



Département Hydraulique

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau

Mémoire de Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'État en Hydraulique

Approche analytique et par CFD de la thermohydraulique d'un HTR-PM

Réalisé par :

Mlle. IGHRAYENE Amelia

Soutenu le 17 Juillet 2024, devant le jury composé de :

Présidente :	Pr.BENMAMAR Saadia	Professeur	ENP
Encadrants :	Dr.SIDI ALI Kamel	Chercheur-expert	CRND
	Dr.IKHLEF Khaoula	MCB	ENP
Examineur :	Mr.BENZIADA Salim	MAA	ENP



Département Hydraulique

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau

Mémoire de Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'État en Hydraulique

Approche analytique et par CFD de la thermohydraulique d'un HTR-PM

Réalisé par :

Mlle. IGHRAYENE Amelia

Soutenu le 17 Juillet 2024, devant le jury composé de :

Présidente :	Pr.BENMAMAR Saadia	Professeur	ENP
Encadrants :	Dr.SIDI ALI Kamel	Chercheur-expert	CRND
	Dr.IKHLEF Khaoula	MCB	ENP
Examineur :	Mr.BENZIADA Salim	MAA	ENP

Dédicaces

“Je dédie ce travail qui boucle mes 17 ans d'études à :

Mes chers parents Hamid et Malika,
Pour leur soutien inconditionnel, leurs sacrifices, et leur amour constant qui m'ont permis de réaliser mes rêves. Votre confiance en moi a été ma plus grande source de motivation.

Mes sœurs Chahira Farah et Manel,
Pour avoir été mes modèles depuis toute petite me donnant la force de persévérer.

Mes nièces Tina et celle qui va bientôt rejoindre notre famille, leur souhaitant un avenir bien meilleur et plus de réussites que quinze de nous.

Mes amis et plus particulièrement Tinhinene, Farouk El Hak et Lilia,
Pour leur amitié sincère, leur soutien indéfectible et les moments de joie partagés. Votre présence et vos encouragements ont rendu ce chemin plus agréable et m'ont aidé à surmonter les défis.

Amelia

Remerciements

Je tiens à exprimer tout d'abord ma gratitude envers Dieu Tout-Puissant, pour sa bénédiction tout au long de ce périple. Sans sa grâce, rien de tout cela n'aurait été possible. Merci de m'avoir donné la force de persévérer et de surmonter les obstacles.

Je remercie par la suite ma famille pour leur soutien inconditionnel durant toutes ses longues années.

Je souhaite exprimer ma gratitude envers mon encadrant, le docteur Kamel SIDI ALI, pour m'avoir donné l'opportunité de me lancer et me familiariser avec un nouveau domaine, qui m'ouvrira sans doute de nombreuses portes et apportera une valeur ajoutée à mon cursus. Votre encadrement m'a permis de me surpasser et de développer une compréhension approfondie qui seront sans aucun doute bénéfiques pour ma carrière future.

Par ailleurs, je tiens à exprimer ma gratitude envers ma chère encadrante Khaoula IKHLEF pour sa disponibilité constante, son aptitude à me guider et sa patience tout au long de cette travail. Sa contribution a été d'une importance majeure dans l'aboutissement de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont manifesté à l'égard de notre travail et pour avoir accepté de l'examiner attentivement et de me faire part de leur suggestions.

Je remercie chaleureusement toute personne de l'ENP qui m'a marquée durant ces longues années.

ملخص

تلعب المفاعلات النمطية عالية الحرارة (HTR-PM) دوراً مهماً في إنتاج الطاقة المستدامة والآمنة بفضل قدرتها على العمل في درجات حرارة عالية. ويفحص مشروع السنة النهائية هذا آليات نقل الحرارة والسوائل في المفاعلات النمطية عالية الحرارة - المفاعلات النمطية عالية الحرارة ويحدد أي من السوائل الأربعة المختلفة هو الوسيط الأمثل لنقل الحرارة، باستخدام كل من النهجين التحليلي والرقمي. وقد مكنت النتائج التحليلية من رسم عدد نوسيلت وتدفق الحرارة، مما يوفر معلومات حول انتقال الحرارة في المفاعل بالإضافة إلى تحديد السائل الأمثل. وأوضحت عمليات المحاكاة باستخدام نظام ANSYS توزيع الضغط ودرجة الحرارة، مع تحديد المناطق الحرجة للسلامة التشغيلية. وتوضح هذه الدراسة الطبيعية التكميلية للطرق التحليلية والرقمية لتحسين أداء مفاعلات HTR-PM.

كلمات مفتاحية: ANSYS، HTR-PM، النهج التحليلي، النهج الرقمي، مفاعل نووي، هيدروليك حراري.

