

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DELA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département automatique



Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de
Master en Automatique

THÈME

**Commande par modèle de référence d'une station
de Dessalement de DCMD**

Proposé et dirigé par :

Mr. M.Chakir

Pr. M.S.Boucherit

Etudié par :

Slimani Abderrahmane

Soutenu le 26 juin 2016 devant un jury composé de :

Dr B. Hemic.....

...Président

Pr. M.Tadjine

... Examineur

Mr M. Chakir

...Rapporteur

Pr. M.S.Boucherit.....

...Rapporteur

Jun 2016

*Laboratoire de Commande des Processus
Ecole Nationale Polytechnique, 10, AV. Hassen Badi, El-Harrach, Algérie.*

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DELA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département automatique



Laboratoire de Commande des Processus

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de
Master en Automatique

THÈME

**Commande par modèle de référence d'une station
de Dessalement de DCMD**

Proposé et dirigé par :

Mr. M.Chakir

Pr. M.S.Boucherit

Etudié par :

Slimani Abderrahmane

Soutenu le 26 juin 2016 devant un jury composé de :

Dr B. Hemic.....

...Président

Pr. M.Tadjine

... Examineur

Mr M. Chakir

...Rapporteur

Pr. M.S.Boucherit.....

...Rapporteur

Jun 2016

Laboratoire de Commande des Processus

Ecole Nationale Polytechnique, 10, AV. Hassen Badi, El-Harrach, Algérie.

Remerciements

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au sein du laboratoire de commande des processus de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, sous la direction de M_r M. Chakir, et de Monsieur M_r M.S Boucherit enseignants à l'ENP.

Nous tenons à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la foi, la santé, la volonté et la patience pour mener à bien ce travail. Nos reconnaissances et vifs remerciements vont à nos encadreurs M_r M. Chakir et M_r M.S Boucherit, ainsi que M_r M. Tadjine pour l'aide précieuse qu'ils nous ont apporté, leur disponibilité, leur soutien, et leurs encouragements.

Nous exprimons bien évidemment toute notre gratitude à tous nos enseignants de l'école nationale polytechnique d'Alger pour le savoir qu'ils nous ont transmis durant nos trois ans d'études.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres du jury qui nous font l'honneur d'évaluer notre travail.

Nous témoignons notre profonde gratitude au professeur Bouchouata qui nous a quittés cette année, plus qu'un professeur, c'était une figure paternelle, un ami, un mentor.

Nous tenons à remercier de manière particulière nos chers parents, frères et sœurs respectives "que Dieu les protège" qui ont toujours été là pour nous et qui nous ont donné un magnifique modèle de persévérance, en nous soutenant pendant toutes ces années d'études. On espère qu'ils trouvent dans ce mémoire toute notre reconnaissance et tout notre amour.

Et enfin, nous remercions tous les membres du Club d'Activités Polyvalentes de l'ENP, l'essence de notre motivation.

ملخص :

كل التحديات التي ستواجهها الانسانية خلال السنوات الماضية تتجه نحو ندرة المياه الشروب، لهذا التطوير التكنولوجي في مجال تحلية مياه البحر يعتبر أولوية من اجل إدارة افضل للموارد المائية. تعد DCMD تقنية منخفضة الكلفة و موفرة للطاقة مقارنة مع تقنيات التقطير المعتادة، بيد أنها لم تلق بعد استعمالا صناعيا واسعا. الفهم المتعمق ل DCMD أمر ضروري، و لهذا الغرض نمذجة مراحل ظواهر النقل تكون جد مفيدة . العمل المقدم في هذه الأطروحة يقترح نمودجا ثنائي البعد في فضاء الحالة، مع أخذ ظواهر نقل المادة و الحرارة بعين الاعتبار. نتائج المحاكاة جاءت مقارنة للنتائج التجريبية. و يقترح هذا العمل أيضا تطوير نظام تحكم بالنمودج المرجعي، للسيطرة على استقطاب درجة الحرارة، من اجل زيادة أداء محطة لتحلية المياه DCMD

كلمات مفتاحية : تقنيات التقطير, نمودج الحالة, نظام تحكم,النمودج المرجعي.

Abstract :

Direct contact membrane distillation (DCMD) is characterized as a low-thermal energy process, involving evaporation driven by the pressure difference between two fluid channels separated by a hydrophobic membrane. Recently, DCMD technology has shown substantial progress, including the development of a few models of the systems. In this study we consider a bi-dimensional state space model of DCMD process. Simulations have showed a consistency between the proposed model results and the expected behavior from the experiments. This comparison showed a matching with an error percentage less than 5%. This work also deals with a development of control reference model to regulate the temperature polarization coefficient and also to increase the efficiency of the DCMD station .

Keys-words : desalination, stat space model, control, reference model.

Résumé :

La distillation membranaire à contact direct (DCMD) est un procédé à basse consommation d'énergie, basé sur l'évaporation entraîné par la différence de pression entre les deux canaux de fluide séparés par une membrane hydrophobe. Récemment, la technologie DCMD a montré des progrès substantiels, y compris le développement de quelques modèles de systèmes. Dans cette étude, nous utilisons un modèle d'espace Etat bidimensionnelle du processus DCMD. Des simulations ont montré une cohérence entre les résultats du modèle proposé et les données expérimentales. Ce travail porte aussi sur un développement de la une commande par modèle de référence pour réguler le coefficient de polarisation de la température et aussi pour augmenter l'efficacité de la station DCMD.

Mots-clés : dessalement, modèle d'état, command, modèle de référence.

Sommaire

Liste des tableaux	6
Table des figures	7
Abréviations	8
Notations et Symboles	9
Introduction Générale	11
1 Généralités sur le dessalement	13
1.1 La distillation membranaire (MD)	14
1.1.1 Concept et mécanisme de la distillation membranaire	14
1.1.2 Distillation membranaire à contact direct (DCMD)	15
1.1.3 Membranes utilisés dans la distillation membranaire	16
1.1.4 Avantages de la distillation membranaire	17
1.1.5 Les défis de la MD	18
2 Etude et Modélisation du système de DCMD	19
2.1 Introduction	20
2.2 Le modèle théorique	20
2.2.1 Les phénomènes de transfert dans le processus DCMD	20
2.2.2 Les condition aux limites	23
2.3 Le Modèle d'état	24
2.4 La validation et Simulation du modèle	25
2.4.1 La validation du modèle	25
2.4.2 les résultats de Simulation	26

3	Commande par modèle de référence du coefficient de polarisation TPC	29
3.1	Introduction	30
3.2	La structure du régulateur à modèle de référence	30
3.3	Résolution de l'équation "Bezout"	31
3.4	Le choix du modèle de référence	32
3.5	Application du la commande par modèle de référence sur le système de DCMD	32
3.5.1	Le choix des modèle de référencé pour le système DCMD	34
3.6	Simulation et résultats	35
3.6.1	Schéma de simulation	35
3.6.2	les résultats de simulation	36
3.7	Conclusion	36
	Conclusion Générale	37
	Bibliographie	38

Liste des tableaux

2.1	les paramètres du système,leur valeurs numériques, leurs unités et leurs définitions	28
-----	--	----

Table des figures

1.1	Distillation membranaire à contact direct (DCMD) [1]	16
1.2	Membrane pour la MD à base de polypropylène	17
2.1	Le schéma de l'emplacement des conditions aux limites du système	23
2.2	La géométrie du dispositif de DCMD	25
2.3	Comparaison entre données expérimentales de Hwang et al.(Hwang et al., 2011) et et le modèle d'état . L'erreur absolue est inférieure à 5% entre les deux lectures	26
2.4	La distribution de température dans le canal chaud(a)	26
2.5	l'évolution de flux massique le long de la membrane	27
2.6	l'évolution de la température sur les deux surfaces de la membrane	27
3.1	Le schéma de la structure du commande à modèle de référence (à trois blocs RST)	31
3.2	Le schéma de la structure modifié du commande à modèle de référence (à trois blocs RST)	35
3.3	La commande du coefficient de polarisation TPC par modèle de référence	36

Abréviations

Abréviation	Définition
MSF :	Flash à multiple étages.
ppm :	Partie par million.
MD :	Distillation membranaire.
DCMD :	Distillation membranaire à contact direct.
AGMD :	Air Gap Membrane Distillation.
SGMD :	Sweeping Gas Membrane Distillation.
VMD	Distillation membranaire sous-vide.
PP :	Polypropylène.
PVDF :	Fluorure de polyvinylidène.
PTFE :	Polytetrafluoroethylene.
NF :	Nano-filtration.
UF :	Ultrafiltration.
MF :	Microfiltration.
MFP :	Mean Free Path.
Sat	Saturation.
TPC :	Coefficient de polarisation de température.

