



PRODUCTION ÉCOLOGIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ LE PLASMA NON THERMIQUE

CLEAN ENERGY TECHNOLOGIES

RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE MULTI-POLLUANTS



Contexte

Émissions associées à la combustion du charbon

La combustion du charbon dans les centrales électriques produit un certain nombre de polluants qui sont généralement considérés comme des substances dangereuses pour les humains, les animaux et l'environnement [1, 2, 3, 4]. Les polluants constituant d'importantes préoccupations à ce chapitre comprennent les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO₂), le mercure (Hg) et les matières particulaires (MP). De nombreux documents traitent des effets nocifs de ces substances et de plus, dans beaucoup de régions du monde, leurs émissions sont soumises à de multiples lois et règlements de plus en plus stricts.

Technologies actuelles de réduction des émissions de polluants

Les technologies actuelles comme celles basées sur l'utilisation de dépoussiéreurs à sacs filtrants, d'épurateurs par voie humide et de dépoussiéreurs électrostatiques, visent généralement à réduire les émissions d'un seul type de polluant. Pour réduire les émissions de multiples polluants à l'aide des technologies classiques, il faudrait installer différents dispositifs en série. Les coûts en capital et ceux d'exploitation associés à la réadaptation ou à la modernisation d'installations non conformes en ce domaine constituent un problème majeur pour les producteurs d'électricité et leurs clients.

Réduction des émissions de polluants au moyen du plasma non thermique

La technologie du plasma non thermique peut être utilisée pour réduire les émissions de multi-polluants, entre autres celles de SO₂, de NO_x et de Hg. La plupart des techniques au plasma en cours d'élaboration sont basées sur l'emploi de dispositifs comme des électrofiltres à tubes et d'un réactif à base d'ammoniac (NH₃) qui est injecté dans les gaz de combustion. Elles permettent d'obtenir une réduction supérieure à 90 % des émissions de SO₂, de NO_x et de Hg, mais leur utilisation requiert jusqu'à 3 % de la capacité de production électrique de la centrale [5].

Le réacteur PCRS (Plasma Corona Radical Shower ou



Installations de recherche du CTEC du complexe de Bells Corners (Ont.); l'emplacement de l'installation d'essai (bâtiment n° 7) est encerclé

plasma à flux de radicaux) constitue une technologie de pointe fondée sur une disposition différente de la chambre de réaction et une meilleure régulation de l'injection de NH₃. Le procédé comprend l'injection d'ammoniac dans la chambre de réaction au moyen d'électrodes creuses, ce qui permet d'obtenir des concentrations plus élevées de NH₃ dans la couronne de plasma.

Les résultats des essais initiaux du réacteur PCRS sont prometteurs, tant au chapitre de la performance accrue du plasma que de la diminution importante de la consommation électrique (< 1 % de la capacité de production) [5].

Notre objectif

Les chercheurs du CTEC visent à mettre au point le réacteur PCRS à l'échelle laboratoire afin d'obtenir un outil industriel robuste et rentable qui permet de réduire efficacement les émissions de SO₂, de NO_x et de Hg.

Nos efforts portent principalement sur l'obtention de

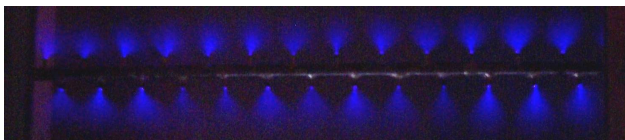
données pertinentes qui faciliteront la résolution de certains problèmes pratiques des utilisateurs industriels. Pour ce faire, nous avons construit sur mesure une installation d'essai pour simuler, dans des conditions approchant le plus celles d'une exploitation à l'échelle industrielle, un circuit de combustion du charbon ayant une capacité de production de gaz de combustion de 53 m³/h. Nos essais porteront sur les effets de divers paramètres sur l'efficacité de la technologie du réacteur PCRS, dont les suivants :

