

Simulation Et Régulation Par Réseaux De Neurones D'une Colonne d'Absorption Industrielle

M. Selatnia

Received: 13 April 2015 Accepted: 3 May 2015 Published: 15 May 2015

Abstract

Ce travail consiste en la modélisation, la simulation dynamique et enfin la régulation d'une colonne d'absorption industrielle destinée à extraire le CO₂, du gaz naturel en utilisant une solution aqueuse de methydiéthanolamine (MDEA). Nous présentons d'abord le modèle mathématique estimant la concentration du CO₂ et comparons la réponse du modèle avec celle du système en réponse à une variation échelon sur l'entrée. Nous simulons la colonne d'absorption industrielle en boucle ouverte, puis nous étudions sa réponse à un échelon de perturbation en boucle fermée avec une régulation classique PID. Enfin, nous appliquons à notre colonne une stratégie de commande neuronale, à savoir la commande non linéaire prédictive neuronale. Les résultats obtenus pour les différentes simulations sont satisfaisants.

Index terms— colonne d'absorption; modélisation; methydiéthanolamine (MDEA); régulation pid; réseaux de neurones, commande non linéaire prédictive neuronale

1 Introduction

a colonne d'absorption est une unité de séparation physico-chimique largement utilisée en chimie et en biologie. Il s'agit en général d'un tube dans lequel on passe un ou plusieurs mélanges gazeux et qui permet de séparer un ou plusieurs composés du mélange principal. Elle est largement utilisée pour la séparation des gaz acides (CO₂, H₂S) du gaz naturel.

Le modèle de la colonne d'absorption industrielle présenté dans ce papier est un modèle dynamique qui consiste en un ensemble d'équations non linéaires aux dérivées partielles obtenu à partir de considérations sur les bilans de matière du CO₂ et du MDEA dans les phases gazeuse et liquide [1,2], il prend en compte le gradient thermique le long de la colonne d'absorption. Le bilan énergétique de la colonne industrielle est également posé.

Quelques études ont été publiées sur la modélisation et la commande de la colonne d'absorption. Crosby and Durbin [3] étudient les performances d'un régulateur d'état. Roffel [4] développe un régulateur sous optimal avec contraintes d'état. Darwish and Fantin [5] utilisent la commande décentralisée avec placement de pôles. Petrovsky [6] développe un régulateur PI multivariable. Najim [7,8] développe un régulateur auto-ajustable dans le cas de l'absorption du CO₂ par une solution de diéthanolamine. Il reprendra le problème par la suite avec une commande prédictive [9].

Peu d'études ont par contre été publiées concernant la modélisation et la simulation de l'absorption du CO₂ par une solution aqueuses de MDEA ou de MEA en milieu industriel [10][11][12]. Pour le modèle développé dans notre étude, il nous a semblé intéressant de considérer les réseaux de neurones pour la commande de la colonne car elle permet d'obtenir de bonnes performances pour des processus à dynamique complexe. Nous développerons en première étape une régulation PID pour comparer les performances des techniques de régulation classiques avec celles de la commande par réseaux de neurones.

2 II.

3 Modelisation et Simulation en Boucle Ouverte de la Colonne Industrielle

La colonne d'absorption présentée ici se situe à Khrechba et fait partie du projet In Salah Gaz, elle permet de prélever du CO₂ du gaz naturel en utilisant une solution aqueuse de methyldiéthanolamine (MDEA) comme liquide de lavage. Elle est du type colonne à garnissage mesurant 8 mètre de hauteur et 4 m de diamètre. Le garnissage disposé en vrac est du type anneaux de Pall et est destiné à améliorer la surface de contact entre phases. Pour une meilleure élimination du CO₂ du mélange gazeux, le liquide de lavage (eau+ MDEA) circule à contre courant du flux de gaz. La pression et la température de travail sont respectivement de 71.5 bar et 55°C [2].

Lors du contact entre phase liquide et gazeuse sur la surface des anneaux de Pall, le CO₂ passe de la phase gazeuse vers la phase liquide. Cette diffusion est accélérée par réaction chimique du CO₂ avec la MDEA dans la phase liquide. Le débit de MDEA et la concentration du CO₂ en sortie dans le gaz naturel sont respectivement sélectionnés comme variables de commande et de sortie.

