Dossier d’Alternance présenté par : **Akim Hijaz**

Spécialité : **Sciences et Technologies Nucléaires 2ème année**

Promotion : **2012-2015**

Antenne Alternance Saint-Denis de l’EICnam

**Etude thermohydraulique et neutronique de l’accident d’éjection de grappes moyen terme (EDG-MT) sur l’EPR FA3 et les systèmes de sûreté associés**

Réalisé au sein de l’entreprise :

ALTRAN EILIS

|  |  |
| --- | --- |
| Tuteur enseignant : | [GALICHET Emmanuelle](javascript:ouvreFenetre('./visu_info_intervenant.php?uid=abb_6_1_1_51d2f4432b4a9&intervenant_id=201113651','height=480')) |
| Membre enseignant : | HERAULT Guillaume |
| Tuteur entreprise : | LIMAIEM Imed (ALTRAN) |
| Membre entreprise : | DROUET Jean-Louis (BOUYGUES TELECOM) |

eicnam

Remerciements

Ce mémoire a été réalisé au sein de l’entreprise ALTRAN Technologies dans le département Energy Industry and Life Science (EILiS).

….

Abréviations

|  |  |
| --- | --- |
| **Abréviation** | **Nom complet** |
| **…** | **…** |

Table des matieres

[1. Introduction generale 8](#_Toc393985317)

[1.1. Contexte actuel 8](#_Toc393985318)

[1.2. Les reacteurs de 4eme generations 8](#_Toc393985319)

[1.3. Definition et caracteristiques du smr 9](#_Toc393985320)

[2. developpement d’un modele d’epuisement 10](#_Toc393985322)

[2.1. Presentation du preconcept etudie 12](#_Toc393985323)

[2.2. Equation de bateman 12](#_Toc393985324)

[2.2.1. Epuisement sans flux 29](#_Toc393985341)

[2.2.2. Epuisement avec flux 29](#_Toc393985341)

[3. DEVELOPPEMENT DU MODELE SIMPLIFIE 13](#_Toc393985326)

[3.1. Résolution analytique à l’aide de methode numerique 13](#_Toc393985327)

[3.2. Simplification du modele 14](#_Toc393985329)

[4. validation du modele simplifie 15](#_Toc393985330)

[4.1. Code Dragon 15](#_Toc393985331)

[4.2. Code Vesta 16](#_Toc393985332)

[4.3. Conclusion du modèle simplifié 21](#_Toc393985336)

[5. exploitation de resultats 31](#_Toc393985344)

[5.1. Création de tâches 15](#_Toc393985331)

[5.2. Analyse physique 15](#_Toc393985331)

[5.3. Conclusion 15](#_Toc393985331)

[6. conclusion generale 31](#_Toc393985344)

[6.1. Perspective de l’étude 15](#_Toc393985331)

[6.2. Bilan 15](#_Toc393985331)

Liste des tableaux

[Tableau 1. Caractéristiques des principaux accidents d’éjection de grappes 11](#_Toc393879604)

[Tableau 2. Caractéristiques des principaux transitoires d'extraction de grappes 11](file:///D:\users\ahijaz.EUROPE\Desktop\memoire_Akim230714_v1.docx#_Toc393879605)

[Tableau 3. Séquence des événements du transitoire EDG-MT 12](#_Toc393879606)

[Tableau 4. Séquence des évènements EDG-MT cas PPZR-A 17](#_Toc393879607)

[Tableau 5. Séquence des évènements du transitoire avec cumul MDTE cas RDS-B 19](#_Toc393879608)

[Tableau 6. Séquence des évènements du transitoire d'EDG-MT cas SRDS-C0 20](#_Toc393879609)

[Tableau 7. Différences entre les transitoires de référence et les sensibilités 24](#_Toc393879610)

[Tableau 8. Tableaux des résultats de MA obtenus et leurs instants 24](#_Toc393879611)

[Tableau 9. Cas PPZRA: zonage en température et en cb du cœur à l’instant pénalisant pour le calcul de MA 25](#_Toc393879612)

[Tableau 10. Pénalités et incertitudes nécessaires au calcul de MA (référence [2]) 26](#_Toc393879613)

[Tableau 11. Résultats des Keff SMART nécessaire pour le calcul MA 26](#_Toc393879614)

[Tableau 12. Pénalités et incertitudes à considérer dans le calcul de MA 27](#_Toc393879615)

[Tableau 13. Catégories de transitoire et leurs caractéristiques 33](#_Toc393879616)

[Tableau 14. Calcul du CDM: tableau des résultats transitoire PPZRA 46](#_Toc393879617)

[Tableau 15. Tableau des résultats d'efficacité du bore obtenus dans le cas SRDS-B2 47](#_Toc393879618)

[Tableau 16. Hypothèses hydrauliques et neutroniques de chaque état 48](#_Toc393879619)

[Tableau 17. Valeurs de la température de l'eau en entrée du coeur de l'état final par zone 49](#_Toc393879620)