Notations et Symboles

Paramètres	Définition	Unité
M	Nombre de Sous-système.	/
N	Nombre d'états pour chaque sous-système.	/
d_a	Hauteur du canal du l'eau chaude.	m
d_b	Hauteur du canal du l'eau froide.	m
L	Longueur du canal.	m
dx	Le pas entre deux lignes.	m
dz	Le pas entre deux colonnes.	m
W	Largeur du canal.	m
r	le rayon du Pore.	m
δm	Épaisseur des la membrane.	m
ϵ	Porosité de la membrane.	/
τ	la tortuosité de la membrane.	/
k_m	la conductivité thermique de la membrane.	$W.K^{-1}.m^{-1}$
ρ_a	la densité de l'eau de mer.	$Kg.m^{-3}$
ρ_b	la densité de l'eau pure.	$Kg.m^{-3}$
k_a	conductivité thermique de l'eau de mer.	$W.m^{-1}.K^{-1}$
k_c	conductivité thermique de l'eau pure.	$W.m^{-1}.K^{-1}$
$C_{p,a}$	Capacité calorifique du flux d'eau de mer.	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$
$C_{p,b}$	Capacité calorifique du flux de l'eau pure.	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$
τ	la tortuosité de la membrane.	/
R	la constante des gaz parfaits.	$J.mol^{-1}.K^{-1}$
v_b	la vélocité de l'eau pure.	m/s

λ	la Chaleur latente de l'eau.	$J.Kg^{-1}$
η	la Viscosité de la vapeur d'eau.	$N.s.m^{-2}$
α	le coefficient de transfert de chaleur par convection.	$W.m^{-2}.K^{-1}$
$T_{a,in}$	Température d'entrée du canal chaud.	$^{\circ}C$
$T_{b,in}$	Température d'entrée du canal froid.	$^{\circ}C$
T_m	Température moyenne de la membrane.	$^{\circ}C$
P_1^{sat}	La pression au niveau de la surface chaud de la membrane.	Pa
P_2^{sat}	La pression au niveau de la surface froid de la membrane.	Pa
P_m	Pression moyenne au niveau de la membrane.	Pa
jT_i	La température de la ligne i et la colonne j .	$^{\circ}C$
${}^jx_{s,i}$	la variable d'état de la température.	/
${}^j\theta_s$	Le vecteur des variations bornées due a l'approximation.	/
${}^j\Psi_s$	Le vecteur des résultats du perturbation.	/
J	Le flux massique.	$Kg.m^{-2}.s^{-1}$
\mathcal{J}	La productivité en eau pure.	$Kg.m^{-2}$

Introduction Générale

La technologie de séparation membranaire a un grand potentiel dans l'amélioration de dessalement des eaux de mer et le traitement des eaux résiduaires, afin d'améliorer l'efficacité d'enlèvement des impuretés aussi bien que pour augmenter l'approvisionnement en eau par l'intermédiaire de l'utilisation des ressources d'eau non-usuelles [5-7].

Un effort croissant de recherches est conduit pour la fabrication de nouvelles membranes [12], la conception de modules plus efficaces [13] et l'optimisation de l'exécution du processus de la MD [14] pour les buts mentionnés (dessalement et traitement des eaux résiduaires et l'eau de mer) [15-17]. La majorité des travaux de recherche ont porté sur l'optimisation de l'hydrodynamique et l'étude de l'effet des diverses configurations et géométries des modules MD, alors que moins d'entre eux ont tenté d'acquérir une meilleure compréhension des mécanismes donnant lieu à l'amélioration du transfert de masse à l'intérieur des pores de la membrane.

Dans ce travail, nous consacreront notre étude sur un type de configuration MD appelé la distillation membranaire à contact direct (DCMD), en introduisant un modèle d'état dynamique et validé expérimentalement afin d'étudier les différents phénomènes de transfert dans le processus DCMD. Le modèle servira au développement d'une commande par modèle de référence du TPC, qui permettra améliorer les performances de DCMD.

Ainsi, la mémoire s'articule autour de quatre trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons la technologie de distillation membranaire (MD), son principe de fonctionnement, ainsi que les différentes configurations de la MD avec une comparaison entre elles. Nous terminerons ce chapitre par une présentation des avantages et inconvénients de la MD, et les perspectives de la technologie.

Dans le deuxième chapitre, nous introduisons les équations qui représentent les différents phénomènes de transfert dans le système, afin de construire un modèle d'état dynamique. Des simulations des différents phénomènes de transfert ont été présentées, ainsi qu'une validation expérimentale du modèle proposé.

Le troisième chapitre est consacré à la synthèse d'une commande par modèle de référé-

rence, dédié à augmenté l'efficacité de la station DCMD a travers l'amélioration de TPC. L'idée principale est d'imposer une référence sur le dernier sous système, en se basant sur les données du modèle .les résultats obtenu par les développements théoriques sont illustrai par simulation.

Et enfin, nous terminerons par une conclusion générale, récapitulant ce qui a été réalisé, ainsi que les éventuelles pour les développements à venir.

Chapitre 1

Généralités sur le dessalement

1.1 La distillation membranaire (MD)

La distillation membranaire (MD) est un processus relativement nouveau qui est l'objet de nombreuses recherches dans le monde entier, comme c'est une alternative de séparation à faible coût, avec une grande économie d'énergie comparé aux méthodes conventionnelles comme la distillation avec l'osmose d'inversion (RO).

Cependant, la MD a également plusieurs limitations, qui ont comme conséquence un manque d'intérêt général pour le processus. La limite primaire résulte de la définition du phénomène lui-même : la solution à traiter doit être aqueuse, avec une quantité limitée de matières organiques pour éviter le mouillage de la membrane poreuse hydrophobe.

Par conséquent, malgré le rendement de la MD dans les applications de dessalement, les perspectives actuelles de l'intégration dans l'industrie de dessalement sont sombres.

Les progressions les plus importantes en technologie des MD auront lieu lorsque les industriels chercheront à trouver de nouveaux procédés moins coûteux et respectueux à l'environnement en comparaison avec les procédés actuels.

Ainsi, beaucoup de chercheurs consacrent leurs efforts pour la détermination de nouvelles applications pour les MD dans le secteur de médical, environnemental/ traitement des déchets, l'industrie alimentaire et l'industrie de dessalement.

Généralement, le processus MD pourrait utiliser les sources d'énergie naturelles telles que le vent, l'énergie solaire, l'énergie des marées, et l'énergie thermique industrielle de faible qualité (fumée) comme source de chaleur, car la température de fonctionnement des MD est relativement basse. Par conséquent, le potentiel pour le dessalement par le processus MD est très grand [2].

1.1.1 Concept et mécanisme de la distillation membranaire

Le concept de distillation membranaire (MD) est venu à partir du processus de distillation classique. Ces deux processus sont basés sur l'équilibre vapeur-liquide. Il y a un changement de phase dans le processus. Mais la température de fonctionnement dans la distillation membranaire est beaucoup inférieure que le point d'ébullition de la solution à traiter.

À Rome, le 5 mai 1986, IUPAC a donné la définition de la distillation membranaire comme suit. Le terme " Membrane Distillation" doit être appliqué aux opérations à membrane ayant les caractéristiques suivantes : [19]

- La membrane doit être poreuse

- La membrane ne doit pas être mouillée par les liquides du processus
- Pas de condensation capillaire à l'intérieur des pores de la membrane
- Seulement la vapeur devrait être transportée par les pores de la membrane poreuse
- la membrane ne doit pas altérer l'équilibre vapeur-liquide des différents composants dans les liquides de processus
- Au moins un côté de la membrane devrait être en contact direct avec le liquide de processus
- Pour chaque composant la force motrice est un gradient de pression partielle dans la phase vapeur.

Selon la définition, la membrane pour la MD devrait être fortement poreuse et hydrophobe. Dans un processus de MD, la température du côté d'alimentation doit être plus haute que le côté perméat, et les composants volatils traversent la membrane sous forme de vapeur et se condensent sur l'autre côté de la membrane hydrophobe.