4 Motsclés: colonned'absorption; modélisation; methyldiéthanolamine (MDEA); régulation pid; réseaux de neurones, commande non linéaire prédictive neuronale (nnpc). a) Equations Du Modèle

Dans le but de simplifier le modèle, nous avons adopté les hypothèses suivantes [2,13]:

Il n'y a pas de résistance en phase gazeuse Quantité de soluté à l'entrée z = quantité de soluté à la sortie ($z+dz$) + quantité de soluté transféré de la phase liquide à la phase gazeuse + accumulation. Ce qui donne :

(1) où G (m³/s) est le débit vol unique du gaz, le flux de CO₂ transféré de la phase gazeuse vers la phase liquide, S la section de la colonne et C_{Ag} (mol/m³) la concentration du CO₂ dans le gaz. Soit $U_G = G/S$ (m/s) la vitesse moyenne d'écoulement du gaz, on obtient alors :

(2) La réaction chimique entre le CO₂ et le MDEA est [10][11][12]:

(3) Où k est la constante de la vitesse de réaction [14, ??5]: (5) C_{AL} est la concentration du CO₂ dans la phase liquide et C_{BL} la concentration du MEA dans la phase liquide. Le bilan de matière pour le CO₂ dans la phase liquide donne finalement: (6) Ce qui signifie que la totalité du CO₂ transféré dans la phase liquide réagit avec le MDEA.

Le bilan de matière pour le MDEA dans la phase liquide donne : La procédure pour calculer le flux ? est donnée en [2] d'après [14] ??15][16].

En dernier lieu, nous considérons les conditions aux limites qui sont pour la phase gazeuse la concentration du CO₂ en bas de la colonne C_{Ag} et pour la phase liquide la concentration du MDEA en haut de la colonne C_{BL} . (10) La réaction au sein de la colonne industrielle induit un fort dégagement de chaleur et l'apparition d'un La vitesse de réaction r_A a la forme suivante [14, ??5]: $dz dt dC_S dz S C G C G Ag dz z Ag z Ag + + = + ?) (? dt dC dz dC U Ag Ag g ? = + ? ? + + ? + + 3 4 2 1 2 3 2 1 2 HCO NCH R R O H NCH R R C O ?? = 2,9610 5 \exp(? 5332 .8 ??)] [BL AL C kC = ? dz dt dC S dz S C k C L C L Bl Bl Al dz z Bl z Bl ? ? = +] () (dt dC dz dC U Bl Bl l = ? ? ? ? ? ? ? ? ? ? = ? ? ? ? ? ? = + ? ? t C z C U t C z C U BL BL L Ag Ag g ? ? ? ? ? ? = = = BL e h z BL Age z Ag C C C C 0 \textcircled{c} 2015 Global Journals Inc. (US) Global Journal of Researches in Engineering () Volum(4) BL AL A C C k r =$

gradient de température tout au long de la colonne ; la variation de température est d'environ 5°C entre l'entrée et la sortie de la colonne, ce qui nous amène à établir un bilan énergétique permettant de décrire l'évolution de la température et son effet sur les différentes concentrations le long de la colonne [16] : C_{ig} : la concentration en phase gazeuse à l'interface (mol/m³) C_{il} : la concentration en phase liquide à l'interface (mol/m³) cp_{ig} : Chaleur spécifique dans la phase gazeuse à l'interface (J/mol.K) $h_{g/l}$: coefficient de transfert de chaleur (convection)(J/m².K.s) T_l : température du liquide (K) T_g : température du gaz (K) \hat{H}_r : l'enthalpie de la réaction (J/mol) cp_{il} : la chaleur spécifique dans la phase liquide à l'interface (J/mol.K)

On prend finalement en compte les conditions aux limites pour la température qui sont les températures respectives du gaz et du liquide en entrée de la colonne.

(12)

5 b) Validation du modèle

Un test a pu être effectué sur notre colonne d'absorption industrielle pour comparer la concentration du CO₂ en sortie donnée par le modèle avec celle du système et ce pour une variation de l'entrée du type échelon de 10 t/h. Les données ont pu être recueillies sur un horizon de temps de 6800 secondes. Les résultats sont groupés dans la figure 2 où on représente respectivement, les débits de MDEA, de gaz et les concentrations du CO₂ en sortie de la colonne et celles données par le modèle [2].

96 On note que la dynamique des concentrations de CO₂ sortie de la colonne obtenue théoriquement agrée avec
97 les résultats expérimentaux.

