



McGill

AGR. AND ENV. SCIENCES

Bioresource Engineering

Enrichissement des serres en CO₂ à partir du chauffage au bois

Présenté par

**Dr. Mark Lefsrud, Francis Filion,
Julien Bouchard, Antony Glover, Quoc T. Nguyen**

*Agriculture, Pêcheries
et Alimentation*


Québec 

**CRAAQ – Forum recherche et innovation en
serriculture 2010**

9 Novembre 2011



APERÇU DE LA PRÉSENTATION

- Objectifs du projet
 - La combustion & la gazéification
 - Résultats
 - Procédé de purification des émissions
 - Conclusion
- 

BÉNÉFICES DE L'ENRICHISSEMENT EN CO₂



Photo: Louis-Martin Dion

Espèces	Concentration optimale de (CO ₂)	Concentration atmosphérique moyenne (CO ₂)
Tomate	1 000 ppm	390 ppm
Concombre	1 200 ppm	390 ppm
Poivron	1 000 ppm	390 ppm
Lettue	1000 - 1500 ppm	390 ppm
Rose	1000 - 1200 ppm	390 ppm

Source: Conseil des productions végétales du Québec, 1988

➤ Augmentation de rendement: 20 à 60%

Source: (Critten & Bailey, 2002; Jaffrin et al., 2003; Mortensen, 1987; Sánchez-Guerrero et al., 2009; Tisserat et al., 2008; Willits & Peet, 1989; Wittwer & Robb, 1964)

SOURCES D'ENRICHISSEMENT EN CO₂

➤ Sources

- Gaz naturel
- Propane
- CO₂ Liquide

➤ Alternatives

- Combustion de biomasse

Source: (Hicklenton, 1988; Jaffrin et al., 2003; Léveillée & Gendreau, 1998)

OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

- Campus Macdonald, Université McGill
 - M. Lefsrud, V. Orsat, P. Thomassin, D. Smith, L. Dion