- Le nombre d'électrodes et leur emplacement
- Le profil d'excitation : CA, CC ou CA/CC –tensions superposées, fréquence, forme d'onde, tension de pointe
- Le type de réactif(s), leur concentration et la quantité utilisée
- Le débit, la pression, la température et le degré d'humidité des gaz de combustion
- La nature et la quantité de contaminants additionnels
- Le type de charbon

Installation d'essai au plasma non thermique du CTEC-Ottawa

Voici certains des constituants de l'installation :

- Dispositif d'alimentation en charbon pulvérisé par gravité
- Four de combustion du charbon d'une capacité thermique de 100 000 BTU/h
- Échangeurs thermiques à chemise d'eau
- Dépoussiéreur à sacs filtrants
- Réacteur PCRS (*Plasma Corona Radical Shower* ou plasma à flux de radicaux)
- Dépoussiéreur électrostatique à haute efficacité
- Ventilateur à tirage induit
- Système automatisé de commande d'allumage, de chauffage et de surveillance



Ci-dessus : production de la couronne de plasma, lors de la mise en service du réacteur PCRS (image ayant subi une rotation horaire de 90°). Ci-dessous : le réacteur PCRS, dans le bâtiment n° 7 du complexe (à l'avant-plan, le four à charbon).

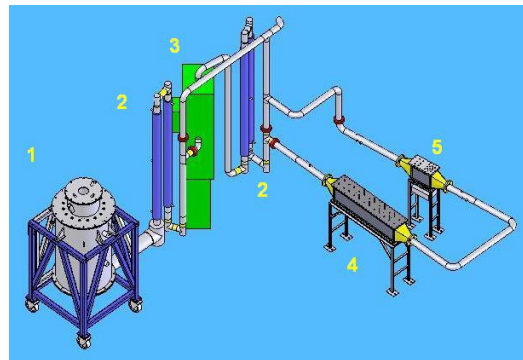


Schéma du système : 1) four à charbon 2) échangeurs thermiques, 3) dépoussiéreur à sacs filtrants 4) réacteur PCRS 5) dépoussiéreur électrostatique.

- Analyseurs de gaz et de matière particulaire

Trois dispositifs techniques exceptionnels constituent le cœur du système, soit le four à charbon pulvérisé conçu sur mesure, le réacteur PCRS et le dépoussiéreur électrostatique à haute efficacité.

Le four permet de mettre à l'essai des combustibles industriels à l'échelle laboratoire et offre une grande flexibilité en matière de fonctionnement et de réalisation d'expériences. Les dimensions de l'installation constituent un avantage certain : toute modification ultérieure pourra être exécutée à coût raisonnable, tout comme la mise à l'essai de composants modifiés ou entièrement nouveaux, en tandem avec les dispositifs existants ou de manière distincte.

La conception de la zone de production de plasma est polyvalente : on peut y mettre en place un grand nombre d'électrodes, disposées de diverses manières par rapport à l'orifice d'entrée, à celui de sortie, à la plaque de terre ou aux autres électrodes.

En aval du réacteur PCRS se trouve un dépoussiéreur électrostatique conçu sur mesure, à très haute efficacité d'élimination de particules, qui permettra de piéger efficacement les produits solides à base de sels d'ammonium issus de la réaction des polluants et de l'ammoniac, en présence du plasma. La configuration du dépoussiéreur électrostatique peut aussi être adaptée en fonction de la disposition des électrodes.

Portée des travaux

L'installation d'essai du réacteur PCRS servira surtout à étudier les effets de la variation des paramètres suivants :

- Les caractéristiques des combustibles
- Les paramètres de fonctionnement du four
- Les émissions mesurées (MP, SO₂, NO_x, Hg)
- La composition et les propriétés des gaz de combustion
- Les paramètres de fonctionnement du réacteur PCRS (concentration du ou des réactifs, valeurs et profils de tension, emplacement et disposition des électrodes, séquences d'agitation)