La distillation membranaire (MD) est divisée en quatre différents types de configurations, selon différentes méthodes de condensation

1. Distillation membranaire à contact direct (DCMD)
2. Distillation membranaire avec entrefer (AGMD)
3. Distillation membranaire à balayage de gaz (SGMD),
4. Distillation membranaire à vide (VMD).

1.1.2 Distillation membranaire à contact direct (DCMD)

Dans le processus de DCMD, qui est le processus le plus utilisé pour le dessalement, Un côté de la membrane est en contact direct avec la solution d'alimentation et l'autre côté de la membrane est en contact direct avec le perméat, et le fluide de refroidissement. La température de la solution d'alimentation est plus haute que celle du côté perméat pour créer une force motrice pour le transport de la vapeur à travers la membrane. Puisque la membrane est la seule barrière entre les deux côtés (côté d'alimentation et côté perméat), le flux perméat obtenu dans DCMD est élevé.

Malheureusement, c'est également vrai pour le flux d'énergie par la conduction de chaleur,

de sorte que la perte de chaleur dans DCMD est également très élevée. Cela signifie que la DCMD peut consommer une quantité significative d'énergie.

La figure 1.1 montre le mécanisme de DCMD.

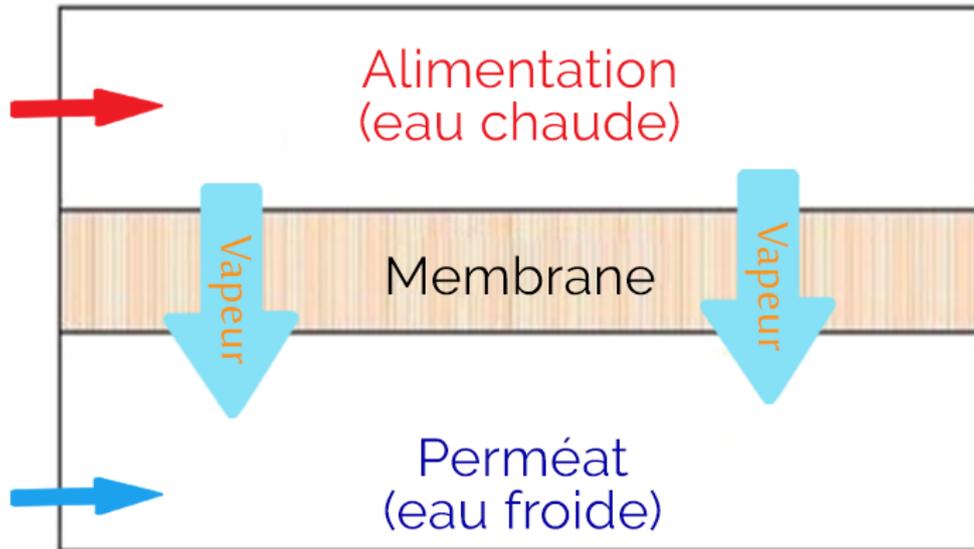


FIGURE 1.1 – Distillation membranaire à contact direct (DCMD) [1]

1.1.3 Membranes utilisés dans la distillation membranaire

Les avantages de la distillation membranaire sont dans le fait que le processus de distillation se déroule à une température modérée, une différence de température relativement faible entre les deux liquides entrant en contact avec la membrane hydrophobe microporeuse, et le processus donne relativement à un flux élevé. Puisque l'entraînement des particules dissoutes est évité, le perméat présente un grand degré de pureté.

Cependant, la distillation membranaire est seulement possible si une condition est vérifiée : les pores de la membrane ne sont pas remplis de liquide. Par conséquent, la puissance de mouillage du liquide de la membrane devrait être basse, et le matériau de membrane devrait être hydrophobe. Afin de remplir les conditions, des matériaux hydrophobes sont nécessaires, comme : le *polypropylène* (pp), *fluorure de polyvinylidène* (PVDF) et *polytétrafluoroéthylène* (PTFE, teflon)[2].



FIGURE 1.2 – Membrane pour la MD à base de polypropylène

1.1.4 Avantages de la distillation membranaire

La distillation membranaire a d'abord été conçue comme un processus qui pourrait fonctionner avec un faible besoin en énergie externe et une dépense minimum de capital et de terre pour l'usine [6]. Le grand espace de vapeur exigé par une colonne de distillation conventionnelle peut être remplacé dans la distillation membranaire par un petit volume d'une membrane microporeuse, qui est généralement de l'ordre de 100 Microm d'épaisseur. Alors que distillation conventionnelle s'appuie sur des vitesses de vapeur élevées afin de fournir un bon contact liquide-vapeur, La distillation membranaire nécessite une membrane microporeuse hydrophobe.

Comme résultat, les équipements pour le procédé de distillation membranaire peuvent être beaucoup plus petits, ce qui se traduit par une économie en termes de biens immobiliers, et les températures d'exploitation requises sont beaucoup plus faibles, parce qu'il n'est pas nécessaire de chauffer les liquides au-dessus de leurs températures d'ébullition. De plus, l'abaissement de la température du processus combiné avec une réduction de la superficie des équipements réduit la perte de chaleur à l'environnement.

Les températures d'alimentation dans la MD sont généralement dans la plage de 60 ° C à 90 ° C, bien que des températures aussi basses que 30 ° C avaient été utilisées.

Par conséquent, la chaleur résiduelle de faible qualité et et/ou les sources d'énergie alternatives telles que l'énergie solaire et géothermique peuvent être combinée avec les systèmes de distillation membranaire pour un coût efficace, et un système de séparation liquide à

faible consommation d'énergie. En effet, les systèmes de distillation membranaires fonctionnant à l'énergie solaire ont été montrés pour être concurrentiel avec l'osmose inverse dans les régions éloignées [2].

1.1.5 Les défis de la MD

Bien que le processus MD a été découvert en 1963 par Bodel, c'est-à-dire il y a plus de 50 ans [1], mais il est toujours en développement, et jusqu'à présent n'a pas une large application industrielle dans le domaine du dessalement et de traitement des eaux résiduaires. Donc, la question à poser est : quelles sont les obstacles devant l'industrialisation du dessalement basé sur les techniques de la MD ?

Entre-temps, plusieurs aspects de cette technologie qui est en évolution constante n'ont pas encore été résolus et continuent à poser des obstacles à son développement. Certains aspects importants sont la compréhension de l'effet de l'hydrodynamique sur les polarisations, le fouling des membranes, la chute de flux de distillat et la perte de chaleur durant le processus. L'absence des modules spécifiques pour les applications MD, et de l'absence de membranes spécifiques, sont les défis les plus importants pour le développement de la technologie.

À cet égard, une compréhension approfondie des processus MD est essentielle, et pour laquelle la modélisation des phénomènes de transfert peut être utile. En d'autres termes, la conception, la construction et l'essai de nouveaux modules MD nécessite une quantité considérable de temps et de coûts matériels. Par conséquent, la modélisation se présente comme un outil puissant pour économiser le temps, l'énergie et les coûts, fera l'objet du prochain chapitre.

Chapitre 2

Etude et Modélisation du système de DCMD

2.1 Introduction

Dans la MD, qui est une combinaison de la distillation traditionnelle et la séparation membranaire, les transferts de chaleur, de masse, et de quantité de mouvement à travers la membrane microporeuse sont impliqués simultanément. Par conséquent, la modélisation et/ou la prédiction des variations du flux de distillat serait compliquée par l'intermédiaire de méthodes de simulation numérique conventionnelles, vu la nécessité de résolution simultanée des équations de transfert de chaleur et de masse.

Notre étude sera basée sur la configuration DCMD, qui est la configuration la plus utilisée, et la plus appropriée pour les applications de dessalement.

Le but de ce chapitre est de présenter un modèle d'état dynamique du module DCMD, afin d'obtenir la distribution de la température dans les deux cotés de la membrane, vu que toute les données sur le rendement de la station sont en fonction de la température. Par la suite, le chapitre présente des simulations, et une validation du modèle à travers une comparaison avec des données expérimentales.

2.2 Le modèle théorique

Dans ce travail, nous allons utiliser une approche de modélisation dans l'espace d'état, développée pour la première fois dans l'article [10], dont le modèle d'état du système de DCMD a été modélisé comme étant M sous système d'état mis en cascade pour déterminer la distribution de la température à l'intérieur du système. Par conséquent, Ce modèle peut ouvrir de nouvelles fenêtres pour mieux comprendre les phénomènes de transfert dans le processus DCMD, et utiliser les outils de l'automatique comme l'observation et la commande .