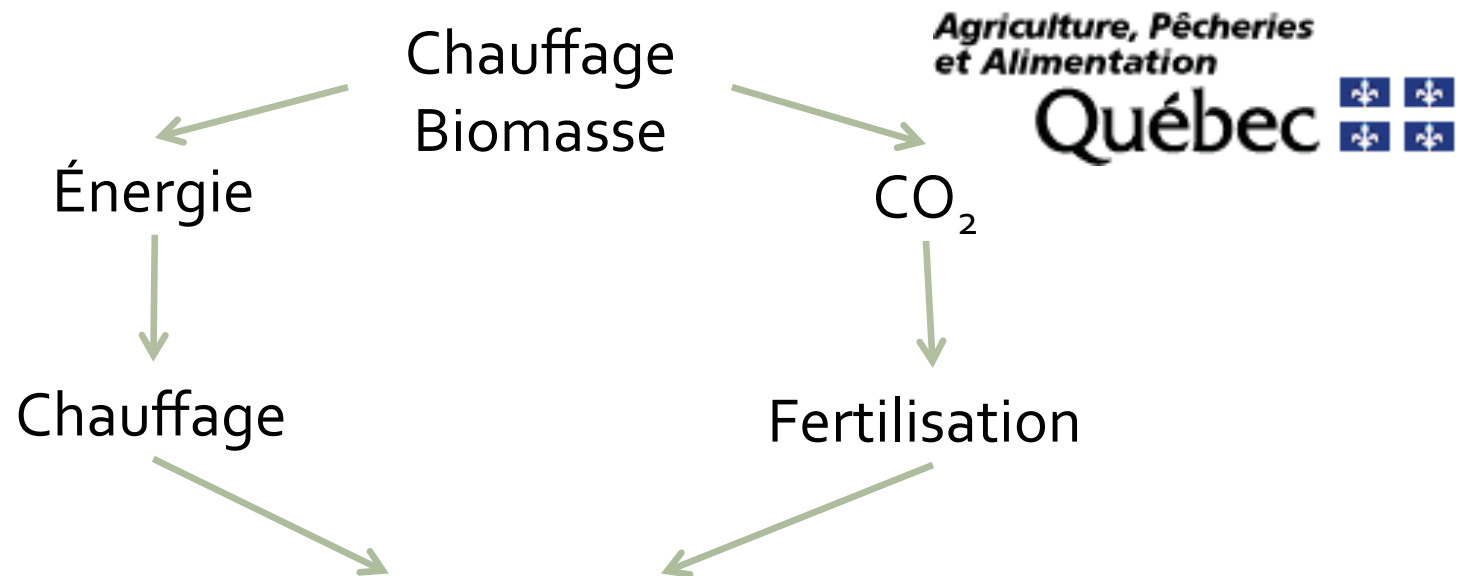
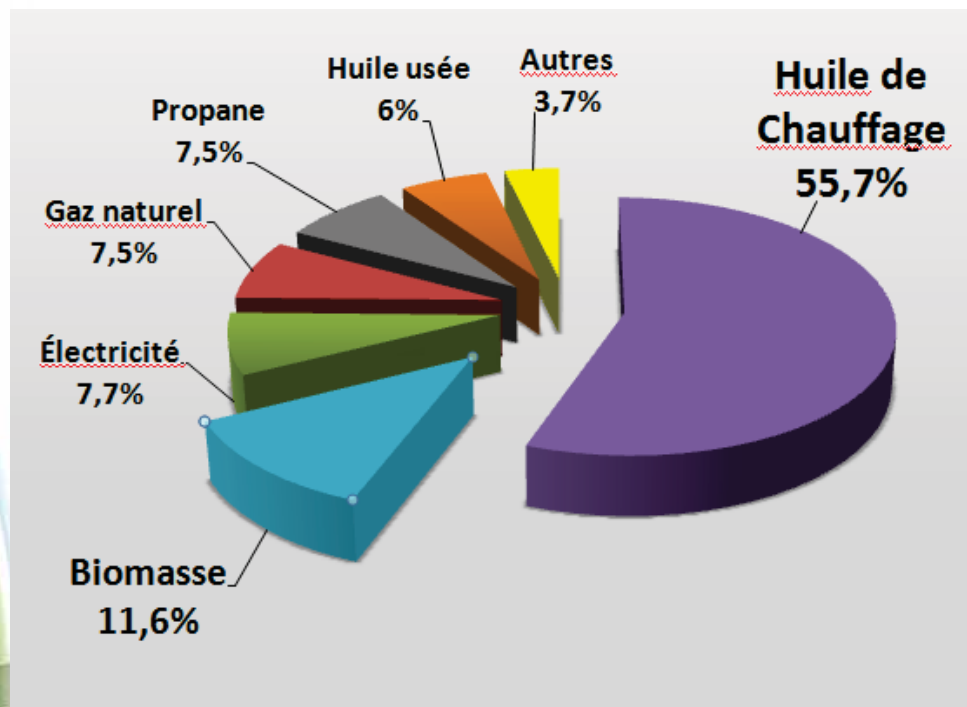


Photo: Louis-Martin Dion

MARCHÉ CIBLE: L'INDUSTRIE SERRICOLE

Pourquoi se concentrer sur le chauffage à la biomasse au Québec?

