


## QUEBEC

### AUDIT QUALITATIF DU TRAITEMENT DES FUMÉES

### INCINERATEUR DE QUEBEC

## 591109- 0202 35 | 0001 RAPPORT D'EXPERTISE

Rev	date	Objet	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
A	31/10/2018	Première émission	ALe	PLC	CPa
B	04/12/2018	Mise à Jour de la conclusion	ALe <i>ALe</i>	MA P.O <i>ALe</i>	CPa 

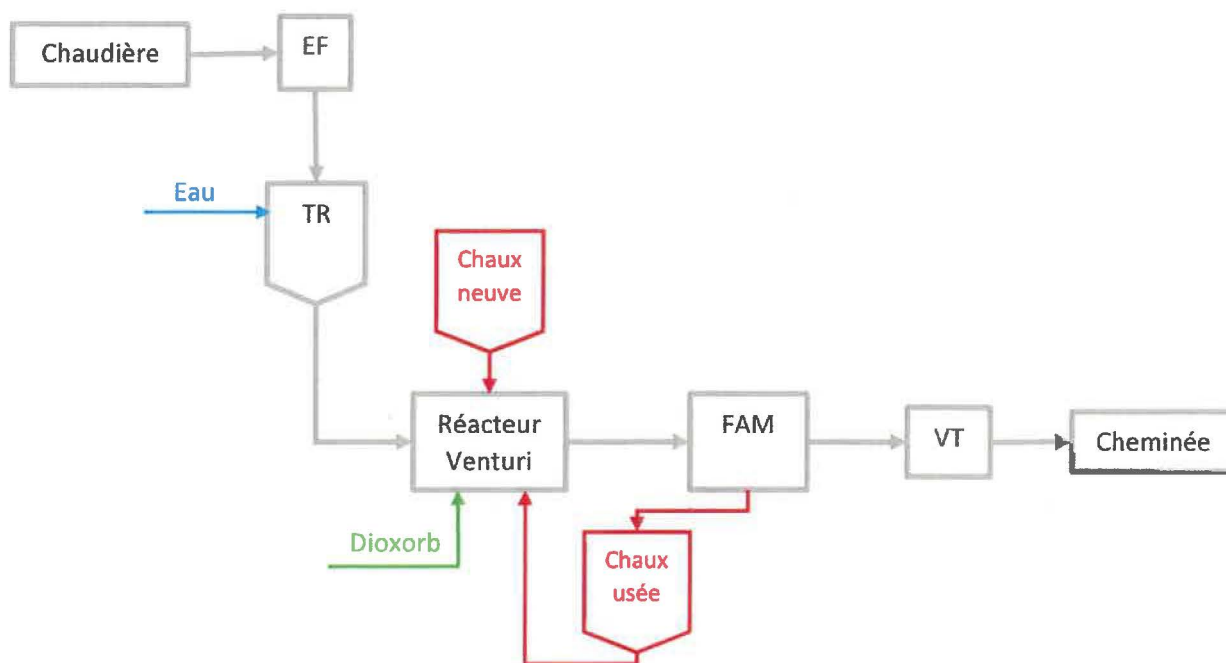
## Table des matières :

1. OBJET.....	3
2. DOCUMENTS EN REFERENCE.....	4
3. ETUDE DES EQUIPEMENTS EXISTANTS.....	5
3.1. Débit et composition des fumées sortie cheminée.....	5
3.2. Concentrations en polluants sortie cheminée et valeurs limites de rejet .....	6
3.3. Gaines.....	8
3.4. Electro filtre .....	9
3.5. Tour de refroidissement .....	10
3.6. Réacteur Venturi .....	11
3.7. Filtre à manches.....	12
3.8. Consommation de réactifs.....	13
3.8.1. Dioxyde.....	13
3.8.2. Chaux .....	13
4. ETUDE DES AMELIORATIONS ENVIRONNEMENTALES ET TECHNOLOGIQUES ..	14
4.1. Réduction de la concentration de CO par optimisation de la combustion .....	14
4.2. Optimisation de la consommation de réactifs .....	14
4.3. Optimisation technologiques et valorisation énergétique .....	15
4.3.1. Suppression de la tour de refroidissement .....	15
4.3.2. Remplacement du réacteur venturi par une LabMix .....	15
4.3.3. Remplacement du silo de chaux usée par un ActiLab .....	16
5. Conclusion.....	16