Dispositifs de réduction des émissions de polluants		ESP	PAC + ESP	SCR + ESP	SCR + ESP + FGD	SCR + PAC + ESP + FGD	PCRS + ESP
Charbon bitumineux de l'Est canadien, 165 MW_e (supérieur), 156 MW_e (inférieur)							
Coûts en capital	M\$US	10,4	12,45	24,5	68,5	70,1	33,9
Coûts annuels	M\$US/a	3,5	6,3	7,3	20,7	22,9	5,6
Consommation d'énergie	kW	663	684	1624	4994	5015	1588
Consommation d'énergie	% du PCS	0,40	0,41	0,98	3,02	3,04	0,96
Taux d'élimination des polluants							
MP _{2,5}	%	96,0	90,3	96,0	98,0	97,2	?
MP	%	99,2	97,8	99,2	99,95	99,9	99,9
NO _x	%	0	0	80	80	80	80
SO ₂	%	0	0	0	80-99	80-99	95
Hg	%	76	90	76	90	95	90
Lignite, 297,8 MW_e (supérieur), 271,8 MW_e (inférieur)							
Coûts en capital	M\$US	18,2	19,9	38,5	98,5	98,5	51,0
Coûts annuels	M\$US/a	6,3	8,6	12,1	30,9	33,2	9,4
Consommation d'énergie	kW	1049	1103	2917	9160	9214	2513
Consommation d'énergie	% du PCS	0,35	0,37	0,98	3,08	3,09	0,84
Taux d'élimination des polluants							
PM _{2,5}	%	96,0	86,3	96,0	98,0	93,2	?
PM	%	99,2	96,9	99,2	99,95	99,8	99,9
NO _x	%	0	0	80	80	80	80
SO ₂	%	0	0	0	80-99	80-99	95
Hg	%	53	83	53	63	90	90
Charbon subbitumineux de l'Ouest canadien, 410 MW_e (supérieur), 381 MW_e (inférieur)							
Coûts en capital	M\$US	25,5	27,5	59,8	119	119	65,7
Coûts annuels	M\$US/a	10,2	13,4	22,6	40,6	43,8	14,4
Consommation d'énergie	kW	1201	1270	3558	11 858	11 927	3658
Consommation d'énergie	% du PCS	0,29	0,31	0,87	2,89	2,91	0,89
Taux d'élimination des polluants							
PM _{2,5}	%	96,0	84,1	96,0	98,0	76,4	?
PM	%	99,2	96,3	99,2	99,95	99,3	99,9
NO _x	%	0	0	80	80	80	80
SO ₂	%	0	0	0	80-99	80-99	95
Hg	%	42	69	42	50	75	90

ESP = dépoussiéreur électrostatique, PAC = injection de charbon activé en poudre, SCR = réduction catalytique sélective, FGD = désulfuration des gaz de combustion, PCRS = plasma à flux de radicaux (*plasma corona radical shower*); les coûts en capital sont les coûts totaux encourus par le propriétaire et les coûts annuels comprennent les coûts d'exploitation et d'entretien, ainsi que les frais de financement.

Le tableau ci-dessus présente la comparaison de diverses configurations de dispositifs de réduction des émissions de polluants, dans trois installations canadiennes de services d'électricité. La combinaison du réacteur PCRS et de l'ESP constitue la technologie la plus rentable et celle qui permet la plus grande économie d'énergie, pour des taux comparables d'élimination des polluants présents dans les gaz de combustion. Il existe un bon accord entre les données relatives à l'exploitation et à l'entretien du tableau, une fois mises à l'échelle, et les résultats de la figure ci-dessous.