- Grande demande énergétique
- Potentiel de marché intéressant



Sources de chauffage des producteurs en serre québécois en 2007			
Huile de chauffage	448	55.7	%
Biomasse	96	11.9	%
Électricité	62	7.7	%
Gaz naturel	60	7.5	%
Propane	60	7.5	%
Huile usée	48	6	%
Autres	30	3.7	%

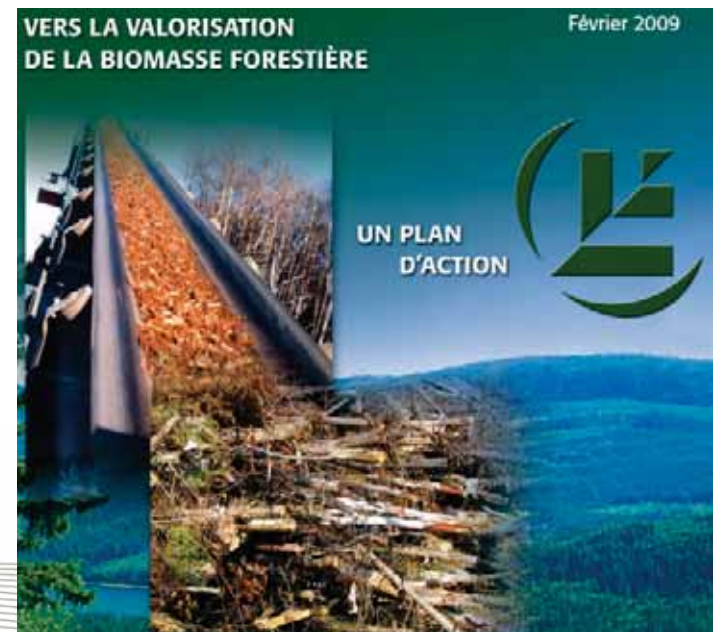
Source: SPSQ, 2007

VALORISATION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE

- Bureau de l'efficacité énergétique
 - Réduction de consommation de mazout lourd
- Source Renouvelable
- Carbone Neutre

*Agence de l'efficacité
énergétique*

Québec 



Source: Ministère des Ressources naturelles et de la Faunes du Québec

BIOMASSE

Type de biomasse

	Unités	Granules de Bois	Copeaux de Bois
Teneur en humidité	%	8-12	10-50
Densité en vrac	t/m ³	0,56-0,75	0,18-0,35
Valeur calorifique	GJ/t	17-18	10-11
Prix approximatif	\$ CAN/t	~130-200	~70



www.meec.ie



www.alternativeenergysource.org

ENERGEX

The Largest Wood Pellet Fuel Manufacturer in North America.



