

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



LAVALEF

Département : Génie Chimique

Laboratoire de Valorisation des Énergies Fossiles

Mémoire de Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Chimique

Thème

**Étude des comportements stationnaire et dynamique  
d'un RCPA non isotherme**

Feriel BENMOUSSA

Hanane AMEUR

Sous la direction de : Mme Amina AMRI Maître de Conférences A (ENP)  
Mme Fairouz KIES Maître de Conférences A (ENP)

Présenté et soutenu publiquement le (04/07/2023)

**Composition du jury :**

Président	M. Mohamed BOUBAKEUR	MAA	ENP
Promotrices	Mme Amina AMRI	MCA	ENP
	Mme Fairouz KIES	MCA	ENP
Examineur	M. Malik SENOUCI-BEREKSI	MCB	ENP



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



LAVALEF

Département : Génie Chimique

Laboratoire de Valorisation des Énergies Fossiles

Mémoire de Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Chimique

Thème

**Étude des comportements stationnaire et dynamique  
d'un RCPA non isotherme**

Feriel BENMOUSSA

Hanane AMEUR

Sous la direction de : Mme Amina AMRI Maître de Conférences A (ENP)  
Mme Fairouz KIES Maître de Conférences A (ENP)

Présenté et soutenu publiquement le (04/07/2023)

**Composition du jury :**

Président	M. Mohamed BOUBAKEUR	MAA	ENP
Promotrices	Mme Amina AMRI	MCA	ENP
	Mme Fairouz KIES	MCA	ENP
Examineur	M. Malik SENOUCI-BEREKSI	MCB	ENP

## ملخص: دراسة السلوكيات الثابتة والديناميكية لمفاعل كيميائي مستمر متغير حراريًا

الهدف هذه الدراسة هو تحديد نقاط التشغيل الثابتة والمثلى لمفاعل مستمر غير متجانس حراريًا يخضع لتفاعل مفرز للحرارة من الدرجة الأولى. تم تحديد الحالات الثابتة لهذا المفاعل بناءً على معلماته الحركية والحرارية باستخدام النموذج البعدي لأوبال مما سمح من تحديد منحنيات التعدد معقدة. تم توضيح تأثير زمن الإقامة ومعامل نقل الحرارة على نوع المنحنى. تم دراسة السلوك الثابت والديناميكي للمفاعل باستخدام معايير فان هيردن وليابونوف. تم أيضًا اعتبار النهج التنبؤي والوقائي لتحديد مناطق التشغيل الآمنة لهذا المفاعل وتجنب تقلبات درجات الحرارة التي يمكن أن تؤدي إلى حدوث ارتفاع حراري مفرط.

الكلمات المفتاحية: مفاعل مستمر غير متجانس، تفاعل طارد للحرارة، تفاعل من الدرجة الأولى، استقرار، تسارع حراري.

### **Abstract: Study of the steady-state and dynamic behaviours of a non-isothermal CSTR**

The aim of this study is to establish the stable and optimal operating points of a non-isothermal CSTR in which a single, exothermic, first-order reaction occurs. The steady states of this reactor have been determined based on its kinetic and thermodynamic parameters using the dimensionless Uppal model which allowed us to identify complex multiplicity patterns. The influence of residence time and heat transfer coefficient on the type of multiplicity pattern has been highlighted. The steady-state and dynamic behavior of the reactor have been analyzed using the Van Heerden and Lyapunov criteria. Predictive and preventive approaches have also been considered to define safe operating zones for this reactor and to avoid temperature fluctuations that may lead to thermal runaway.