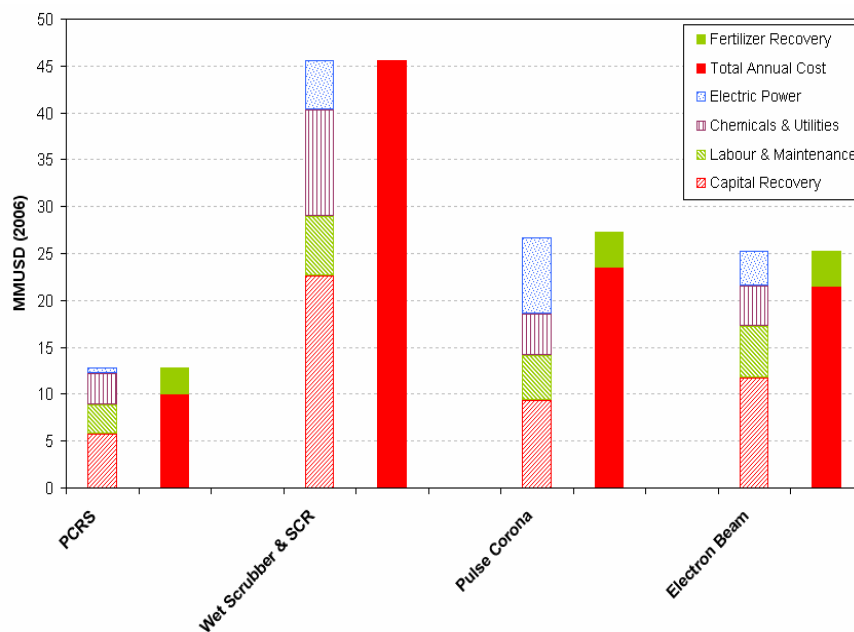
Dans le cadre du projet de recherche en cours, nous avons mis au point des électrodes plus performantes comportant des dispositifs de décharge en forme d'étoile. Les résultats préliminaires indiquent que plus de 98 % du SO₂ présent dans les gaz de combustion peut être éliminé.

Consortium de recherche sur le plasma non thermique

Les chercheurs du CTEC mettent actuellement sur pied un consortium de recherche avec des partenaires de l'industrie, des gouvernements et du milieu universitaire afin de garantir que la mise au point de la technologie entraîne des applications industrielles optimales et des retombées maximales en matière de protection de l'environnement. Les membres du consortium pourront contribuer à l'élaboration du protocole d'essai afin de s'assurer que des questions d'application particulières sont traitées et réglées. La mise en œuvre du consortium permettra ainsi aux membres de partager de vastes connaissances spécialisées de différents domaines et d'en tirer le meilleur avantage. Ils détiendront aussi tous les droits d'utilisation sous licence de la technologie.

Références

- [1] EPA. 2005. « Air trends: sulfur dioxide ». <http://www.epa.gov/air/airtrends/sulfur.html>
- [2] EPA. 2005. « Air trends: nitrogen dioxide ». <http://www.epa.gov/airtrends/nitrogen.html>
- [3] EPA. 1997. « Mercury study report to congress. Volume II: an inventory of anthropogenic mercury emissions in the United States ». <http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t3/reports/volume2.pdf>
- [4] EPA. 1997. « Mercury study report to congress. Volume V: health effects of mercury and mercury compounds ». <http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t3/reports/volume2.pdf>
- [5] Chang, J. et Kim, S.J. 1998. « SUENTP code simulations of scaleup and economic evaluation of non-thermal plasma technology for exhaust gas emission control of coal fired power plants ». *Comptes-rendus de l'ICESP VII, 25 au 28 septembre 1998, Kyongju (Corée).*



Coûts annuels associés à diverses technologies de réduction des émissions de multi-polluants, dans une centrale au charbon classique de 500 MW_e. La technologie à l'étude est celle du réacteur PCRS (Plasma corona radical shower ou plasma à flux de radicaux); les techniques de couronne de plasma à faisceau pulsé et de faisceau d'électrons constituent deux autres types de technologie au plasma non thermique.

Source : Chang et Kim [5], graphique adapté et valeurs converties en dollars de 2006.

Pour plus d'information, veuillez contacter :

Quan Zhuang
Chercheur scientifique
613-947-0977
qzhuang@nrcan.gc.ca

Centre de la technologie de CANMET – Ottawa
Ressources naturelles Canada
1, promenade Haanel
Ottawa (Ontario) K1A 1M1
Canada

cetc.nrcan.gc.ca