2.2.1 Les phénomènes de transfert dans le processus DCMD

Le transfert de masse

Le transfert de masse et la diffusion des molécules dans la DCMD peut être généralement décrite comme suit [11] :

$$J = c_m \Delta P^{sat} = c_m (P_a^{sat} - P_b^{sat}) \quad (2.1)$$

Où $P_{sat,a}$ et $P_{sat,b}$ sont respectivement les pressions de saturation des côtés chaud et froid de la membrane, qui sont déterminés par l'équation d'Antoine :

$$P_s^{sat} = 133.32 \times 10^{\left(8.10765 - \left(\frac{1450.286}{T_s + 235}\right)\right)} \quad (2.2)$$

Avec T_s la température en $^{\circ}C$, et «s» étant le « côté ». C'est-à-dire $s = a$ pour le côté chaud et $s = b$ pour le côté froid.

Le terme c_m dans équation(2.1) dépend du type de la membrane et de la nature de diffusion des molécules (transfert de masse) .

Le coefficient de transfert de la membrane c_m dans le DCMD (équation(2.1)) peut être estimée par une somme pondérée par des paramètres $\alpha(T)$ et $\beta(T)$ de diffusion de Knudsen et de Poiseuille (modèles de flux visqueux) [13] :

$$c_m = c_k + c_p \quad (2.3)$$

Tel que :

$$c_m = 1.064 \alpha(T) \frac{\varepsilon r}{\tau \delta_m} \sqrt{\frac{M_w}{RT_m}} + 0.125 \beta(T) \frac{\varepsilon r^2}{\tau \delta_m} \frac{M_w P_m}{\eta_v RT_m} \quad (2.4)$$

Où $\alpha(T)$ et $\beta(T)$ sont respectivement les contributions des modèles de diffusion Knudsen et de Poiseuille(dans notre cas on les prend egales à 1). M_w est le poids moléculaire de l'eau, h est la pression de saturation moyenne de la membrane. R est la constante des gaz parfaits, r est la rayon des pores de la membrane, T_m est la température moyenne dans la membrane. δ_m correspond à l'épaisseur de la membrane, ε est la porosité de la membrane, et η_v est la viscosité de gaz et τ est le facteur de tortuosité.

- La quantité d'eau produite

La quantité d'eau pure produite par le système de dessalement par DCMD peut être déterminé par l'équation suivante :

$$\mathcal{J} = W \times \sum_{j=1}^M (J_j) \quad (2.5)$$

Où : W est la surface de la membrane (m^2), J_j est le flux du sous-système j en ($Kg.m^{-2}.s^{-1}$) donné par l'équation 2.1

Le transfert de Chaleur

Pour notre cas, la propagation de la température dans le processus DCMD est décrite par l'équation (2.6) ,Pour un débit symétrique et laminaire, et une distribution symétrique

de température sans la production d'énergie interne [13]

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \underbrace{u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial z}}_{\text{convection}} \right) = k \left(\underbrace{\frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 z}}_{\text{conduction}} \right) \quad (2.6)$$

Dans notre étude nous allons prendre deux d'hypothèses qui vont nous permettre de simplifier l'équation précédente(2.6) :

- (1) On néglige l'effet de la conduction selon l'axe Z et on prend seulement la conduction selon l'axe X en considération
- (2) On considère que l'effet de convection est seulement selon l'axe Z

D'ou l'équation (2.6) se simplifie, et donne l'équation de base dans la modélisation DCMD [4] :

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} \quad (2.7)$$

Cette équation peut être réécrite sous la forme suivante :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p} \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} - v \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} - v \frac{\partial T}{\partial z} \quad (2.8)$$

tel que : $\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$

α est le coefficient de transfert de chaleur par convection, qui est variable en fonction du temps et température [14] Puisque'il dépend de la conductivité thermique (k), (C_p) la chaleur calorifique et(ρ) la densité de l'eau de mer .

La vitesse de l'écoulement le long de l'axe z a un profil parabolique, et peut être exprimée par l'équation :

$$v(x) = 6\bar{v}_s \left(\frac{x}{d_s} - \frac{x^2}{d_s^2} \right) \quad (2.9)$$

tel que :

$\bar{v}_s = \frac{Q}{d_s W}$ est la vitesse moyenne, Q étant le débit volumique, W Largeur du canal et d_s sa hauteur. On considère que $d_a = d_b = d$.

Le coefficient de polarisation de température TPC

Dans le système de distillation membranaire les températures au niveau de la couche limite de la membrane et niveau de mur du canal sont différents due à la la polarisation de température. Aussi le TPC indique le rendement thermique de la MD, dans lesquels un système valeur proche de 1 veut dire une bonne efficacité thermique, et valeurs proche de

zéro signifie le contraire, pour presque tous les systèmes MD, le TPC est dans la gamme de 0,4-0,9

le Coefficient de Polarisation de Température c'est le rapport entre la différence de température au niveau des deux surfaces de la membrane ($T_{c,n+1}$ et $T_{f,n+1}$) sur la différence de température au niveau de mur des deux Canales ($T_{c,0}$ et $T_{f,0}$)

l'expression mathématique du TPC est [18] :

$$TPC = \frac{T_{c,n+1} - T_{f,n+1}}{T_{c,0} - T_{f,0}} \quad (2.10)$$

2.2.2 Les condition aux limites

Comme montré dans la figure 2.1, les conditions aux limites pour la modélisation du processus DCMD sont donnés dans [?] par :

$$\left\{ \begin{array}{l} T_s(x, 0) = T_{s,in} \\ \frac{dT_s(0, z)}{dx} = 0 \\ \frac{\partial T_a(d, z)}{\partial x} = - \left[\lambda J + \frac{k_m}{\delta_m} (T_a(d, z) - T_b(d, z)) \right] \\ \frac{\partial T_b(d, z)}{\partial x} = \left[\lambda J + \frac{k_m}{\delta_m} (T_a(d, z) - T_b(d, z)) \right] \end{array} \right. \quad (2.11)$$

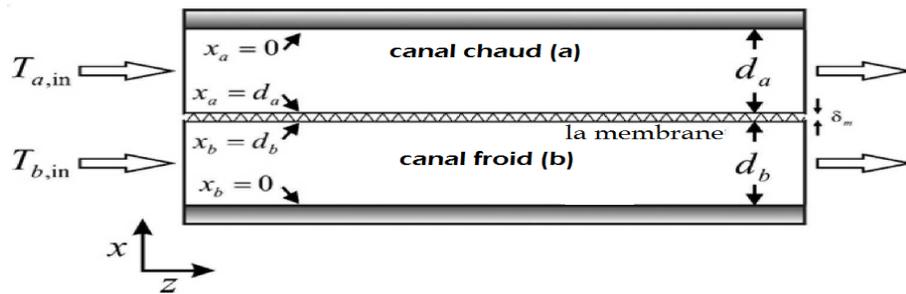


FIGURE 2.1 – Le schéma de l'emplacement des conditions aux limites du système

2.3 Le Modèle d'état

le modèle d'état incertain d'un seul sous système de DCMD est donné par la formule matricielle suivante :

$$\Sigma_j^s \begin{cases} {}^j \dot{x}_s &= {}^j A_s \cdot {}^j x_s + {}^j B_s \cdot {}^j u_s + {}^j \Psi_s({}^j x_s) {}^j \theta_s \\ {}^j y_s &= {}^j C_s \cdot {}^j x_s \end{cases} \quad j = 1, \dots, M \quad (2.12)$$

tel que les matrices sont définie comme suit :

- La matrice dynamique ${}^j A_s$:

$${}^j A_s = \begin{bmatrix} {}^j A_{s1} \\ \vdots \\ {}^j A_{sN} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Tel que les lignes sont :

$$\begin{cases} {}^j A_{s1} &= [a_{s1,1} \quad a_{s1,2} \quad 0 \cdots 0] \\ {}^j A_{si} &= [0 \cdots 0 \quad a_{si,i-1} \quad a_{si,i} \quad a_{si,i+1} \quad 0 \cdots 0] \\ {}^j A_{sN} &= [0 \cdots 0 \quad a_{sN,N-1} \quad a_{sN,N}] \end{cases} \quad (2.14)$$

