Projet SAMOFAR

Workpackage (WP) 1 - Task 1.5

Development of an integral safety assessment methodology

IRSN-AREVA-CNRS-CIRTEN-EDF

D. Blanc (IRSN)

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Atelier NEEDS

Sûreté du MSFR

IRSN Fontenay-aux-Roses

20 octobre 2015

Objectif de la tâche 1.5

"Development on an integral safety assessment methodology for MSR"

Nécessité de considérer a minima les points suivants

- La définition des principes de sûreté et des objectifs associés
- MSFR: Identification des zones contenant des matériaux radioactifs
- Fonctions fondamentales de sûreté
- Analyse des risques
- Considérations à prendre en compte au niveau du Dossier d'Options de Sûreté
- Interfaces avec les autres tâches du WP1 et les autres WP de SAMOFAR
- Organisation de la tâche 1.5

Un MSR de 4ème Génération..

- Un MSR à spectre rapide doit viser à avoir les objectifs de sûreté de quatrième génération

- L'approche de sûreté doit prendre en compte la conception très originale d'un MSR au regard de celles des autres réacteurs de Generation IV i.e:
  - Le combustible fondu joue aussi le rôle de caloporteur
  - Pas de notion de plan de chargement et de recharges
  - L'unité de traitment du combustible est couplée au réacteur et en est toute proche
  - Une partie du combustible se trouve hors de la cavité centrale
  - Il n'y a pas de barres de contrôle
  - Le système d'EPuR peut nécessiter la vidange du sel combustible dans un réservoir dédié qui doit rester sous-critique pour toutes les conditions de fonctionnement
  - Du sel combustible peut aussi se trouver dans des zones de stockage lors des phases d'arrêt en vue du redémarrage du réacteur

Définition des principes de sûreté et des objectifs associés

- Ces objectifs et principes résultent de documents émis par des organisation internationales comme:
  - **GIF** (Technology Roadmap and Basis for Safety Approach… – GIF/RSWG/2007/002-),
  - **IAEA** (Fundamental safety principles, INSAG-10, INSAG-12, SSR-2/1*),
  - **WENRA** (Safety of new NPP designs issued in March 2013),

Dans le cas où le MSFR serait construit en France, ces objets et principes doivent aussi satisfaire les documents nationaux offciels tels l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales à appliquer aux INB

Objectifs et principes de sûreté (selon WENRA)

❖ **<u>Les objectifs généraux de sûreté couvrent en particulier:</u>**

- Réduction de la fréquence des événements abnormaux en améliorant la capacité de l'installation à rester dans son domaine de fonctionnement normal
- Limiter la probabilité d'avoir un accident en améliorant le contrôle les incident
- Réduction, aussi raisonnablement que possible, les doses sur les travailleurs, les rejets radioactifs dans l'environnement, la quantité et l'activité des déchets (pour toutes les situations de fonctionnement et en incluant les opérations de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement)
- Pas d'impact radiologique dans l'environnement (ou impact très limité) pour les accidents <u>sans fusion du coeur</u>
- Réduction des rejets radiologiques potentiels dans l'environnement pour les accidents <u>avec fusion du coeur</u>
  - Actions limitées dans le temps et l'espace en vue de la protection du public pour les accidents pour lesquels des moyens de limitation des conséquences ont pu être définis (fait pour l' EPR ™ de Flamanvile)
  - Elimination pratique des situations qui conduiraient à des rejets précoces ou importants
- Prise en compte des agressions internes et externes ainsi que des actes de malveillance
- Prise en compte du retour d'expérience de l'accident de Fukushima

WENRA ne prend pas en compte les spécificités des MSR

Objectifs et principes de sûreté (selon le GIF)

- **GIF** (3 objectifs sur la sûreté et la fiabilité)
  - *Generation IV nuclear energy systems operations will excel in safety and reliability*
  - *Generation IV nuclear energy systems will have a very low likelihood and degree of reactor core damage*
  - *Generation IV nuclear energy systems will eliminate the need for offsite emergency response*

    ➔ C'est le seul objectif concret : il est plus sévère que celui retenu pour les réacteurs de type GEN III en cours de construction

Objectifs et principes de sûreté(selon l'IRSN)

- **"Objectives spécifiques de sûreté:**
  - Barrières de confinement indépendantes (nombre à définir car le nombre de 3 barrières n'est gravé dans le marbre…)
  - Fréquence de accidents graves en prenant en compte la combinaison des situations de fonctionnement avec tous les types d'aggressions credible et de défaillances plausibles
  - Autonomie et "grace period"
  - Etc.
- **Application du princicpe de défense en profondeur (DiD)**
  - Indépendance des 4 niveaux
  - Principes et règles associés à chaque niveau
  - Etc.