[Tableau 18. Résultats des calculs de MAR 51](#_Toc393879621)

Liste des FIGURES

[Figure 1. Diagramme de Farmer 34](#_Toc393718528)

[Figure 2. Comparaison de l’évolution de la CB et de la température de la branche chaude 1 et 2 en fonction du temps entre le cas de référence et la sensibilité PPZR-A 35](#_Toc393718529)

[Figure 3. Evolution de la pression du RCP en fonction du temps et les seuils d’activation du RBS et de l’IS 35](#_Toc393718530)

[Figure 4. Evolution du niveau pressuriseur en fonction du temps 36](#_Toc393718531)

[Figure 5. Débit ARE au cours du temps 36](#_Toc393718532)

[Figure 6. Evolution de la puissance échangée au GV au cours du temps 37](#_Toc393718533)

[Figure 7. Evolution de la température du RCP dans le transitoire de référence RDS-B 38](#_Toc393718534)

[Figure 8. Cas SRDS-B-2: Evolution tu transitoire en fonction du temps 38](#_Toc393718535)

[Figure 9. Puissance évacuée au GV au cours du transitoire 39](#_Toc393718536)

[Figure 10. Evolution du débit de l'IS et du RBS dans chacune des boucles en fonction du temps 39](#_Toc393718537)

[Figure 11. Evolution de la CB à l'entrée du coeur au cours du transitoire 40](#_Toc393718538)

[Figure 12. Evolution de la température et de la CB au cours du transitoire SRDS-C-0 41](#_Toc393718539)

[Figure 13. Evolution de la pression dans le pressuriseur au cours du transitoire 41](#_Toc393718540)

[Figure 14. Evolution de la pression dans le GV1 au cours du transitoire 42](#_Toc393718541)

[Figure 15. Evolution de la puissance au GV au cours du transitoire 42](#_Toc393718542)

[Figure 16. Comparaison entre la température de la branche chaude du RCP et la température dans le GV au cours du transitoire 43](#_Toc393718543)

[Figure 17. Chaîne de calcul SMART-COPILOTE 43](#_Toc393718544)

[Figure 18. Cas PPZRA: évolution de la MA en fonction du temps 44](#_Toc393718545)

[Figure 19. Cas SRDSC0: évolution de la MA en fonction du temps 44](#_Toc393718546)

[Figure 20. Cas SRDB2: évolution de la MA en fonction du temps 45](#_Toc393718547)

[Figure 21. Calcul du CDM: Relation entre la réactivité et la température 45](#_Toc393718548)

[Figure 22. Calcul du CDM: évolution du Keff en fonction de la densité modérateur 46](#_Toc393718549)

[Figure 23. Calcul du CDM: évolution de la densité du modérateur en fonction du temps 46](#_Toc393718550)

[Figure 24. Calculs de MAR TGI – Enchaînement des calculs 51](#_Toc393718551)

[Figure 25. Evolution de la MAR en fonction du NP 52](#_Toc393718552)

Introduction

…

# INTRODUCTION GENERALE

## Contexte actuel

A partir des années 70, l’augmentation durable du prix du pétrole, les objectifs de sécurité énergétique et les perspectives de plus en plus contraignantes de réduction des émissions de CO2 ont suscité une renaissance des nouveaux projets de constructions de centrales nucléaires.

Cependant, ils ont paradoxalement été suivis d’une interruption des investissements nucléaires aux États-Unis et en Europe dû aux accidents de Three Miles Island (1979) et de Tchernobyl (1986).

Après la prise de conscience du réchauffement climatique, le concept de développement durable émerge et l’énergie nucléaire suscite un regain d’intérêt. Cela s’explique par le fait que l’énergie nucléaire émet très peu de quantité de gaz à effet de serres contrairement aux énergies fossiles.

L’énergie nucléaire affiche une progression et une évolution dynamique tant sur le plan technique et industriel. Les réacteurs de 3ème génération sont en cours de construction, notamment le réacteur conçu par Areva, l’EPR à Flamanville (France), Okiluoto (Finlande), Taishan (Chine) et un en projet à Hinkley Point (Angleterre).

Le nucléaire produit, dans le monde et en France, respectivement 17% et 75% de l’électricité.

Les scientifiques du monde entier travaillent déjà au développement des réacteurs de 4ème génération qui seront probablement en exploitation durant la deuxième moitié du 21e siècle.

## Les réacteurs 4eme génération

En vue du développement des réacteurs de 4ème génération, le GIF (Generation IV International Forum) a été créé par 9 pays en 2000. Aujourd’hui, il en compte 12 : l’Afrique du Sud, l’Argentine, le Brésil, le Canada, la Chine, la Corée du Sud, les Etats-Unis, la France, la Grande-Bretagne, le Japon, la Russie et la Suisse ainsi que la Communauté Européenne de l’Energie Atomique (EURATOM).