- Les matrices d'entrée/sortie ${}^j B_s$ et ${}^j C_s$:

$$\begin{cases} {}^j B_s &= \text{diag}({}^j B_{si}) \quad , \quad {}^j B_{si} = \frac{v_{s,i}}{\Delta z} \quad \forall i, j \\ {}^j C_s &= I_N \quad \forall j \end{cases} \quad (2.15)$$

- Les termes de perturbation :

le vecteur ${}^j \theta_s$ contient toutes les variations bornées due au variations paramétrique, et ${}^j \Psi_s({}^j x_s, {}^j \theta_s)$ le vecteur qui contient tous les résultats des perturbations

$${}^j \theta_s = \begin{bmatrix} {}^j \theta_{\alpha s} \\ {}^j \theta_{\beta s} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

$${}^j \Psi_s({}^j x_s, {}^j \theta_s) = \begin{bmatrix} {}^j \Psi_{s1} \\ \vdots \\ {}^j \Psi_{sN} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

tel que :

$${}^j\Psi_{si} = \frac{1}{\Delta x^2} ({}^j x_{s,i-1} + 2{}^j x_{s,i} - {}^j x_{s,i+1}) {}^j\theta_{\alpha s,i} + v_{s,i} {}^j\theta_{\beta s,i} \quad (2.18)$$

À la fin on peut écrire l'expression de ${}^j\Psi_s({}^j x_s, {}^j\theta_s)$ sous la forme compacte suivante :

$${}^j\Psi_s({}^j x_s, {}^j\theta_s) = {}^j\Psi_{\alpha s} \cdot {}^j\theta_{\alpha s} + {}^j\Psi_{\beta s} \cdot {}^j\theta_{\beta s} = {}^j\Psi_s({}^j x_s) {}^j\theta_s \quad (2.19)$$

sachant que :

$$\begin{cases} {}^j\Psi_{\beta s} = \text{diag}({}^j\Psi_{\beta si}) \\ {}^j\Psi_s({}^j x_s) = \begin{bmatrix} {}^j\Psi_{\alpha s} & {}^j\Psi_{\beta s} \end{bmatrix} \end{cases}, \quad {}^j\Psi_{\alpha s} = \text{diag}({}^j\Psi_{\alpha si}) \quad (2.20)$$

Finalement, le modèle d'état incertain d'un seul sous système de DCMD est donné par la formule matricielle suivante [10] :

$$\Sigma_j \begin{cases} {}^j\dot{x}_s = {}^jA_s \cdot {}^jx_s + {}^jB_s \cdot {}^ju_s + {}^j\Psi_s({}^jx_s) {}^j\theta_s \\ {}^jy_s = {}^jC_s \cdot {}^jx_s \end{cases} \quad j = 1, \dots, M \quad (2.21)$$

2.4 La validation et Simulation du modèle

2.4.1 La validation du modèle

Le modèle a été comparé avec le travail expérimental qui a été fait par (Hwang et al., 2011). nous avons défini le modèle proposé pour les mêmes paramètres et les conditions de fonctionnement à celles de l'expérience voir tableau(2.1).

- La géométrie du dispositif de DCMD : La géométrie du dispositif utilisé par Hwang(2011) figure2.2, dans ces expériences est rectangulaire plat de longueur 0.4 m et de largeur 0.15 m, composé de deux compartiments, l'hauteur de chaqu'un est de 0.001 m, ces deux compartiments sont séparé par une membrane (PTFE) hydrophobe,poreuse.

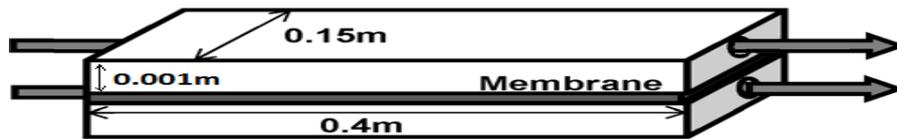


FIGURE 2.2 – La géométre du dispositif de DCMD

En comparant les résultats des expériences de référence [17] et les résultats du modèle, le modèle proposé donnait une correspondance étroite avec une erreur inférieure à 5% . La courbe de validation de température de sortie du côté chaud en fonction de la vitesse d'eau se trouve sur la figure(2.3)

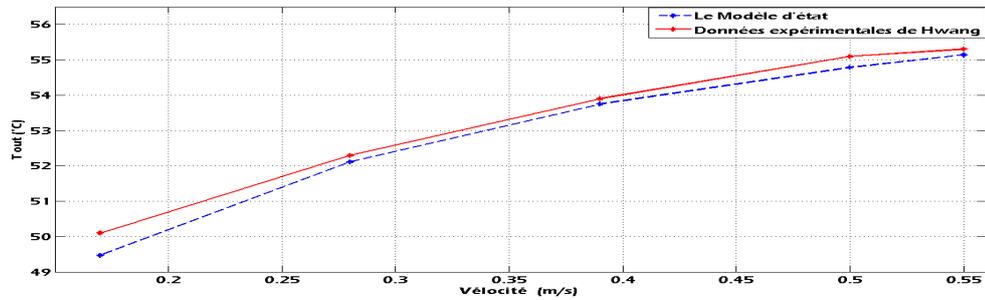


FIGURE 2.3 – Comparaison entre données expérimentales de Hwang et al.(Hwang et al., 2011) et et le modèle d'état . L'erreur absolue est inférieure à 5% entre les deux lectures

2.4.2 les résultats de Simulation

La distribution de Température

Le figure2.4 représente la distribution de la température dans le canal chaud du système de dessalement DCMD au régime permanent c-à-d. après la stabilisation du système. pour une température d'entrée de côté chaud de $60^{\circ}C$, température d'entrée côté froid de $20^{\circ}C$,et pour une vitesse de $0.17m/s$ pour les deux solutions.

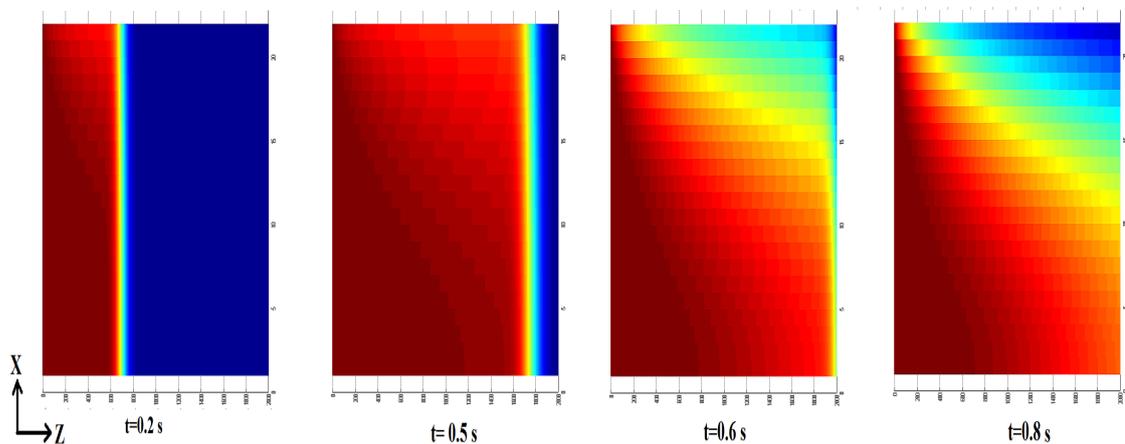


FIGURE 2.4 – La distribution de température dans le canal chaud(a)

Le flux massique le long de la membrane

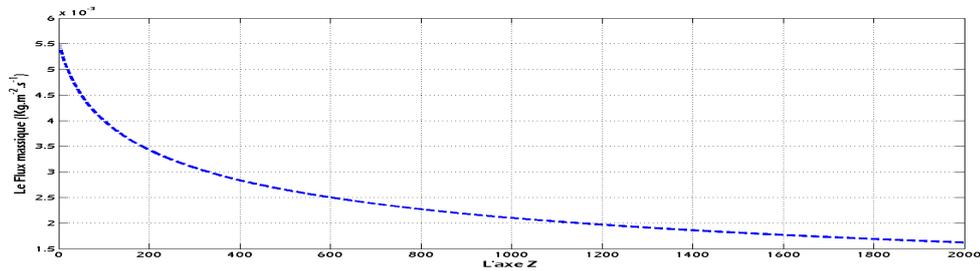


FIGURE 2.5 – l'évolution de flux massique le long de la membrane

La figure 2.5 représente l'évolution de flux massique le long de la membrane, on remarque que le transfert de masse est élevé au niveau des premiers sous-systèmes et qu'il diminue le long de la membrane, parce que la différence de température dans les premiers sous-systèmes est grande et elle diminue selon l'axe Z comme elle montre la figure 2.6, et on sait très bien que plus la différence de température est grande entre les deux surfaces de la membrane, plus la pression transmembranaire est grande plus l'évaporation de l'eau au niveau de la membrane est élevée.