**Keywords:** CSTR, non-isothermal, exothermic reaction, first-order reaction, stability, thermal runaway.

### **Résumé : Étude des comportements stationnaire et dynamique d'un RCPA non isotherme**

L'objectif de cette étude est de déterminer les points de fonctionnement stables et optimaux d'un RCPA non isotherme siège d'une réaction exothermique d'ordre 1. Les états stationnaires de ce réacteur ont été déterminés en fonction de ses paramètres cinétiques et thermodynamiques en utilisant le modèle adimensionnel d'Uppal, ce qui a permis d'obtenir des profils de multiplicité complexes. Les influences du temps de séjour et du coefficient de transfert de chaleur sur le type de profil ont été mises en évidence. Les comportements stationnaire et dynamique du réacteur ont été étudiés à l'aide des critères de Van Heerden et de Lyapunov. Des approches prédictives et préventives ont également été considérées pour délimiter les zones de fonctionnement sûres de ce réacteur et éviter les fluctuations de températures susceptibles de conduire à un emballement thermique.

**Mots clés :** RCPA, non isotherme, réaction exothermique, réaction d'ordre 1, stabilité, emballement thermique.

# Dédicaces

À mes merveilleux parents, mes plus grands supporters.

Maman, mon exemple de détermination. Tes encouragements et tes précieux conseils m'ont donné la force d'affronter tous les défis. Ta patience infinie et ton soutien indéfectible ont été mes sources d'inspiration les plus profondes. Je te suis reconnaissante pour ta présence aimante et ta confiance en mes capacités.

Papa, mon pilier solide. Ta sagesse, ton dévouement et ta volonté de me voir réussir m'ont poussé à donner le meilleur de moi-même. Ton soutien sans faille a nourri mon ambition et renforcé ma détermination dans les moments de doute. Je te suis infiniment reconnaissante pour ton amour inébranlable, ton investissement sans limite et ta présence constante à mes côtés.

À mon frère Mehdi et ma sœur Meriem, mes compagnons de vie et mes complices de toujours.

À ma cousine Meriem et à mon oncle Mohamed, qui nous ont quittés trop tôt. Vos sourires et vos encouragements resteront à jamais gravés dans mon cœur. Votre absence laisse un vide immense mais vos souvenirs continuent de me donner la force d'avancer avec détermination.

À ma chère grand-mère "Nani" et mon cher grand-père, votre présence bienveillante et vos paroles réconfortantes ont été une source d'inspiration et de réconfort tout au long de ma vie. Vos prières et votre soutien inconditionnel ont été une source de force dans les moments difficiles

Je tiens à exprimer ma gratitude à mes tantes Lila, Nassima et Zohra pour leur amour indéfectible. Votre présence dans ma vie a été un soutien moral précieux.

Je dédie également ce travail à ma meilleure amie Nadjwa et à tous mes amis polytechniciens qui ont été mes compagnons de route dans cette aventure académique. Votre soutien inébranlable, votre écoute attentive ont été des sources de motivation dans mon parcours. Votre présence et votre amitié ont fait de cette expérience une véritable source de joie et de bonheur.

À tous ceux qui ont cru en moi, qui m'ont encouragée à poursuivre mes rêves et à donner le meilleur de moi-même, je vous adresse mes sincères remerciements. Votre confiance en moi m'a donné la force de persévérer dans les moments difficiles.

Avec tout mon amour et ma gratitude éternelle,

*Feriel*

# Dédicaces

À la mémoire de la personne que j'ai tant souhaité avoir à mes côtés en ces moments, celui qui m'a tant appris et aidée à devenir la personne que je suis aujourd'hui, à mon cher défunt père, **AMEUR Kheireddine**. Aucun mot ne saurait exprimer suffisamment ma gratitude et ma considération pour tous les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation depuis mon enfance. Que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.

À ma chère mère, **AMARI Habiba**, dont le soutien inconditionnel et les encouragements constants ont été ma force et ma source d'inspiration tout au long de mon parcours scolaire. Je tiens à te remercier énormément pour ta patience, ta compréhension et ta tendresse. Sans ton précieuse aide, je n'aurais jamais pu atteindre mes objectifs. Que Dieu te protège et fasse en sorte que tu sois toujours fière de moi.

À ma grande sœur, **Fella**, et à mon grand frère, **Sidahmed**, je tiens à vous exprimer ma gratitude infinie pour votre soutien indéfectible, votre présence constante et votre accompagnement tout au long de mon parcours. Je vous serai éternellement reconnaissante.