98 6 c) Simulation en boucle ouverte de la colonne industrielle

99 En considérant les équations (??) et (??), le modèle dynamique de la colonne d'absorption est un système aux
100 paramètres répartis non linéaires. Les résultats de la simulation en boucle ouverte sont présentés en figures 3
101 et 4.

102 (Les résultats obtenus en simulation sont satisfaisants, le régulateur PID annule l'erreur en régime permanent
103 et assure une réponse rapide grâce à l'action dérivée. Le système présente en régulation un certain comportement
104 asymétrique dû à la forte non linéarité de la sortie par rapport à la commande choisie qui est le débit du liquide
105 de lavage.) [] ? ? ? ? ? ? ? ? ? ? = ? ? + ? ? ? ? ? = ? ? ? ? ? ? ? + ? ? ? ? ? t T T T a.h r Î?H C cp z
106 T U t T C cp T T a.h z T U l g l l g A r i i l l l L g i i g i g l l g g g 1 ? ? ? ? ? ? ? = ? ? = = ? ? = = =
107 = = 0 0 0 0 h z g le h z l z l g e z g z T , T T z T ,)
108 IV.

109 7 Commande par Reseaux de Neurones de la Colonne 110 D'absorption Industrielle

111 Les réseaux de neurones artificiels (RNA) sont des approximateurs universels de fonctions et permettent ainsi
112 d'approcher n'importe quelle fonction non linéaire. Cette propriété motive leur utilisation pour la réalisation de
113 commandes non linéaires par identification d'un modèle donné. . Nous envisageons dans notre étude un modèle
114 général pour la synthèse de la commande non linéaire prédictive neuronale (NNPC) [18]- [19].

115 8 Commande non linéaire prédictive neuronale (NNPC)

116 Nous prenons pour la commande NNPC une structure d'identification simple série-parallèle. Le réseau de
117 neurones est choisi en essayant de minimiser l'erreur de rétropropagation du gradient. Après plusieurs essais,
118 notre choix s'est arrêté sur un réseau à quatre entrées $u(k), u(k-1), y(k), y(k-1)$ et une seule couche cachée à 15
119 neurones. L'apprentissage de notre réseau critère de performance. Le critère J est minimisé en utilisant un
120 algorithme d'optimisation itératif en général l'algorithme BFGS qui est une méthode quasi Newton [18, ??2]. Le
121 schéma de la figure ?? A cause des erreurs de modélisation on a normalement une erreur en régime permanent.
122 Pour remédier à ce problème, on a introduit un régulateur PI sur lequel on commute dès que la sortie approche
123 le voisinage de la consigne (10%) (figure 13). Toutes fois la réponse du système présente un comportement
124 asymétrique pour les perturbations sur le débit gaz. $V. ? ? = = ? + ? ? ? + ? + + ? + = 2 1 1 2 2) 2 () 1 ()$
125 $() (N N j N j d u j t u j t u j t y j t y J ? [] T u N t u t u t U) 1 (\dots \dots \dots) () (? + ? ? = ?$

126 9 Conclusion

127 Les simulations montrent que nous obtenons des performances satisfaisantes avec les deux techniques de réglage
128 que ce soit pour les échelons de perturbation sur la concentration du CO₂ ou sur le débit de gaz. Il faut noter
129 que la régulation PID donne de meilleurs temps de réponse que la commande neuronale du fait de sa simplicité.

130 ^{1 2}

¹© 20 15 Global Journals Inc. (US)
²© 2015 Global Journals Inc. (US) Year 2015



78

Figure 1: (7) 8)



1

Figure 2: Figure 1 :

234

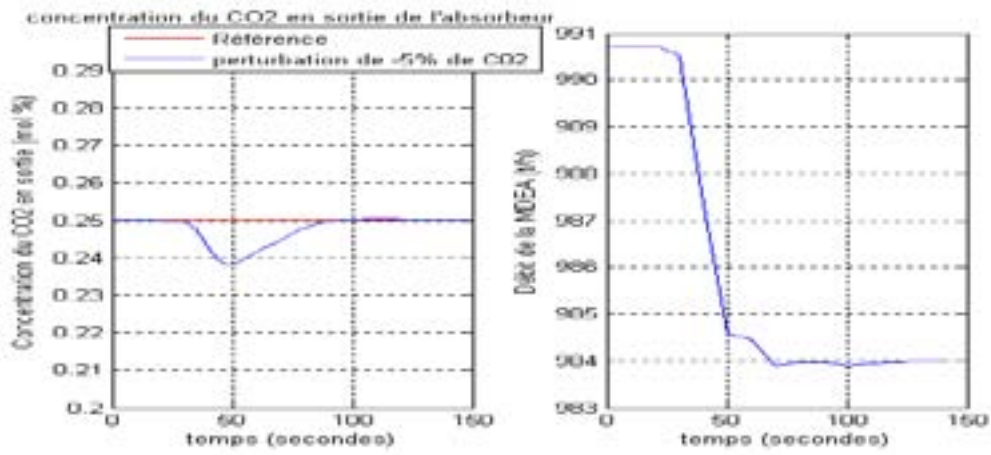


Figure 3: Figure 2 :Figure 3 :Figure 4 :