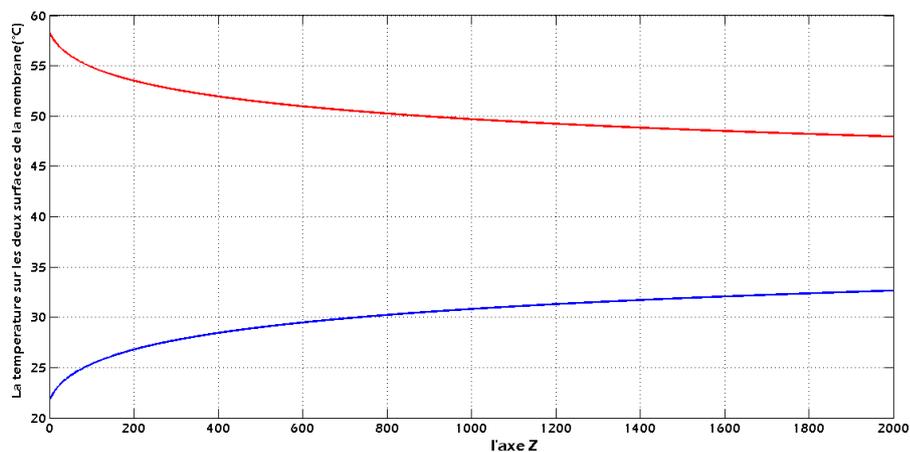


FIGURE 2.6 – l'évolution de la température sur les deux surfaces de la membrane

Paramètres	Définition	Valeurs	Unité
M	Nombre de Sous-système	2000	/
N	Nombre d'états pour chaque sous-système	20	/
d_a	Hauteur du canal du l'eau chaude	0.001	m
d_b	Hauteur du canal du l'eau froide	0.001	m
L	Longueur du canal	0.4	m
dx	Le pas entre deux lignes	5×10^{-5}	m
dz	Le pas entre deux colons	2×10^{-4}	m
W	Largeur du canal	0.15	m
r	le rayon du Pore	0.11×10^{-6}	m
δm	Épaisseur des la membrane	1.1×10^{-4}	m
ϵ	Porosité de la membrane	83%	/
τ	la tortuosité de la membrane	1.2048	/
k_m	la conductivité thermique de la membrane	0.053	$W.K^{-1}.m^{-1}$
ρ_a	la densité de l'eau de mer	1035	$Kg.m^{-2}$
ρ_b	la densité de l'eau pure	998.2	$Kg.m^{-2}$
k_a	conductivité thermique de l'eau de mer	0.596	$W.m^{-1}.K^{-1}$
k_c	conductivité thermique de l'eau pure	0.607	$W.m^{-1}.K^{-1}$
$C_{p,a}$	Capacité calorifique du flux d'eau de mer	4180	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$
$C_{p,b}$	Capacité calorifique du flux de l'eau pure	3850	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$
τ	la tortuosité de la membrane	1.2048	/
R	la constante des gaz parfaits	8.3134	$J.mol^{-1}.K^{-1}$
v_b	la vitesse de l'eau pure	0.28	m/s
λ	la Chaleur latente de l'eau	2.426×10^6	$J.Kg^{-1}$
η	la Viscosité de la vapeur d'eau	2.29×10^{-9}	$N.s.m^{-2}$

TABLE 2.1 – les paramètres du système,leur valeurs numériques, leurs unités et leurs définitions

Chapitre 3

Commande par modèle de référence du coefficient de polarisation TPC

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous introduisons la commande à modèle de référence ou le régulateur à trois blocs R-S-T pour commander le coefficient de polarisation de température TPC. Cette technique de régulation est réalisée en vue d'améliorer les performances de la station DCMD. Le principe est basé sur la résolution de l'équation de Bézout qui conduit à l'identification des polynômes R, S et T, permettant ainsi au systèmes de se comporter comme le modèle de référence et d'atteindre d'excellentes performances avec une très bonne robustesse [20]. La diversité des structures de commande disponibles aujourd'hui est essentiellement liée aux objectifs donnés par le cahier de charge d'une part et à la qualité du modèle du procédé d'autre part. Cette structure doit respecter les objectifs suivants :

- Suivi d'une consigne.
- Rejet des perturbations.
- les performances du système .

3.2 La structure du régulateur à modèle de référence

Le Régulateur RST est composé de trois polynômes $R(s)$, $S(s)$ et $T(s)$ définis d'une manière à atteindre les objectifs de régulation. ça structure est donnée par la figure Où $A(s)$, $B(s)$, $R(s)$, $S(s)$ et $T(s)$ sont des polynômes de la variable ' s ' .

$T(s)$: pré-compensateur Feed-Forward. $R(s)$: feedback. $S^{-1}(s)$: Bloc en cascade.

Le Régulateur RST est définie d'une manière à atteindre les objectifs de régulation qui sont donnés par un modèle de référence désiré d'où les trois polynômes $R(s)$, $S(s)$ et $T(s)$ doivent être choisis et dimensionnés afin que cette fonction de transfert en boucle fermée réponde à un modèle de référence, ou modèle à poursuivre, préconisé par l'utilisateur :

$$G_m(s) = \frac{B^d(s)}{A^d(s)} \quad (3.1)$$

Et le système est décrit par la fonction de transfert suivante :

$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} \quad (3.2)$$

La commande est donc définie par l'expression :

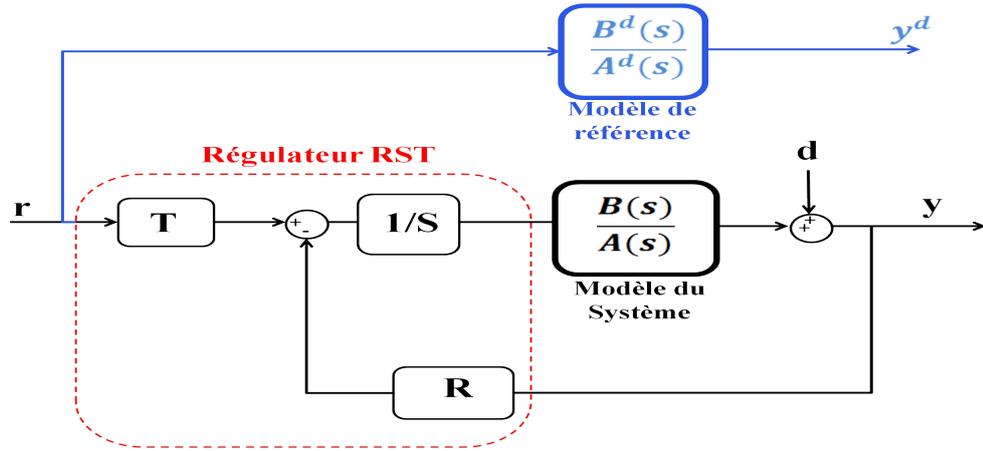


FIGURE 3.1 – Le schéma de la structure de commande à modèle de référence (à trois blocs RST)

$$u = \frac{T(s)}{S(s)} \cdot r - \frac{R(s)}{S(s)} \cdot y \quad (3.3)$$

La boucle de régulation représentant ce régulateur peut être décrite par :

$$\frac{y(s)}{r(s)} = \frac{B(s) \cdot T(s)}{A(s) \cdot S(s) + B(s) \cdot R(s)} \quad (3.4)$$

L'objectif de réglage consiste à annuler l'erreur de poursuite :

$$e = r - y \quad (3.5)$$

Nous allons effectuer une commande à modèle de référence. Il s'agit plus précisément de déterminer les polynômes R et S , qui vérifient l'équation de Diophante ou identité de Bezout [20].

$$\begin{cases} T(s) = B^d(s) \\ A(s) \cdot S(s) + B(s) \cdot R(s) = A^d(s) \cdot B(s) \end{cases} \quad (3.6)$$

3.3 Résolution de l'équation "Bezout"

Conformément à la figure (3.1) et en l'absence de bruit de mesure, on rappelle l'équation Bezout est :

On peut remarquer que le polynôme T égale au numérateur B^d du modèle de référence désiré, cependant dans la plupart des cas $B^d = 1$.