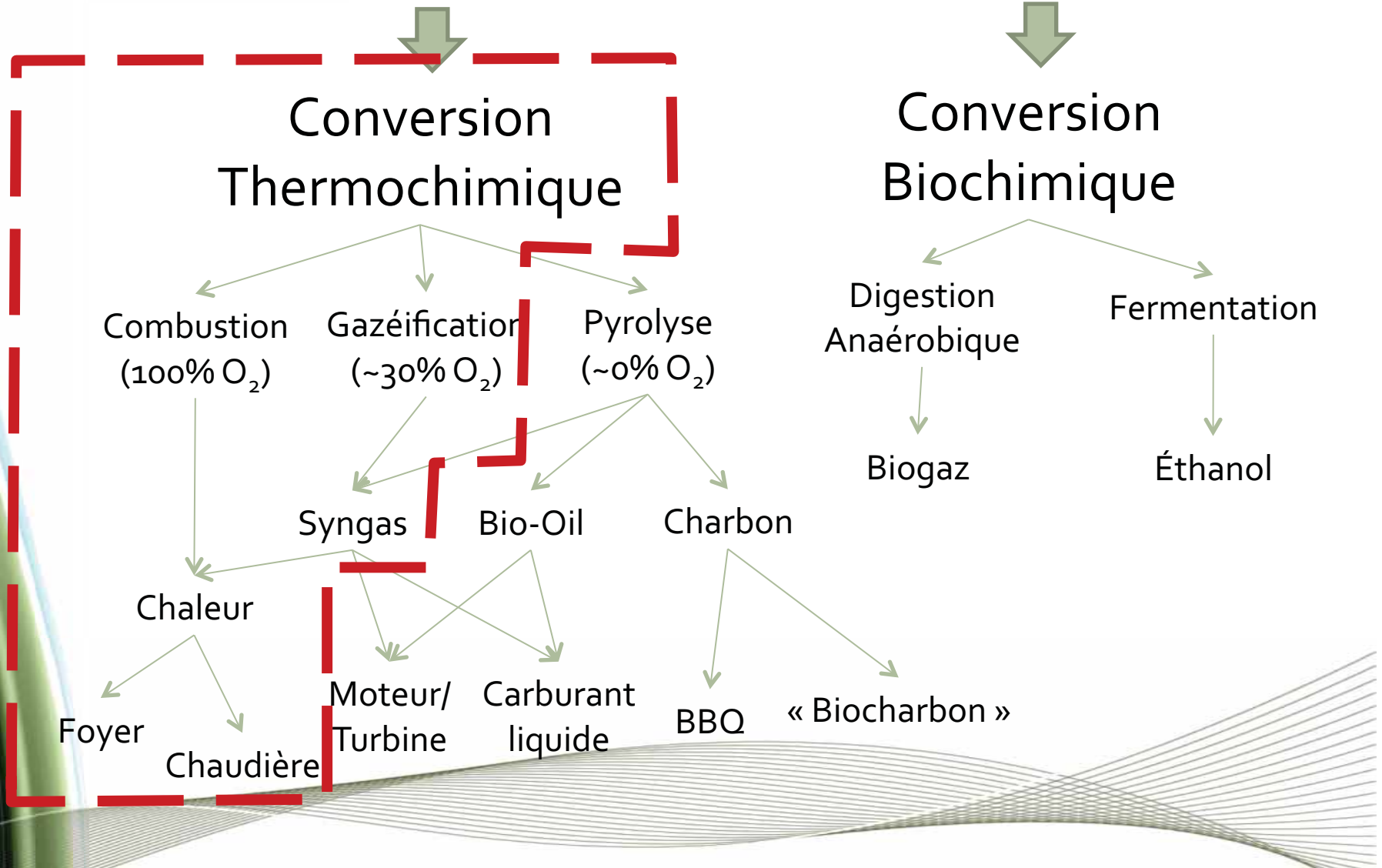
ÉMISSIONS

Émissions	Standards ASHRAE de qualité de l'air	Concentrations atmosphériques	Concentration visée dans la serre
Dioxyde de Carbone (CO ₂)	3500 ppm	390 ppm	1000 ppm
Monoxyde de Carbone (CO)	11 ppm	0.10 ppm	< 11 ppm
Dioxyde d'azote(NO ₂)	0.05 ppm	0,02 ppm	
Particules fines	40 µg/m ³		
Dioxyde de soufre (SO ₂)	0.019 ppm		
Composés organiques volatiles (COVs)	0.05 ppm		
Ethylene (C₂H₄)	0.05 ppm		

BIOMASSE

< 50% teneur en humidité

> 50% teneur en humidité



PROCESSUS THERMOCHIMIQUE

➤ Combustion vs Gazéification



Photo: Francis Filion



Photo: Louis-Martin Dion

PROCESSUS THERMOCHIMIQUE

➤ Gazéification vs Combustion

	Gazéification	Combustion
Efficacité net de conversion	↑	↓
Émissions de particules	↓	↑
Cendres	↑	↓

POTENTIEL D'ENRICHISSEMENT

➤ Théorique:

	Combustion directe Granules de bois	Gazéification & Combustion du Syngas
Consommation de granules	13,3 kg/hr	13,3 kg/hr
Puissance thermique	39 kW	23 kW
Production de CO₂	13,30 kg CO ₂ /hr	8,62 kg CO ₂ /hr
Surface à enrichir	2 379 m ²	1 540 m ²

Source: Louis-Martin Dion (2011)

POTENTIEL D'ENRICHISSEMENT

➤ Comparaison:

	Wood pellets (kg)		Natural Gas (m ³)	Propane (L)
	After combustion	After gasification	After combustion	After combustion
MJ / unit of fuel	18.10	10.69	37.89 ^a	25.53 ^a
g CO ₂ / unit of fuel	1729	1123	1891 ^a	1510 ^a
g CO ₂ /MJ	96	62	50	59

Source: Louis-Martin Dion (2011)

^a data provided by the Agence de l'efficacité énergétique du Québec (AÉE, 2009)

POTENTIEL D'ENRICHISSEMENT

- Moyenne des émissions:
 - Combustion du Syngas

Composés	Concentration moyenne	Limites d'émissions ASHRAE (2009)
Monoxyde de carbone (CO)	8,8 ppm	11 ppm
Oxydes d'azote (NO_x)	23,6 ppm	0,05 ppm
Dioxyde de soufre (SO₂)	négligeable	0,019 ppm
Éthylène (C₂H₄)	négligeable	-
Oxygène (O₂)	0,2%	-
Dioxyde de carbone (CO₂)	8,9%	3 500 ppm


Source: Louis-Martin Dion (2011)

COMBUSTION DIRECT DE BIOMASS





DÉFIS DE LA COMBUSTION DIRECTE

- Haute concentration de CO
 - Concentration de particules plus élevés
 - Solution: Purification des gaz d'échappement
 - Project de fin de Baccalauréat
- 

Fournaise: SBI PSG Caddy Alterna



- Fournaise à granules (combustion directe)
- 120 000 BTU

Serres du Marché du Campus Macdonald



Paramètres de la Serres	Dimensions
Hauteur	9.66'
Longueur	97'
Diamètre	18.5'
Volume	13 037 pi ³
Aire de la Surface de Polyéthylène	5 785.9 pi ²

RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

Émissions	Concentrations visée	Concentrations avant purifications des émissions
Dioxyde de Carbone (CO ₂)	1200 ppm	70 000 ppm
Monoxyde de Carbone (CO)	11 ppm	530-600 ppm
Oxydes d'azotes (No _x)	5 ppm	60 ppm
Particules fines	40 µg/m ³	Non déterminée
Oxyde d'azote (NO)	25 ppm	55 ppm



PROCÉDÉS DE PURIFICATION

Purifications des Polluants

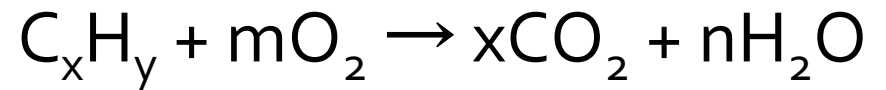
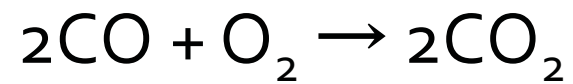
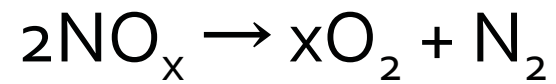
- Catalyseur
- Dilution
- Membrane Sélective