Le but est de développer d’ici 2040 de nouveaux réacteurs et cycles de combustibles permettant de réduire la consommation des ressources, la quantité de déchets radioactifs et les possibilités de détournement pour la confection d’armes nucléaires.

Le GIF a retenu six types de réacteurs nucléaires :

* Molten Salt Reactor : Réacteur rapide à sels fondus
* Gas‐Cooled Fast Reactor : Réacteur rapide à caloporteur gaz
* Lead-Cooled Fast Reactor : Réacteur rapide à caloporteur plomb
* Sodium‐Cooled Fast Reactor : Réacteur rapide à caloporteur sodium
* Supercritical Water Cooled Reactor : Réacteur à eau supercritique
* Very High Temperature Reactor : Réacteur à très haute température

## Définition et caractéristique du SMR

Selon l’AIEA, les réacteurs de petites et moyennes puissances (SMR, Small Modular Reactor) ont une puissance comprise entre 300 et 700 MW. Il y a aujourd’hui intérêt croissant pour développer ce type de réacteur. En effet, on compte actuellement 131 SMR en exploitation dans 26 pays, soit une capacité de 59 GWe et 14 SMR en construction dans six pays tel que l’Argentine, la Chine, l’Inde, le Pakistan, la Russie et la Slovaquie.

Outre l’aspect de puissance et de taille qui caractérise les SMR, ils ont d’autres propriétés intéressantes qui découlent de ces deux caractéristiques. Le délai de construction est réduit à 3 ans. Le début du retour d’investissement est donc plus rapide. De plus, ils offrent une meilleure gestion des risques financiers, c’est donc une option intéressante pour les pays en voie de développement.

La co-génération est possible grâce à leur modularité, les SMR peuvent être utilisé dans d’autres applications industrielles telles que le chauffage urbain, le dessalement de l’eau et la production d’hydrogène.

La conception du réacteur est simplifiée. Le générateur de vapeur est intégré dans la cuve. Le SMR possède une sûreté passive, cela signifie que le réacteur ne nécessite pas d’intervention humaine. La réduction de la maintenance et la capacité à fournir de la chaleur et de l’électricité pendant des années sans recharger le combustible a pour effet d’augmenter grandement son temps de fonctionnement.

Le SMR est également adapté aux régions reculées possédant un réseau haute tension peu développées. En effet il est possible de transporter un SMR sur un navire pour alimenter et chauffer une ville puis retirer le SMR quand son temps de fonctionnement est achevé. Pour finir, il est utilisé dans la propulsion navale telle que les sous-marins et les navires. Par exemple le brise-glace russe en cours de construction possèdera deux réacteurs de 38 MWe et sera destiné à une utilisation de la côte nord de la Sibérie.

Afin de se positionner et comprendre au mieux les caractéristiques particulières du marché des SMR, ALTRAN, dans le cadre de ses activités R&D dédiées au secteur du nucléaire, a lancé le projet Physor. L’objectif de ce projet est de définir un nouveau préconcept innovant de SMR répondant à un cahier de charge ambitieux en termes de sûreté, compétitivité économique et gestion des déchets à vie longue.

# DEVELOPPEMENT D’UN MODELE D’EPUISEMENT

## Présentation du préconcept étudié

je parle du spx, décris ses fonctionnalités, le vecteur Pu, sa composition, combustible PuO2/UO2, je mets les premières données importantes, le temps de refroidissement…

## équation de Bateman

je décris l’utilité de l’eq de bateman

j’explicite chaque termes avec l’unité, je donne la formule simplifié (sans flux) , résolution par RK1

### Epuisement sans flux

chaîne de décroissance complète, puis les simplifier, je parle de la constante lambda, les noyaux qui décroissent en fonction du temps naturellement

### Epuisement avec flux

explique les sections effiaces (absorption, capture, fission) je parle de JANIS, je parle du flux neutronique, comment on l’obtient

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

# DEVELOPPEMENT DU MODELE SIMPLIFIE

## Résolution analytique à l’aide de méthode numerique

outil mathématiques, je décris sa résolution, pas de temps

## Simplification du modèle

je donne les résultats pour l’eq de bateman résolue avec RK1 avec et sans flux, courbes, valeurs, interprétations des résultats, comparaison avec courbes dans le Reuss

# VALIDATION DU MODELE SIMPLIFIE

## Code DRAGON

origine, définition et explication du code, extractions des résultats puis interprétations

## Code VESTA

idem

## Conclusion du modèle simplifié

comparer avec le modèle analytique, évaluation du modèle simplifié

# EXPLOITATION DES RESULTATS

## Création de tâches

analyse, interprétation des tâches

## Conclusion de l’exploitation

conclure avec esprit critique, ça marche bien ou pas, pourquoi

# CONCLUSION GENERALE

## Perspective de l’étude

étendre de l’étude à d’autre vecteur, d’autre réacteur

## Bilan

bilan de la première année, observations, ressenti, impressions

References

1. ...

Résumé

….

Mots clés :

- NEUTRONIQUE

…

