primaire :

- Soit par reprise de la circulation naturelle (RCN)
- Soit par la mise en service d'un système fluide

Lors de l'atteinte des conditions de connexion du système de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RIS-RA en mode RA) :

- Aspiration de l'eau en BC
  - Refoulement en BF
- ➔ **Injection d'eau chaude transitoirement au moment de la connexion**

## 2- Identification de sources de réchauffement de la cuve



Injection d'eau chaude dans la cuve :

- Soit par reprise de la circulation naturelle (RCN)
- Soit par la mise en service d'un système fluide



**Risque de choc chaud  
sur la calotte inférieure**





- ❑ La **caractérisation** décrit l'évolution des paramètres thermohydrauliques dominants du chargement thermomécanique :

Température + Pression +  $H_{\text{échange}}$  (débit)

- ❑ Le **caractère conservatif** est assuré en :

- maximisant l'amplitude du choc thermique
- maximisant la pression
- maximisant le transfert thermique entre la paroi et le fluide

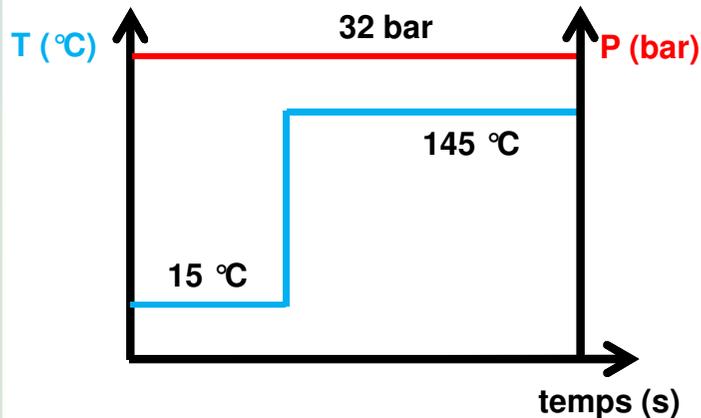


## Coefficient d'échange

- Areva NP impose, de manière conservatrice, un échange entre la paroi et le fluide parfait pour un grand nombre de situations :  $H_{\text{échange}}$  infini
    - ➡ La structure est supposée subir instantanément les variations de température du fluide (échange fluide/paroi parfait)
  - Dans certains cas, l'échange paroi/fluide est calculé par Areva NP à partir de corrélations de la littérature :  $H_{\text{échange}}$  variable
    - Analyse de l'IRSN :
      - Sous-estimation de la vitesse d'écoulement du fluide utilisée pour calculer les échanges thermiques
      - Non prise en compte des incertitudes sur  $H_{\text{échange}}$  variable
  - Areva NP a réévalué la vitesse d'écoulement
  - Areva NP a appliqué un coefficient 2 sur  $H_{\text{échange}}$  pour couvrir les incertitudes
- ➔ **L'IRSN a estimé ces actions satisfaisantes**

## Exemple : connexion du système RIS-RA en mode RA suite à une brèche primaire

### Dossier initial



Après  
instruction

### Hypothèses :

- $Q_{\max}$  RRA maximiser  $H_{\text{échange}}$
- $Q_{\max}$  RIS maximiser  $H_{\text{échange}}$
- $H_{\text{échange}}$  variable

### Nouvelles hypothèses après instruction :

- $Q_{\max}$  RRA maximiser profil  $T$  °C
- $Q_{\min}$  RIS maximiser profil  $T$  °C
- $H_{\text{échange}}$  infini  $\rightarrow$  conservatif



- ✓ De nombreux échanges au cours de l'instruction ont conduit Areva NP à compléter son dossier initial et à consolider sa démonstration

- ✓ **Exhaustivité**

L'IRSN a considéré que la démarche adoptée par Areva NP pour identifier les situations de chocs chauds et de chocs froids à l'origine des sollicitations des calottes de la cuve est satisfaisante, bien que l'ajout de certaines situations de surpression à froid ait été nécessaire.

- ✓ **Caractérisation**

L'IRSN a considéré que le caractère conservatif des chargements retenus à l'issue de l'instruction est assuré.



**IRSN**  
INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