La détermination des polynômes R et S passe par la résolution de la deuxième équation du système linéaire (3.6), où les inconnues sont les coefficients des puissances en s de ces polynômes. Le choix du degré de R et S se fait par comparaison des degrés de puissance des deux cotés de l'égalité c-à-d :

$$d^o(A(s)) + d^o(S(s)) \text{ ou } d^o(B(s)) + d^o(R(s)) = d^o(A^d(s)) + d^o(B(s)) \quad (3.7)$$

3.4 Le choix du modèle de référence

le choix du modèle de référence est une étape décisive dans la procédure de la synthèse du régulateur RST, cependant il y a un modèle qui est largement utilisé dans la littérature, modèle a la forme suivante :

$$G_m(s) = \frac{1}{(1 + s.Ti)^n} \quad (3.8)$$

telle que : le choix des paramètres du modèle 3.8, doit satisfaire le cahier de charge *performance*, pour cela on doit vérifier ces deux conditions :

- le modèle contient les mêmes, retard du système, et les mêmes zéros et pôles instables, ce qui est vérifié pour le système de DCMD.
- le degré relatif du modèle $n - m \geq$ degré relatif du système.

3.5 Application de la commande par modèle de référence sur le système de DCMD

Le modèle d'état du système de DCMD est la mise en cascade de M sous-systèmes à N état (on prend $N = 6$) le modèle de chaque sous-système sans perturbation est donnée par :

$$\sum_j^s \begin{cases} {}^j \dot{x}_s &= {}^j A_s \cdot {}^j x_s + {}^j B_s \cdot {}^j u_s \\ {}^j y_s &= {}^j C_s \cdot {}^j x_s \end{cases} \quad j = 1, \dots, M \quad (3.9)$$

alors que la synthèse de la commande à modèle de référence elle se fait dans le domaine fréquentiel, donc tout d'abord on doit transformer le modèle d'état à une matrice des fonction de transfert on utilisant la formule suivante :

$$G(s) = C(s.I_n - A)^{-1}B + D \quad (3.10)$$

ce qui nous donne une matrice ($N \times N$) de fonctions de transfert :

$$G(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) & \dots & G_{1N}(s) \\ & \vdots & & \\ G_{N1}(s) & G_{N2}(s) & \dots & G_{NN}(s) \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

par la suite et avant de procéder à la synthèse de la commande à modèle de référence et vu que le système de DCMD est un système multi-entrées /multi-sortie, on doit tout d'abord avoir des informations sur l'état interne du système (Couplage interne) pour cela on doit calculer la matrice de Bristol ou la matrice des gains relatifs qui va nous permettre de décider si le système devait être découplé ou non.

La matrice de Bristol s'écrit comme suit :

$$\gamma(s) = G(s) \times G^{-1}(s) \quad (3.12)$$

et les gains de couplage pour $N=6$, sont donnés par :

$$\gamma(0) = \begin{pmatrix} 0.9983 & 0.0017 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0025 & 0.9950 & 0.0025 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0025 & 0.9950 & 0.0025 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0025 & 0.9950 & 0.0025 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0025 & 0.9950 & 0.0025 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0017 & 0.9983 \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

D'après la matrice de Bristol du système, il est clair que le système de DCMD est découplé tel que la première commande (u_1) agit seulement sur la première sortie (y_1), et la 2ème commande (u_2) agit sur la 2ème sortie (y_2), et ainsi de suite jusqu'à $N = 6$.

pour cela on va synthétiser le régulateur RST pour chaque état à part, et on va choisir des modèles de références de telle façon d'avoir une température désirée pour chaque état

du dernier sous-système, pour aboutir à la fin un coefficient de polarisation maximal, ou en d'autre terme une performance maximale du système DCMD.

3.5.1 Le choix des modèle de référencé pour le système DCMD

- Pour le fonction de transfert $G_{11}(s)$ entre u_1 et y_1

$$G_{11}(s) = \frac{B_{11}(s)}{A_{11}(s)} = \frac{1374.s^5 + 9.5.10^4 s^4 + 2.6.10^{10} s^3 + 3.6.10^{13} s^2 + 2.5.10^{16} s + 6.88.10^{18}}{s^6 + 8278.s^5 + 2.8.10^7 s^4 + 5.2.10^{10} s^3 + 5.4.10^{13} s^2 + 3.10^{16} s + 6.9.10^{18}} \quad (3.14)$$

le degré relatif est = 1

donc, on prend $n - m \geq 1$

=> $n = 2 \quad m = 1$;

or : il n'y a pas de pôles et zéros

donc on prend T_{11} plus rapide que la constante du temps la plus rapide du système

donc on prend : $T_{11} = 5.10^{-4} s$

D'où le modèle de référence désiré s'écrit comme suivant :

$$G_{m,11}(s) = \frac{B_{11}^d(s)}{A_{11}^d(s)} = \frac{1}{(1 + T_{11}.s)^2} \quad (3.15)$$

maintenant, il reste à déterminer les polynômes R S T en utilisant équation de Diophante ou identité de Bezout :

$$\begin{cases} T(s) = B_{11}^d(s) \\ A(s)_{11}.S(s) + B_{11}(s).R(s) = A_{11}^d(s).B_{11}(s) \end{cases} \quad (3.16)$$

Il est clair que $T(s) = 1$

en plus de ça on :

$$d^o(A_{11}(s)) + d^o(S(s)) \quad \text{ou} \quad d^o(B_{11}(s)) + d^o(R(s)) = d^o(A_{11}^d(s)) + d^o(B_{11}(s)) \quad (3.17)$$

$$7 = 7$$

cette égalité est juste pour $d^o(R(s)) = 1$ et $d^o(S(s)) = 1$

c-à-d : $S(s) = s_0 + s_1.s$ et $R(s) = r_0 + r_1.s$

et pour calculer les coefficient du polynôme $R(s)$ et $S(s)$ on doit résoudre le système d'équation générer par l'égalité 3.16

Et on va répéter cette procédure pour calculer les trois polynôme R S T pour les fonction de transfert $G_{22}, G_{33}, G_{44}, G_{55}$ et G_{66}

3.6 Simulation et résultats

3.6.1 Schéma de simulation

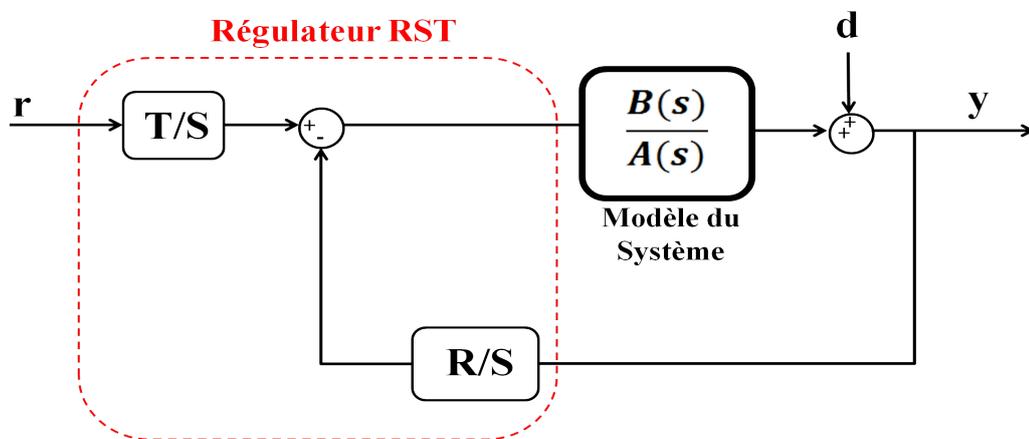


FIGURE 3.2 – Le schéma de la structure modifié du commande à modèle de référence (à trois blocs RST)

La Figure (3.2) représente la structure qu'on va utiliser sous MATLAB/SIMULINK de la commande à modèle de référence ou par régulateur RST du système de DCMD ,ou plus précisément la commande du coefficient de polarisation TPC.