Extrait de l'arrêté du 7 février 2012 realtifs au régles applicables aux INB françaises
L'exploitant applique le principe de défense en profondeur, consistant en la mise en œuvre de niveaux de défense successifs et suffisamment indépendants visant, pour ce qui concerne l'exploitant, à :
— prévenir les incidents ;
— détecter les incidents et mettre en œuvre les actions permettant, d'une part, d'empêcher que ceux-ci ne conduisent à un accident et, d'autre part, de rétablir une situation de fonctionnement normal ou, à défaut, d'atteindre puis de maintenir l'installation dans un état sûr ;
— maîtriser les accidents n'ayant pu être évités ou, à défaut, limiter leur aggravation, en reprenant la maîtrise de l'installation afin de la ramener et de la maintenir dans un état sûr ;
— gérer les situations d'accident n'ayant pas pu être maîtrisées de façon à limiter les conséquences notamment pour les personnes et l'environnement.

MSFR: Identification des zones contenant des matériaux radioactifs

- Ces zones doivent être clairement identifiées avec a priori:
  - Cavité centrale
  - Réservoir de vidange du sel combustible
  - Espaces de stockage associés au réacteur
  - Unités de traitement du gaz de couverture et du sel combustible
  - Espaces de stockage associés aux unités de traitement
  - Tuyauteries connectant la cavité centrale au réservoir de vidange du sel combustible et aux espaces de stockage associés au réacteur

- La masse, l'activité, l'état physique (solide, liquide, gazeux) des matières radioactives doivent être définis pour chaque zone

- Cette identification doit être effectuée non seulement pour le régime stationnaire de fonctionnement, mais aussi pour certains phénomènes transitoires à identifier (par exemple pendant le transfert du combustible depuis les zones de stockage vers la cavité centrale et vice-versa)
  => Travail à faire en collaboration avec la tâche 1.6 concernant les initiateurs d'accident

-

Fonctions fondamentales de sûreté

- Définition proposée par le GIF, au cours de ses travaux sur les « Safety Design Criteria (SDC) ») pour les SFR sur la base du document AIEA SSR-2/1

  1. Contrôle de la reactivité
  2. Evacuation de la chaleur du réacteur et des zones d'entreposage du combustible
  3. Confinement des produit radioactifs et des <u>produits chimiquement toxiques</u>, protection contre les rayonnements et contrôle des rejets en fonctionnement normal et lors des accidents

- Le confinement des produit radioactifs et des produits chimiquement toxiques n'est pas mentionné dans le document WENRA "Safety of new NPP designs "

- Les conséquences des rejets de produits chimiquement toxiques (aérosols de sodium) sera prise en compte pour le RNR-Na ASTRID

Fonctions fondamentales de sûreté
Contrôle de la réactivité

- Pour la cavité centrale, démontrer que les coefficients de réactivité sont en mesure de contrôler la réactivité dans toutes les situations et pour toutes les compositions possible du coeur de base (par exemple, si le plutonium est utilisé durant le début de la vie du réacteur)

- Pour toutes les autres zones, démontrer que le sel combustible reste sous-critique (avec une marge à définir) dans toutes les situations possibles (y compris en cas d'agressions externes)

Fonctions fondamentales de sûreté
Evacuation de la puissance résiduelle (EPuR)

A la connaissance de l'IRSN, il n'y a pas de dispositif spécifique pour évacuer la puissance résiduelle lorsque le sel combustible reste dans la cavité centrale. Deux possibilités :

- Les circuits utilisés pour évacuer la puissance pendant le fonctionnement normal sont disponibles et il doit être démontré qu'ils sont en mesure de conserver le sel combustible à une température compatible avec la tenue des structures (critère à définir) y compris en cas de pertes des sources électriques
- Si ces circuits ne sont pas disponibles,le sel combustible doit être vidangé dans le réservoir prévu à cet effet et il doit être vérifié que :
    - le système de vidange a une fiabilitié suffisante
    - le sel combustible peut être refroidi dans toutes les situations de fonctionnement possibles (en incluant les agressions externes)
- Ne pas oublier l'EPUr pour les zones de stockage
- Comment s'assurer du respect des exigences de redondance et de diversité des sous-systèmes participant à l'EPuR ?