Purifications des Particules

- Wet Scrubber
- Précipitateur Électrostatique

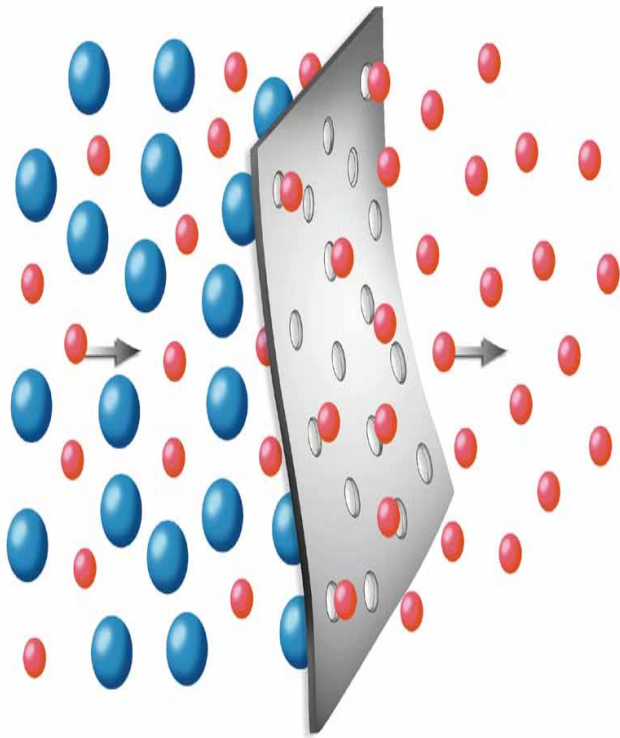
PROCÉDÉ DE PURIFICATION

Catalyseur



PROCÉDÉ DE PURIFICATION

Membrane Sélective



Dilution



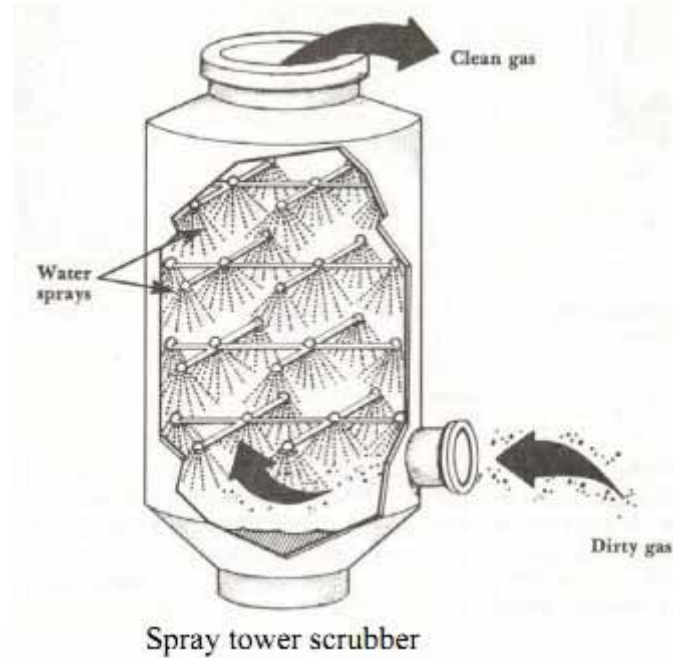
Photo: Francis Filion

Photo:

<http://www.ornl.gov/info/> http://www.ornl.gov/info/ornlreview/v38_1_05/article06.shtml

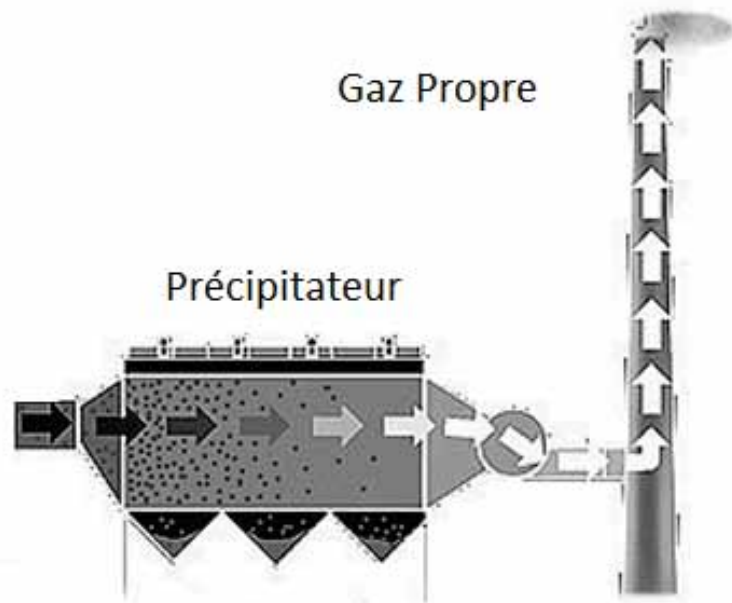
PROCÉDÉ DE PURIFICATION

Appareil de Dépoussiérages par Voie Humide (Water Scrubber)