6

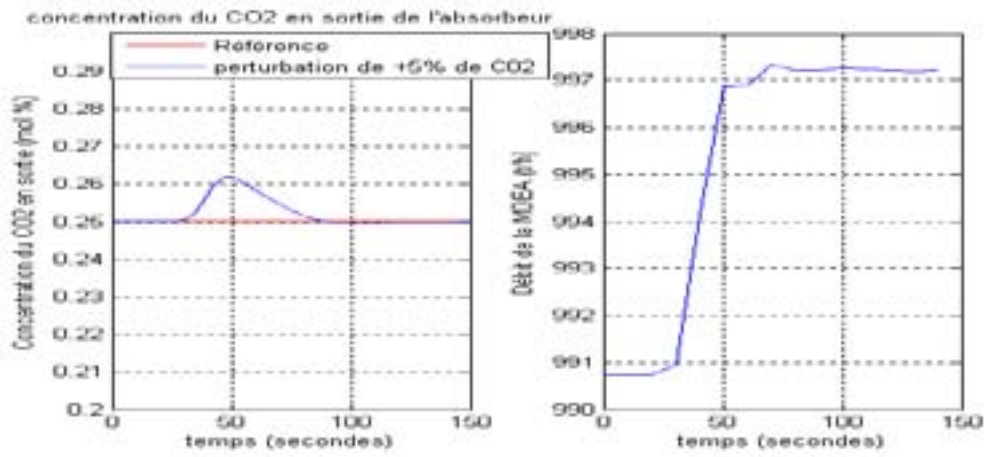


Figure 4: Figure 6 :

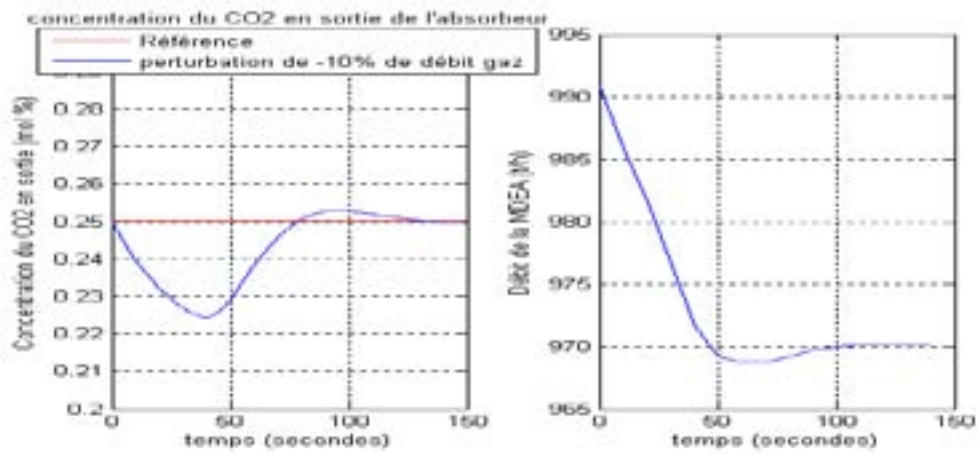


Figure 5:

58

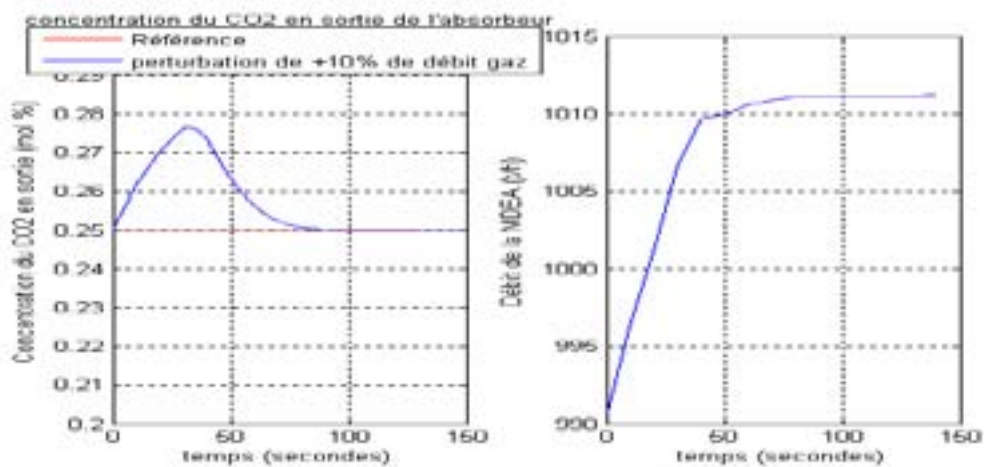
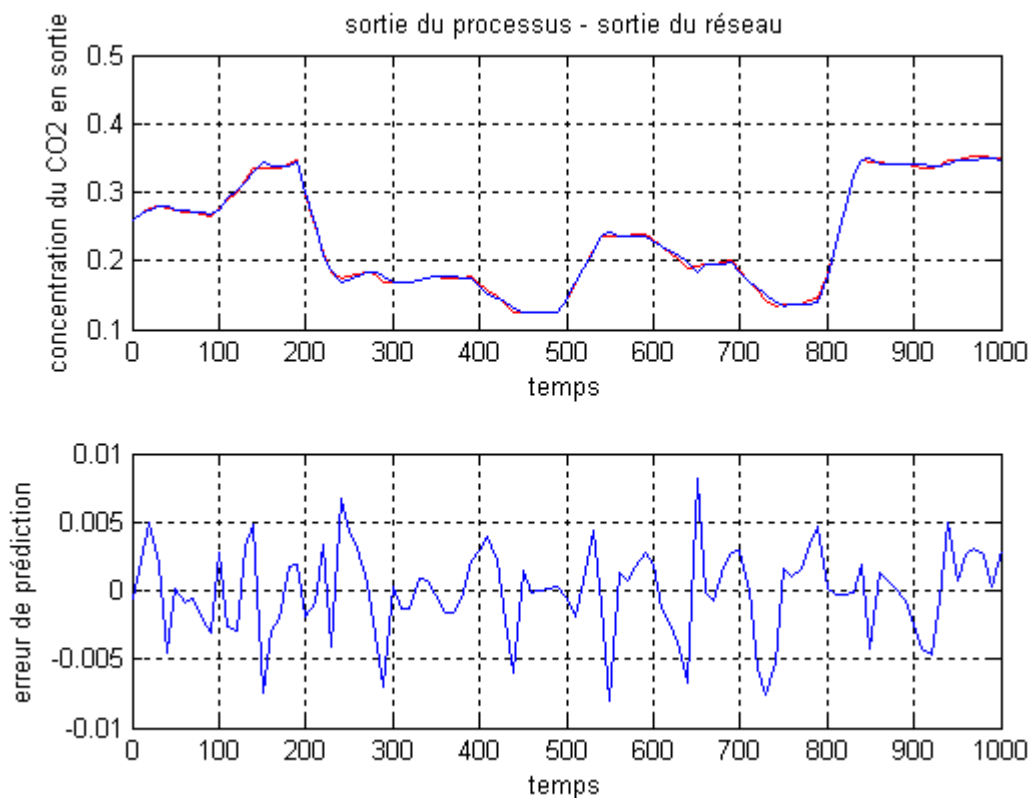


Figure 6: Figure 5 :Figure 8 :



910

Figure 7: Figure 9 :Figure 10 :