À ma belle-sœur, **Yousra**, et à mon beau-frère, **Nacer**, merci d'être toujours à mes côtés.

À mes petits bouts de choux, mes neveux **Djawad**, **Assil** et **Riham**. Vous parvenez à me faire rire même dans les moments les plus difficiles de ma vie. Votre innocence et votre joie de vivre m'apportent un bonheur immense. Que cette modeste contribution inspire en vous le désir d'apprendre et d'exceller dans vos études. Sachez que je serai toujours là pour vous soutenir et vous encourager dans chaque étape de votre vie.

À mes adorables amies d'enfance, **Kenza et Hanaa**, avec qui j'ai partagé tant de souvenirs précieux et de moments inoubliables. Je tiens à vous exprimer mes vœux sincères de réussite dans tous vos projets et aspirations. Que notre amitié perdure pour toujours.

À ma seconde famille, mes amis de la promotion 2023 du Génie chimique. Les moments de joie, de rires et de stress que j'ai vécus avec vous ont rendu cette expérience d'apprentissage inoubliable. Ce fut un plaisir de vous connaître et de partager autant avec vous. Je tiens à vous souhaiter un avenir radieux, rempli de succès et de réussite.

Au comité de CEC de l'année 2022, avec qui je garde de très beaux souvenirs : ma confidente **Safa**, **Imene**, **Nassima**, **Samy** et **Amir**. Vous êtes pour moi des sœurs et des frères sur qui je peux toujours compter.

À mes amis des classes préparatoires, qui ont été présents depuis le début de cette aventure académique, vous avez une place particulière dans mon cœur, **Maliza**, **Malik**, **Idris**, **Anis**, **Kenza** et **Nadia**.

À mes camarades du Vision and Innovation Club, et en particulier à l'équipe du département IT, à **Imed Eddine** et **Ridha**, qui n'ont pas hésité à me proposer leur aide, ainsi qu'à **Djawad**, mon petit frère à qui je souhaite un avenir fabuleux lors de ses études en Génie Chimique.

À mon amie et mon aînée, **Asma** qui m'a tant aidée et guidée dans mes choix personnels et professionnels.

À toute personne qui a cru en moi et a contribué, de loin ou de près, à ma formation.

**Hanane**

# Remerciements

Nous tenons d'abord à remercier Dieu, le Tout-Puissant, qui nous a guidées tout au long de notre parcours de vie et nous a comblées de nombreuses bénédictions.

Ce Projet de Fin d'Études a été réalisé, au sein du Laboratoire de Valorisation des Énergies Fossiles, sous la direction de Dre A. AMRI et de Dre F. KIES.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers nos promotrices, Dre A. AMRI et Dre F. KIES, pour leurs conseils avisés et leur soutien indéfectible qui ont été déterminants dans la réussite de notre Projet de Fin d'Études. Nous souhaitons les remercier chaleureusement pour leur investissement et leur accompagnement tout au long de cette aventure. Nous sommes honorées d'avoir eu la chance de travailler sous leur direction.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude envers Mr M. BOUBAKEUR pour l'honneur qu'il nous accorde en présidant ce jury. Nous tenons également à remercier chaleureusement Dr M. SENOUCI-BEREKSI pour l'honneur qu'il nous fait d'examiner notre travail.

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à tous les enseignants du département Génie Chimique qui nous ont offert une formation de qualité exceptionnelle.

Nous sommes extrêmement reconnaissants envers nos parents, car sans leur soutien, nous n'aurions jamais pu atteindre ce niveau d'études et de formation.

Nous souhaitons exprimer notre sincère reconnaissance à toutes les personnes qui ont joué un rôle, qu'il soit direct ou indirect, dans la réussite de notre Projet de Fin d'Études. Leur contribution a été précieuse et nous leur adressons nos plus sincères remerciements.

**Confidentiel**