

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SALAH BOUBNIDER CONSTANTINE 3



FACULTE DE GENIE DES PROCEDES

DEPARTEMENT DE GENIE PHARMACEUTIQUE

N° d'ordre :... ..

Série :... ..

Mémoire de Master  
Filière : Génie des procédés  
Spécialité : Génie pharmaceutique

**SIMULATION ET ANALYSE DU SYSTEME DE  
REFRIGERATION BI-ETAGE A INJECTION TOTALE PAR  
LE LOGICIEL EES**

Dirigé par:

*Dr. DJEZZAR Souad*

Présenté par :

*Balla radja*

*Dernoune seif eddin*

*Beldjezzar dorsaf*

Année universitaire 2022/2023

Session juin

***Table des matières :***

<b>Introduction générale</b>	1
<b>Chapitre 1 : synthèse bibliographique</b>	
1.1 Introduction	2
1.2 Histoire du froid	2
1.2.1 Froid naturel	2
1.2.2 Naissance du froid artificiel	2
1.2.3 Définition du froid	3
1.3 Applications du froid et modes de sa production	3
1.3.1 Applications du froid	3
1.3.2 Utilisation pharmaceutique	4
1.3.2.1 Vaccins	4
1.3.2.2 Médicaments de thérapie cellulaire	5
1.3.2.3 Insuline	5
1.4 Chaîne du froid	5
1.5 Modes de production du froid	6
1.6 Machines productrices de froid	6
1.6.1 Système à absorption à simple effet	6
1.6.1.1 Principe de l'absorption dans les machines à absorption	7
1.6.2 Système à compression mécanique à simple effet	7
1.6.2.1 Principe de fonctionnement de la machine à compression de vapeur à simple effet	8
1.6.2.2 Cycle de la machine à compression de vapeur à simple effet	9
1.6.3 Rôle des éléments composants la machine à compression de vapeur	9
1.6.3.1 Evaporateur	9
1.6.3.2 Compresseur	10
1.6.3.3 Condenseur	12
1.6.3.4 Détendeur	13
1.7 Machines à compression de vapeur à double effet	13
1.7.1 Cycle à compression de vapeur à double effet à injection totale étudié	15
1.7.2 Principe de fonctionnement du cycle à injection totale	15
1.7.2.1 Un article sur l'application du froid dans la bi-étage	17
1.7.3 Fluides utilisés dans ce mémoire	17
1.7.3.1 Ammoniac (R <sub>717</sub> )	17

1.7.3.2 Mélange d'hydrofluorocarbures R <sub>410A</sub>	17
1.8 Fluides frigorigènes	18
1.8.1 Introduction	18
1.8.2 Définition	18
1.8.3 Classification	19
1.8.3.1 composés inorganiques	19
1.8.3.2 composés organiques	19
1.8.4 Nomenclature	20
1.8.5 Nouveaux fluides frigorigènes les plus utilisés	20
1.8.6 Critère de choix des fluides frigorigènes	20
1.8.6.1 Critères thermodynamiques	20
1.8.6.2 Critères économiques	21
1.8.6.3 Critères environnementaux	21
1.9 Conclusion	22
 <b>chapitre 2 : modélisation et optimisation du cycle à compression à double effet à injection totale</b>	
2.1 Introduction	23
2.2 Etude thermodynamique du cycle à compression de vapeur à simple effet	23
2.2.1 Diagramme de mollier	23
2.2.2 Cycle de Carnot	24
2.2.3 Cycles de la machine de réfrigération à compression de vapeur	25
2.2.3.1 Cycle théorique	25
2.2.3.2 Cycle idéal	25
2.2.3.3 cycle réel	25
2.3 Bilans énergétiques du système frigorifique à simple effet	26
2.3.1 Bilans énergétiques individuels	27
2.3.1.1 Bilan énergétique dans compresseur	27
2.3.1.2 Bilan énergétique dans l'évaporateur	28
2.3.1.3 Bilan énergétique dans le condenseur	28
2.3.1.4 Bilan énergétique dans le détendeur	29
2.3.2 Bilan global de la machine à compression de vapeur	29
2.4 Bilans massiques et énergétiques du cycle à compression de vapeur à double effet	30
2.5 Logiciel Engineering Equation Solver EES version 9.430	34
2.5.1 Menu file	35