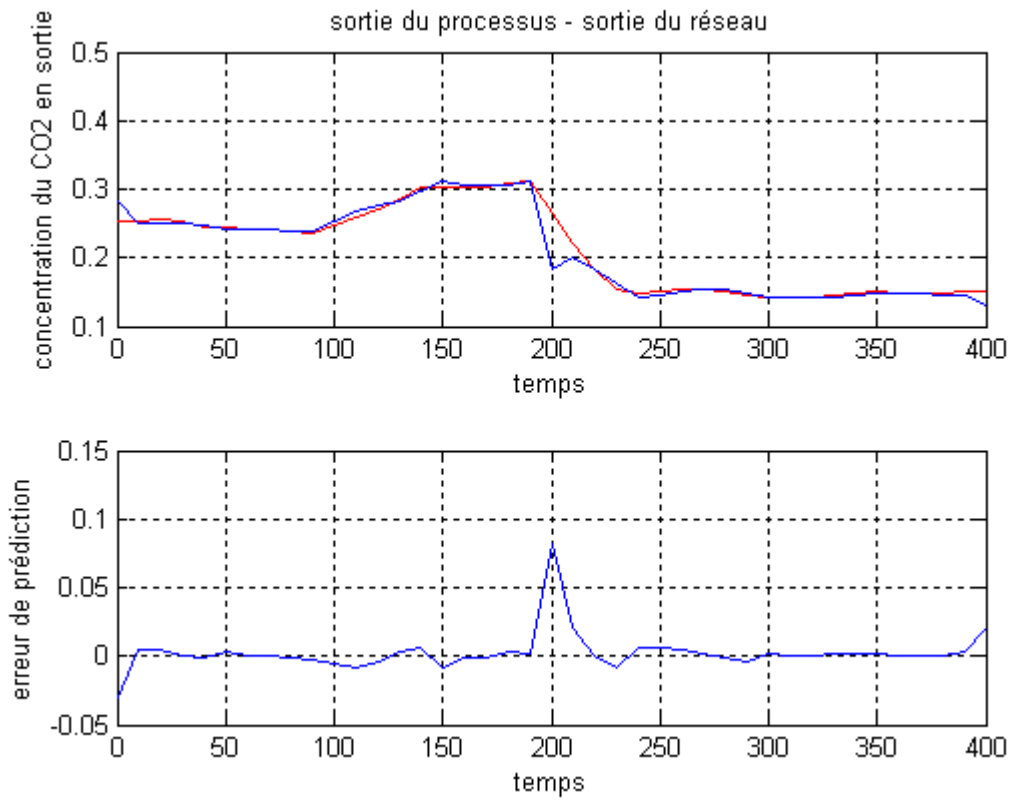
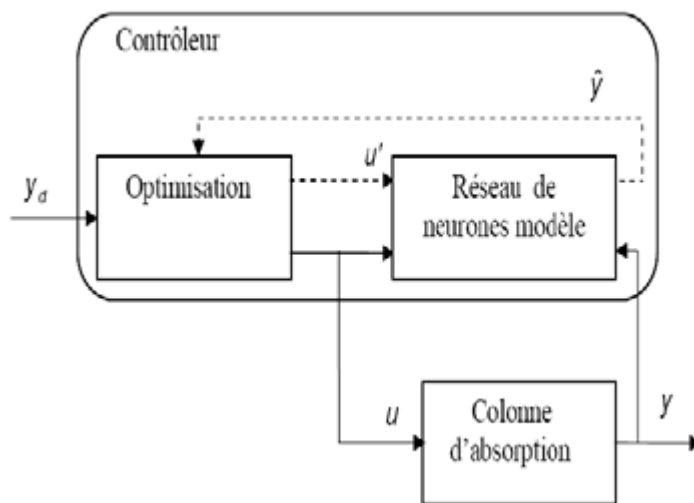
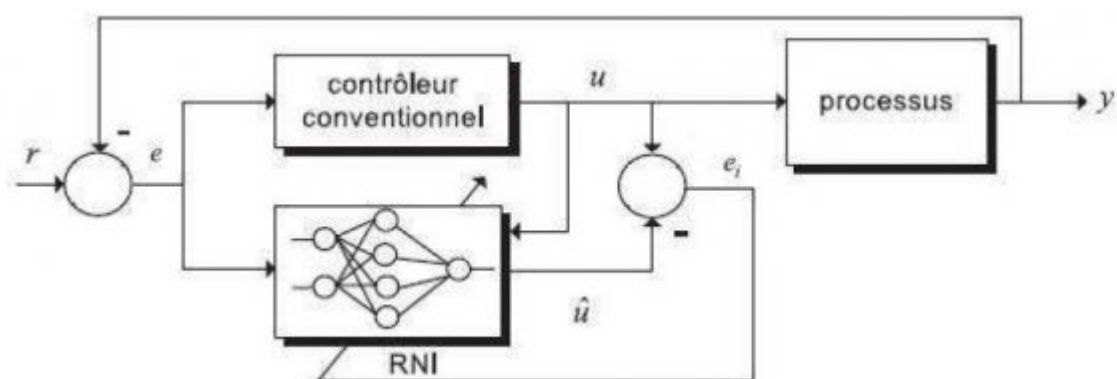


Figure 8:



12

Figure 9: Figure 12 :



711

Figure 10: Figure 7 :Figure 11 :

Figure 11: ?