Remarque : le TPC globale du la station DCMD est la moyenne de TPC en premier sous-système et le dernier sous-système, donc pour commander le TPC ça revient a commander l'un des deux TPC soit du premier sous-système ou le dernier sous-système ,pour nous avons choisit de commander le dernier parce que c'est le plus faible TPC,permis tous les sous-systèmes ,donc c'est on arrive à maintenir le dernier TPC a une très bonne valeur,c-a-d que tous les sous-système précédents vont avoir un bon TPC, car le signale de commande va passer du premier jusqu'au dernier.

3.6.2 les résultats de simulation

Pour imposer une référence désiré de TPC revient à imposer les états au dernier sous-système, c-a-d on va imposer 6 états (on a $N=6$) à travers la commande par modèle de référence (à l'entrée), ces valeurs désirer on les ramener du modèle d'état du système, on fait un bon paramétrage du système pour avoir un bon TPC, par la suite on a injecter ces valeur dans l'entrée du système avec régulateur, et a la fin on a abouti a une résultat pareil

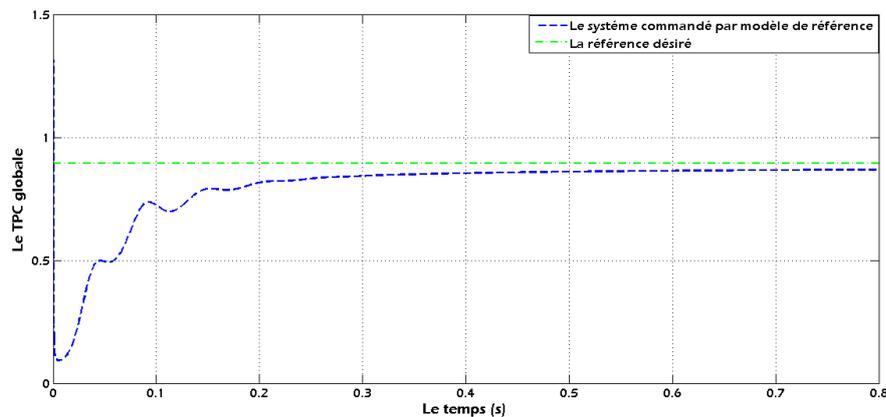


FIGURE 3.3 – La commande du coefficient de polarisation TPC par modèle de référence

on remarque bien que le TPC a converger vers la valeur désiré qui vaut 0.85, donc on peut dire que la commande par modèle de référence a permet de augmenter les performances du système du DCMD

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a étudié la commande du coefficient de polarisation TPC par un modèle de référence (régulateur RST). Cette commande présente l'avantage d'une mise en œuvre très simple puisque'elle repose sur un principe formel de manipulation de polynômes permettant de déboucher sur des fonctions de transfert faciles à traiter. Cette commande permet de répondre aux objectifs espérés d'une commande notamment la performance et le suivi de la consigne. De plus les résultats de simulation montrent que les performances dynamiques obtenues sont très satisfaisantes.

Conclusion Générale

Pour conclure on va rappeler la globalité du travail fait lors de ce mémoire de fin d'étude. Ce travail a été partagé en quatre chapitre : le premier chapitre c'est une généralité sur le dessalement de l'eau de mer où nous avons présenté la technologie de distillation membranaire (MD) qu'est une technologie au cours de développement, son principe de fonctionnement, ainsi que les avantages et inconvénients de la MD, et les perspectives de la technologie.

Le but de deuxième chapitre été de présenter un modèle d'état dynamique du module DCMD, afin d'obtenir la distribution de la température dans les deux cotés de la membrane, nous avons expliqué les phénomènes de transfert de chaleur et de masse et leur importance dans les applications MD, ensuite développé le modèle d'état du système de DCMD. à la fin, présente des simulations, et une validation du modèle à travers une comparaison avec des données expérimentales.

L'objectif de troisième chapitre été de développer une commande qui permettre de augmenter les performance d'une station de dessalement par DCMD, pour cela nous avons développé une commande par modèle de référence pour augmenté le coefficient de polarisation TPC et pour améliore le rendement de système.

à la fin nous avons terminé par une conclusion générale.

Bibliographie

- [1] M.M.A. Shirazi. et al. *Computational Fluid Dynamic (CFD) opportunities applied to the membrane distillation process : State-of-the-art and perspectives.* Elsevier, 2015.
- [2] Chaoyang Feng. *Development of Novel Nanofiber Membranes for Seawater Desalination by Air Gap Membrane Distillation.* Ph.D. Université de Ottawa, Canada, 2009.
- [3] D. H. Furukawa. *A Review of Seawater Reverse Osmosis..* IDA Desalination Seminar, Cairo, Egypt, September 1997.
- [4] M. Al-Sahali et H. Ettouney. *Developments in thermal desalination processes : Design, energy, and costing aspects..* Desalination ; 214(1-3) :227-240, 2007.
- [5] A. Alkhudhiri, N. Darwish, N. Hilal. *Membrane distillation : a comprehensive review.* Desalination 287 (2012) 2–18.
- [6] S. Zhao, L. Wardhaugh, J. Zhang, P.H.M. Feron. *Condensation, re-evaporation and associated heat transfer in membrane evaporation and sweeping gas membrane distillation.* J. Membr. Sci. 475 (2015) 445–454.
- [7] S. Kimura, S. Nakao, S. Shimatani. *Transport phenomena in membrane distillation.* J. Membr. Sci. 33 (1987) 285–298.
- [8] E. Curcio, E. Drioli. *Membrane distillation and related operations—a review.* Purif. Rev. 34 (2005) 35–86.
- [9] E. Drioli, A. Ali, F. Macedonio, *Membrane distillation : recent developments and perspectives.,* Desalination 356 (2015) 56–84.

-
- [10] M. CHAKIR, M. TADJINE and MS. BOUCHERIT *New State Space Modelling Approach and Unknown Input Observer Design for the Assessment of Temperature Polarization Phenomenon in Direct Contact Membrane Distillation*. Nonlinear Dynamics and Systems Theory, volume (issue) (year) 126.
- [11] E. Curcio, E. Drioli, *Membrane distillation and related operations—a review*,. Sep. Purif. Rev. 34 (2005) 35–86.
- [12] M. Khayet, T. Matsuura, *Membrane distillation : principles and applications*, Elsevier, 2011.
- [13] Schofield, R.W., Fane, A.G. and Fell, C.G.D. *Gas and vapor transport through microporous membrane..* Journal of Membrane science 53 (1-2) (1990) 159-171.
- [14] Eleiwi, F., Laleg-Kirati, T.M. In : Preprints of the 19th World *Dynamic modeling and optimization in membrane distillation system..* Congress, The International Federation of Automatic Control. Cape Town, South Africa, 2014, 24-29
- [15] M. Mulder, *Basic principles of membrane technology,,second edition*. Dordrecht, 1996.
- [16] K.W. Lawson, D.R. Lloyd. *Membrane distillation. U. Direct contact MD*. J. membr. Sci. 120 (1996), 123-133.
- [17] Ho Jung Hwang, Ke He, Stephen Gray, Jianhua Zhang, Il Shik Moon, *Direct contact membrane distillation (DCMD) : Experimental study on the commercial PTFE membrane and modeling*. ELSEVIER, Journal of Membrane Science 371 (2011) 90–98
- [18] F. Ali, E. Macedonio, S. Drioli, A. Aljlil, O.A. Alharbi, *Experimental and theoretical evaluation of temperature polarization phenomenon in direct contact membrane distillation*, Chem. Eng. Res. Des. 91 (2013) 1966–1977.
- [19] F. N, Alasfour, M. A. Darwish, A. Q. Bin Amer. *Thermal analysis of METVC plus MEE desalination systems*. Desalination ; 174(1) :39-61, 2005.
- [20] D.Robert, O.Sename, D.Simon, *sampling period dependent RST controller used in control» scheduling co-design*, IEEE Conference on Advanced Motion Control AMC'98.

- [21] I.D. Landau *Robust R-S-T Digital Control and Open Loop System Identification A Brief Review*, IEEE Advanced Process Control, April 29-May 1, 2002
- [22] Yves PIGUET. *SYNTHÈSE MULTIMODÈLE D'UN RÉGULATEUR POLYNOMIAL ROBUSTE*, Thèse de doctorat, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, 1997