2.5.2 Le menu Options	36
2.5.2.1 Variable Info	36
2.5.2.2 Function info	36
2.5.2.3 Unit system	37
2.5.3 Menu calculate	37
2.5.4 Menu plot	38
2.5.5 Menu Windows	38
2.5.6 Menu help	39
2.6 Conclusion	39
<b>Chapitre 3 : résultat et discussion</b>	
3.1 Introduction	40
3.2 Etude paramétrique	40
3.2.1 Conditions opératoires	40
3.2.2 Analyse des cycles a simple et double effet avec le R <sub>717</sub>	41
3.2.2.1 Calcul des caractéristiques et paramètres du cycle à simple effet avec R <sub>717</sub>	41
3.2.2.2 Calcul des caractéristiques et paramètres du cycle à double effet avec R <sub>717</sub>	41
3.2.2.3 comparaisons entre les deux cycles	43
3.2.3 Analyse des cycles a simple et double effet avec le R <sub>410A</sub>	43
3.2.3.1 : Calcul des caractéristiques et paramètres du cycle à simple effet avec le R <sub>410A</sub>	43
3.2.3.2 Calcul des caractéristiques et paramètres du cycle à double effet avec R <sub>410A</sub>	44
3.2.3.3 comparaisons entre les deux cycles	45
3.2.4 comparaison entre des deux fluides R <sub>717</sub> et R <sub>410A</sub> dans les cycles double effet:	45
3.3 Influence des paramètres sur la performance du cycle simple et double effet à injection totale	46
3.3.1 Influence des paramètres sur la performance du cycle simple effet à injection totale	46
3.3.1.1 Effet des températures d'évaporation et de condensation sur la performance du cycle simple effet avec les deux fluides R <sub>717</sub> et R <sub>410A</sub> .	46
3.3.2 Effet de la température d'évaporation sur le taux de compression et la	47

température de refoulement avec les deux fluides circulant dans le cycle à simple effet	
3.4 Influence de la variation des paramètres sur l'efficacité du cycle à double effet à injection totale	48
3.4.1 Influence des températures d'évaporation et de condensation sur la performance du cycle double effet à injection totale	48
3.4.2 Influence des températures d'évaporation et de condensation sur la température de refoulement du cycle bi-étagée injection totale	52
3.4.3 Effet de température intermédiaire sur la température de refoulement isentropique	53
3.5 Etude comparative entre le cycle simple effet et le cycle double effet à injection totale	54
3.5.1 Effet des températures d'évaporation et de condensation sur la performance des cycles simple et double effet dans le cas du R <sub>717</sub>	54
3.5.2 Effet des températures d'évaporation et de condensation sur la température de refoulement des cycles simple et double effet à injection totale	55
3.5.3 Effet des températures d'évaporation et de condensation sur la température de refoulement des cycles mono-étagé et bi –étagé basse et haute pression à injection total	57
3.5.4 impact de température d'évaporation et de condensation sur la température de refoulement dans un système mono et bi a basse et a haute pression a injection totale	60
3.5.5 Effet de la température d'évaporation sur la puissance absorbée isentropique avec les deux fluides	61
3.5.6 Influence de température d'évaporation sur les débits volumique	63
3.5.7 Comparaison avec le cycle double effet totale et le cycle double effet partielle	65
3.6 Conclusion	66
<b>Conclusion générale</b>	
<b>Référence bibliographique</b>	68-70

**Résumé**

ملخص

## Résumé

Le travail effectué porte sur la simulation d'une machine frigorifique à compression de vapeur à double effet à injection totale utilisant les réfrigérants R<sub>717</sub> et R<sub>410A</sub>. Une étude comparative est faite entre le cycle à simple effet et le cycle à double effet avec ces deux fluides. La simulation est effectuée à l'aide du logiciel EES, en prenant en compte les conditions opératoires choisies et en formulant les équations à partir des bilans résultant de l'analyse thermodynamique du cycle étudié.

Cette étude nous a permis d'obtenir les caractéristiques thermodynamiques du cycle à compression de vapeur à double effet, notamment un facteur essentiel, à savoir le coefficient de performance (COP), ainsi que les paramètres optimaux pour lesquels la performance (COP) est maximale. Par conséquent, il est proposé d'utiliser la machine frigorifique à double effet à injection totale fonctionnant avec l'ammoniac qui est plus performante, l'ammoniac étant un fluide frigorigène naturel, non nocif pour l'environnement et plus performant que le R<sub>410A</sub>, dans le domaine des basses températures, en particulier dans l'industrie pharmaceutique.

**Mots clés :** machine frigorifique, les réfrigérants R<sub>717</sub> et R<sub>410A</sub>, logiciel EES, COP.

### ملخص

تركز البحث الحالي على محاكاة آلة تبريد بتركيب بخاري ذات تأثير مزدوج بحقن كامل، وذلك باستخدام المبردات . يتم إجراء دراسة مقارنة بين دورة التأثير المفرد ودورة التأثير المزدوج باستخدام المادتين. يتم إجراء المحاكاة باستخدام البرنامج المعتمد عليه، مع مراعاة الظروف التشغيلية المختارة وصياغة المعادلات بالاستناد إلى التوازنات الناتجة عن تحليل حراري للدورة المدروسة.

قد سمحت هذه الدراسة لنا بالحصول على الخصائص الحرارية لدورة ضغط البخار ذات تأثير مزدوج، وخاصةً العامل الأساسي وبناءً على ذلك، (COP)، بالإضافة إلى التوافقات الأمثل التي تحقق أقصى أداء لمعامل الأداء (COP) الحيوي وهو معامل الأداء يُقترح استخدام آلة التبريد بتركيب بخاري ذات تأثير مزدوج بحقن كامل والتي تعمل بالأمونياك لأنها تتمتع بأداء أفضل،

### الكلمات المفتاحية:

R410 و R717 وسائط التبريد  
EES برنامج  
آلة التبريد (COP) معامل الأداء الحراري