					0.22				
					sortie systeme bruitée				
				[mol%]	0.2			sortie	
								modele	
				Cgs	0.18				
					0.16		0		100000
					erreur de prediction				
					0.01				
				erreur	-0.005 0 0.005				
				[mol%]					
					-0.01		0		100000
					temps [sec]				
					Year 2015				
					37				
					0.252				
					0.25				
	T	T			du CO2 en sortie (mole %)			0.242	
								0.244	
								0.246	
								0.248	
					Concentration			0.238 0.24	
					0.236				
					0.234		0		100 200
					temps (secondes)				
					0.27				
					0.268				
					Concentration du CO2 en sor-			0.254	
					tie (mole %)			0.256	
								0.258	
								0.26 0.262	
								0.264	
								0.266	
					0.252				
					0.25		0		100 200
					temps (secondes)				
debit	1000	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
MDEA	1020								
[ton/h]	1040								
					temps[sec]				
Gaz	415								
[ton/h]	420								
debit	410	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
					temps[sec]				
[mol%]	0.2								
Cgs									
	0.15	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
					temps[sec]				

© 20 15 Global Journals Inc.
(US)

Figure 12:

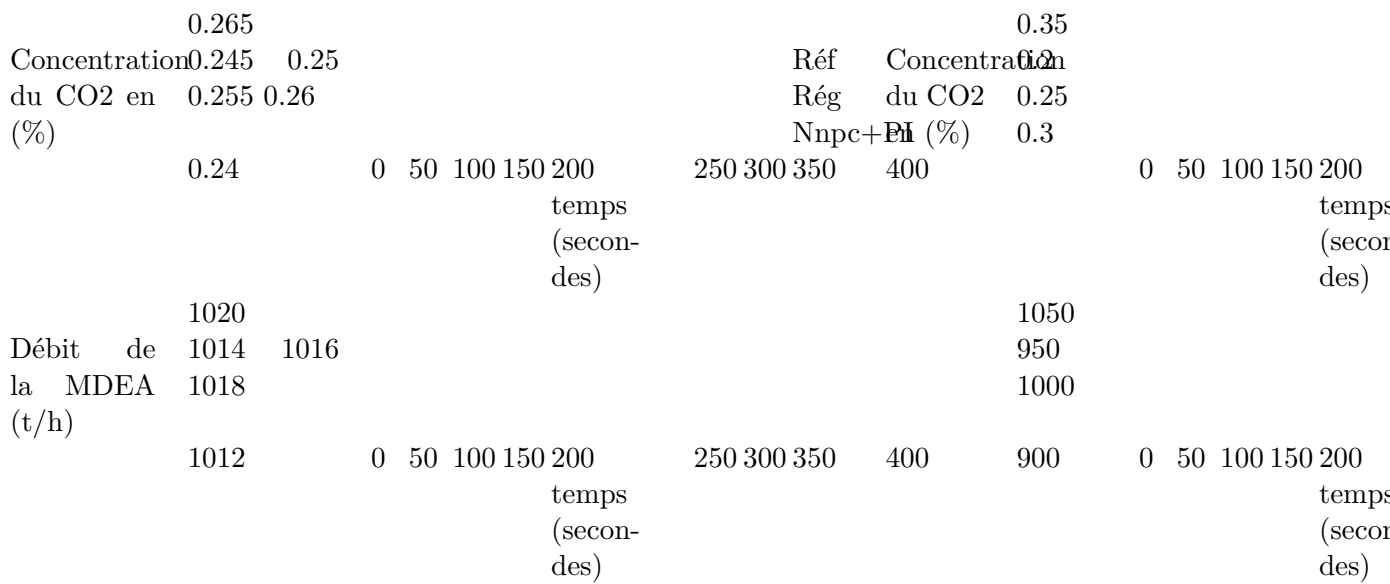


Figure 13:

-
- 131 [Mathematical Modelling Journal ()] , *Mathematical Modelling Journal* 1995. 19 p. .
- 132 [Petrovski ()] ‘A design scheme for multivariable output constrained PI regulators with applications to absorption
133 column’. D Petrovski . *Automatic Control Theory Applications*, 1980. 8 p. .
- 134 [Tontiwachwuthikul et al. ()] ‘CO₂ Absorption by NaOH, MEA and AMP solutions to packed columns’. P
135 Tontiwachwuthikul , A Meisen , C J Lim . *Chemical Engineering Science* 1992. 47 (2) p. .
- 136 [B ()] ‘Control of processes with a state variable inequality constraint’. B . *Automatica* 1976. 17 p. .
- 137 [Data Sheet ISG. CO₂ absorber.CO₂ control . Ain Salah Gaz 22. Matlab 6 ()] *Data Sheet ISG. CO₂
138 absorber.CO₂ control . Ain Salah Gaz 22. Matlab 6*, 2008. 7.
- 139 [Crosby and Durbin ()] ‘Design and application of state variable feedback controller for a packed trickle bed
140 column with carbon dioxide absorption’. J E Crosby , L D Durbin . *Joint Automatic Control Conference*,
141 (West Lafayette, IN, USA) 1976.
- 142 [Narendra and Parthasarathy ()] ‘Identification and Control of Dynamical Systems using Neural Networks’. K S
143 Narendra , K Parthasarathy . *IEEE Trans. Neural Networks* 1990. 1 (1) p. .
- 144 [Zidane and Zebiri ()] ‘Identification multimodèle et commande par logique floue d’une colonne d’absorption
145 industrielle. Projet de fin d’études’. I Zidane , H Zebiri . *ENP* 2010. Alger.
- 146 [Najim and Ruiz] ‘Long range predictive control of an absorption packed column’. K Najim , V Ruiz . *Applied
147 References Références Referencias*,
- 148 [Bedelbayev et al. ()] *Model based control of absorption tower for CO₂ capturing*, A Bedelbayev , T Greer , B
149 Lie . 2008. Porsgrunn, Norvège. p. 11. Telemark University College
- 150 [Najim ()] ‘Modelling and self-adjusting control of an absorption column’. K Najim . *International Newspaper of
151 Adaptive Control and Processing Signal*, 1991. 5 p. .
- 152 [Najim and Chtourou ()] ‘Multilevel learning control of an absorption column’. K Najim , M Chtourou . *Optimal
153 control applications & Methods* 1991. 12 p. .
- 154 [Idem et al. ()] ‘Pilot Plant Studies of the CO₂ Capture Performances of Aqueous MEA and Mixed MEA/MDEA
155 Solvents at the University of Regina CO₂ Capture Technology Development Plant and the Boundary Dam
156 CO₂ Capture Demonstration Plant’. R Idem , M Wilson , P Tontiwachwuthikul , A Chakma . *Ind. Eng.
157 Chem. Res* 2006. 45 p. .
- 158 [Deleye and Froment ()] ‘Rigorous simulation and design of columns for gas absorption and chemical reactions
159 packed columns’. L Deleye , G F Froment . *Comp. Chem. Eng* 1986. 10 p. .
- 160 [Herault and Jutien ()] *Réseaux de neurones et traitement du signal*, J Herault , C Jutien . 1994. Paris, Edition
161 Hermès.
- 162 [Seddari ()] ‘Simulation d’une colonne à garnissage d’absorption du CO₂ par une solution aqueuse de
163 monoéthanolamine à 25°C et 40 °C’. S Seddari . *ENP* 2004. Alger. (Thèse de Magister)
- 164 [Selatnia and Seddari ()] ‘Simulation of CO₂ absorption in aqueous solution of monoethanolamine (MEA) on a
165 pilot absorption column’. A Selatnia , S Seddari . *Distillation and absorption conference*, (London, England)
166 2006. IChemE.
- 167 [Pintola et al. ()] ‘Simulation of pilot plant and industrial CO₂ -MEA absorbers’. T Pintola , P Tontiwach-
168 wuthikul , A Meisen . *Gas separation and purification*, 1993. 7 p. .
- 169 [Darwish and Fantin ()] ‘Stabilization and control of absorber tower chemical process’. M Darwish , J Fantin .
170 *Third IFAC/IFIP/IFORS Conference on System Approach for Development*, (Rabat) 1980.
- 171 [Selatnia ()] ‘« Identification et commande par réseaux de neurones d’une colonne d’absorption’. M Selatnia .
172 *ENP* 2010. Alger. (Thèse de Magistère)
- 173 [Marc ()] «*Le perceptron Multicouche et Son Algorithme de Rétropropagation des Erreurs*, P Marc . 2004.
174 Université de Laval