PROCÉDÉ DE PURIFICATION

Précipitateurs Électrostatique



- Projet de 1 MW et plus
- Coût de fonctionnement en électricité plus élevés
- Maintenance très basse

•Photo : <http://www.neundorfer.com>



PROTOTYPE

- Catalyseur
- Dillution
- Membrane Polyéthylène



CONTRÔLE DES ÉMISSIONS: DÉFIES


- Méthodes de vérification très expérimentales
- Peu de Théorie et Calcul très approximative
- Efficacité des procédés inconnue avant expérimentation



Source: Maginnes & Green, 1978



CONCLUSION

- Avantages économiques et environnementaux
 - Prix de la Biomasse
 - Élimination d'une source extérieur de CO₂
 - Possibilité de commercialisation
- 

RÉFÉRENCES

- ASHRAE, 2009. 2009 ASHRAE handbook fundamentals, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- Chau, J., Sowlati, T., Sokhansanj, S., Preto, F., Melin, S., Bi, X., 2009a. Economic sensitivity of wood biomass utilization for greenhouse heating application. *Applied Energy*, 86, 616-621.
- Critten, D.L., Bailey, B.J., 2002. A review of greenhouse engineering developments during the 1990s. *Agricultural and Forest Meteorology*, 112, 1-22.
- De Nevers, N., 2000. Air pollution control engineering, Second Edition ed, McGraw-Hill, Boston.
- Graham, L.E., Graham, J.M., Wilcox, L.W., 2003. Plant Biology, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Hanan, J.J., 1998. Greenhouses - Advanced Technology for Protected Horticulture, CRC Press.
- Hicklenton, P.R., 1988. CO₂ Enrichment in the Greenhouse - Principles and Practices, Timber Press, Portland, Oregon.
- Jaffrin, A., Bentounes, N., Joan, A.M., Makhlof, S., 2003. Landfill Biogas for heating Greenhouses and providing Carbon Dioxide Supplement for Plant Growth. *Biosystems Engineering*, 86, 113-123.
- Léveillée, F., Gendreau, L., 1998. Évaluation de l'innocuité et du rendement technico-économique d'un générateur de CO₂ à maïs pour les serres. Centre d'information et de développement expérimental en serriculture (CIDES).
- Maginnes, E.A., Green, G.H., 1978. Greenhouse Heating with Exhaust Gases. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 87, 343-350.
- McKendry, P., 2002. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology*, 83, 47-54.
- Mortensen, L.M., 1987. Review: CO₂ enrichment in greenhouses. Crop responses. *Scientia Horticulturae*, 33, 1-25.
- Scholes, C.A., Kentish, S.E., Stevens, G.W., 2008. Carbon Dioxide Separation through Polymeric Membrane Systems for Flue Gas Applications. *Recent Patents on Chemical Engineering*, 1, 52-66.
- Van Loo, S., Koppejan, J., 2008. The handbook of biomass combustion and co-firing, Earthscan, London; Sterling, VA.

REMERCIEMENTS

- Dr. Mark Lefsrud, Department of Bioresource Engineering
- Louis Martin-Dion B.Eng., M.Sc.
- Dr. Valérie Orsat, Department of Bioresource Engineering
- Stove Builder International (SBI)
- Claude Paré, SBI
- Energex
- Wood Pellet Association of Canada
- M.A.P.A.Q.
- NSERC

ENERGEX



**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**

Québec



McGill

AGR. AND ENV. SCIENCES
Bioresource Engineering



MERCI!

QUESTIONS ?

Photo: Francis Filion