Fonctions fondamentales de sûreté
Confinement des produits radioactifs et chimiquement toxiques

- Cette fonction doit être basée sur la définition et le contour des différentes barrières en incluant celles de l'unité de traitement du sel combustible et du gaz de couverture

- Les moyens visant à contrôler l'intégrité de chaque barrière doivent être définis

- Les exigences associées à la barrière ultime en cas d'agressions externes (chute d'un avion de taille à définir) doivent aussi être définies

Analyses des risques

- Les risques inhérents associés à l'utilisation du sel proposé pour le MSFR doivent être clairement identifiés (travail commun avec la tâche 1.6 pour l'identification des scénarios) i.e :

  - Corrosion des structures
  - Interactions chimique et thermodynamique entre le sel combustible
  - Risques liés au gel du sel combustible
  - Risques associés à l'unité de traitment du sel combustible
  - Risques associés au fluide prévu pour le circuite intermédiaire (sel inerte, plomb)
  - ….

➔ Travail fondamental mais en relation avec la tâche 1.6

Considerations à prendre en compte au niveau du Dossier d'Options de Sûreté (DOS)

- Evénements initiateurs (PIE)

  Au niveau du DOS, une liste préliminaire des PIE et leur classification en catégories doit être présentée :

  - Chaque catégorie de fonctionnement doit être définie par les bornes inférieure et supérieure de sa probablité d'occurrence et par les critères associés
  - Les régles d'étude associées de fonctionnement doivent être définies (conditions initiales, aggravant, pertes de sources externes)
  - Tous les états du réacteur doivent être considérés (réacteur en operation et à l'arrêt, phase de démarrage)

La définition des critères associés à chaque catégorie est un point-clé pour la sûreté du MSFR du fait que les critères utilisés pour les autre types de réacteur (pas de rupture de gaine, pas de fusion du combustible) n'ont pas de sens pour le MSFR

Considerations à prendre en compte au niveau du Dossier d'Options de Sûreté (DOS)

- Agressions internes et externes à définir
  - Attention particulière pour les risques d'agression venant de l'unité de traitement
- Régles de cumul
  - Les régles de combinaison des agressions avec les PIEs doivent être définies

Considerations à prendre en compte au niveau du Dossier d'Options de Sûreté (DOS)

- Accident grave
  - Il faut définir ce qu'est un accident grave pour le MSFR
  - L'approche de la gestion de cet accident doit être définie (phénomènes mis en jeu, comportment à long terme, moyens mis en oeuvre pour atteindre les objecitfs de sûreté en particulier)

- Elimination pratique
  - Si nécessaire, une liste de situations pratiquement éliminées doit être établie avec les justifications associées

Interfaces avec les autres tâches du WP1 et les autres WP de SAMOFAR

- Inside WP1, data for Task1.5 are needed from
  - Task 1.1: Description of the initial reference design and identification of safety aspects
  - Task 1.2: Identifying safety related physico-chemical and material data
  - Task 1.4: Safety issues of normal operation conditions…
  - Task 1.6: Identification of risks and phenomena involved, identification of accidents initiators and accidents scenarios

  ➔ Iterations ???
- Connection with WP2: Physical and chemical properties for safety analysis

  ➔ ???
- Connection with WP3: Experimental proof..

  ➔ ???
- Connection with WP4 : Accident Analysis

  ➔ Surely..
- Connection with WP5 : Safety evaluation of the chemical plant

  ➔ Conclusions of WP5 have to be taken into account in Task1.5

➔ A consensual diagram with the links between tasks and the other WPs is needed

Organisation de la tâche 1.5

- But de la tâche pour 1.5
  1. Revue de sûreté "classique" sur la base de propositions de conception et d'itérations avec les concepteurs OU
  2. Développement d'un approche de sûreté spécifiques tenant compte des particularités du MSFR et en utilisant des outils développés en particulier dans le cadre de GEN IV:
     - ISAM (GIF)
     - INPRO (AIEA)
     - Outil du CNRS

Dans le deux cas, la liste des objectifs et des critères issus des standards internationaux de sûreté applicables au MSFR doit être établie au début de la tâche

➔ Nécessité d'un consensus entre les partenaires sur le but de cette tâche 1.5

- Des versions intermédiaires du livrable D1.5 sont nécessaires sur les 3 ans du projet et doivent être planifiées

- QUESTIONS ?

Merci pour votre attention