Abstract

High Temperature Modular Reactors (HTR-PM) play a significant role in sustainable and secure energy production thanks to their ability to operate at high temperatures. This final-year project examines the heat and fluid transfer mechanisms in HTR-PMs and determines which of four different fluids is the most optimal heat transfer fluid, using analytical and numerical approaches. The analytical results enabled the Nusselt number and heat flux to be plotted, providing information about the heat transfer in the reactor as well as determining the optimum fluid. CFD simulations performed with ANSYS illustrated the pressure and temperature distribution, identifying areas critical to operational safety. The study demonstrates the complementary nature of analytical and numerical methods for optimising the performance of HTR-PMs.

Keywords : ANSYS, CFD, HTR-PM, heat and fluid transfer mechanism, nuclear reactor, analytical approach, numerical approach.

Résumé

Les réacteurs à haute température modulaire (HTR-PM) jouent un rôle significatif dans la production d'énergie durable et sécurisée grâce à leur capacité à fonctionner à des températures élevées. Ce projet de fin d'études examine les mécanismes de transfert de chaleur et de fluides dans les HTR-PM et à déterminer parmi quatre fluides différents le caloporteur le plus optimal, en utilisant des approches analytiques et numériques. Les résultats analytiques ont permis de tracer le nombre de Nusselt et le flux de chaleur, offrant des informations sur le transfert thermique du réacteur ainsi que déterminer le fluide optimal. Les simulations CFD réalisées avec ANSYS ont illustré la distribution de la pression et de la température, identifiant les zones critiques pour la sécurité opérationnelle. L'étude démontre la complémentarité des méthodes analytiques et numériques pour optimiser la performance des HTR-PM.

Mots clés : ANSYS, approche analytique, approche numérique, CFD, HTR-PM, Réacteur nucléaire, transfert de chaleur et de fluide.

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des Abréviations	
Liste des Symboles	
Introduction Générale	13
Chapitre 1 : Généralités sur le HTR-PM et les milieux poreux	16
1.1 Introduction	16
1.2 Généralités sur le HTR-PM	16
1.2.1 Bref historique des réacteurs à haute température	16
1.2.2 Présentation d'un HTR-PM	17
1.2.3 Caractéristiques principales	19
1.2.4 Spécification de chaque partie du réacteur	20
1.2.5 Fonctionnement général	21
1.3 Généralités sur les milieux poreux	22
1.3.1 Structure des milieux poreux	22
1.3.2 Propriétés des milieux poreux	24
1.3.3 Modèles d'écoulement en milieu poreux	25
1.4 Conclusion	26
Chapitre 2 : Étude analytique	28
2.1 Introduction	28
2.2 Formulation du problème	28
2.2.1 Domaine d'étude	28
2.2.2 Hypothèses de travail	29
2.2.3 Équations de conservation	29
2.3 Résolution analytique	31
2.3.1 Adimensionnement des équations gouvernant l'écoulement	31
2.3.2 Nombres adimensionnels	32
2.4 Résolution	33
2.4.1 Nombre de Nusselt Nu	33
2.4.2 Flux de chaleur	34
2.4.3 Paramètres de calcul	34

2.4.4 Application numérique	36
2.5 Résultats	36
2.5.1 Variation du nombre de Nusselt Nu en fonction du nombre de Biot Bi pour les quatre fluide	37
2.5.2 Variation du flux de chaleur Q en fonction du nombre de Biot Bi	40
2.6 Conclusion	42
Chapitre 3 : Étude numérique	44
3.1 Introduction	44
3.2 Utilisation du logiciel ANSYS	44
3.2.1 Présentation du logiciel ANSYS	44
3.2.2 Méthode des volumes finis	45
3.3 La modélisation des milieux poreux sur ANSYS	47
3.3.1 Limites et hypothèses du modèle des milieux	47
3.3.2 Équations du moment cinétique pour les milieux poreux	48
3.3.3 Loi de Darcy dans les milieux poreux	49
3.3.4 Pertes par inertie dans les milieux poreux	50
3.3.5 Traitement de l'équation de l'énergie dans les milieux poreux	50
3.3.6 Effet de la porosité sur les équations scalaires transitoires	51
3.4 Création de la géométrie	51
3.5 Maillage	52
3.5.1 Importance du maillage	52
3.5.2 Fonctionnement du maillage	52
3.6 Indépendance du maillage	53
3.6.1 Définition des conditions aux limites	53
3.6.2 Elaboration du maillage	54
3.6.3 Conditions aux limites	56
3.7 Résultats et interprétations	57
3.8 Conclusion	61
Conclusion générale Perspectives	62
Bibliographie	64
Annexes	66

Confidentiel