## 1. OBJET

L'installation de Québec est équipée de 4 lignes d'incinération de déchets ménagers. Les lignes sont identiques et comportent :

- Un électro-filtre (EF) en sortie de chaudière (230 – 245 °C),
- Une tour de refroidissement (TR) – (abaissement de la température à 155°C par évaporation d'eau),
- Un réacteur venturi dans lequel sont injectés puis mélangés les réactifs : dioxorb, chaux éteinte « neuve », chaux éteinte « usée » (provenant du filtre à manches),
- Un filtre à manches (FAM) permettant la réaction chimique entre les polluants et les réactifs ainsi que la captation des poussières fines,
- Un ventilateur de tirage (VT) et une cheminée.



L'exploitant de Québec souhaite un audit qualitatif de son installation afin d'obtenir l'avis technique de CNIM sur l'adéquation théorique des équipements du traitement de fumées actuellement en place, vis-à-vis de la composition des fumées à traiter et des performances à obtenir.

L'étude ci-après comporte de plus une partie proposant les améliorations techniques permettant de réduire la consommation d'électricité et de réactifs. Nous proposons également un upgrading de certains équipements afin d'améliorer les performances globales du process.

Aucune donnée en sortie de chaudière (composition des fumées, débits, températures, polluants) n'a été transmise.

Les données transmises concernant les fumées sont des analyses en cheminée.

## 2. DOCUMENTS EN REFERENCE

Le tableau ci-après liste les documents d'entrée de l'expertise. Ces documents ont été transmis par l'exploitant.

Référence	Numéro Document	Titre Document	Ligne(s) concernée(s)
1	17-4778_VQ	RapFinal sans annexe	1 – 2 – 3 – 4
2		Carbon data (datasheet Dioxorb)	1 – 2 – 3 – 4
3		CO concentration four 1a4 (janvier à aout 2018)	4
4		Descrip Equipements	1 – 2 – 3 – 4
5		Ecran de foxboro Ligne 4	4
6		HCL concentration four 1a4 (janvier à aout 2018)	4
7		Particules concentration four 1a4 (janvier à aout 2018)	4
8	SCPR 7501 P 0016 M	P.I.D CHAUDIERE #1 AIR - FUMEEES	1 – 2 – 3 – 4
9	SCPR 7501 P 0024 J	P.I.D ELECTROFILTRE ET TOUR DE REFROIDISSEMENT LIGNE #1	1 – 2 – 3 – 4
10	SCPR 7501 P 0028 H	P.I.D REACTEUR LIGNE #1	1 – 2 – 3 – 4
11	SCPR 7501 P 0037 G	P.I.D FILTRE A MANCHES LIGNE #1	1 – 2 – 3 – 4
12	RE_ QUÉ-013 (Mail)	Complément d'information sur conditions d'opération 29/10/2018	1 – 2 – 3 – 4

### 3. ETUDE DES EQUIPEMENTS EXISTANTS

#### 3.1. Débit et composition des fumées sortie cheminée

Le tableau ci-dessous est basé sur le rapport d'analyses effectuées par Consulair en 2017 [Référence 1] (échantillonnages des émissions atmosphériques aux sorties des 4 lignes : un au printemps, un à l'automne).

		Ligne 1		Ligne 2		Ligne 3		Ligne 4	
		Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne
Débit	Nm3/h sec	58 619	61 395	57 883	59 979	57 673	60 564	51 375	53 685
Débit	Nm3/sec 11%O2	54 516	62 623	56 725	53 981	62 287	63 592	59 081	56 906
Température	°C	153	151	149	145	150	150	147	144
Humidité	%vs *	19,2	20,5	21,1	19,6	23	22,4	23,6	22,2
O2	%vs *	11,7	10,8	11,2	12	10,2	10,5	9,5	10,4
CO2	%vs *	8,2	9,2	8,7	7,9	9,7	9,3	10,2	9,1

\* Pourcentage volumique sec

La capacité d'une ligne d'incinération d'ordures ménagères est en moyenne 9,4 t/h [Référence 1].

### 3.2. Concentrations en polluants sortie cheminée et valeurs limites de rejet

Le tableau ci-dessous se base sur le rapport d'analyses effectuées par Consulair en 2017 [Référence 1] (échantillonnages des émissions atmosphériques aux sorties des 4 lignes : un au printemps, un à l'automne). Aucune donnée n'a été transmise concernant les rejets d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et d'acide fluorhydrique (HF).

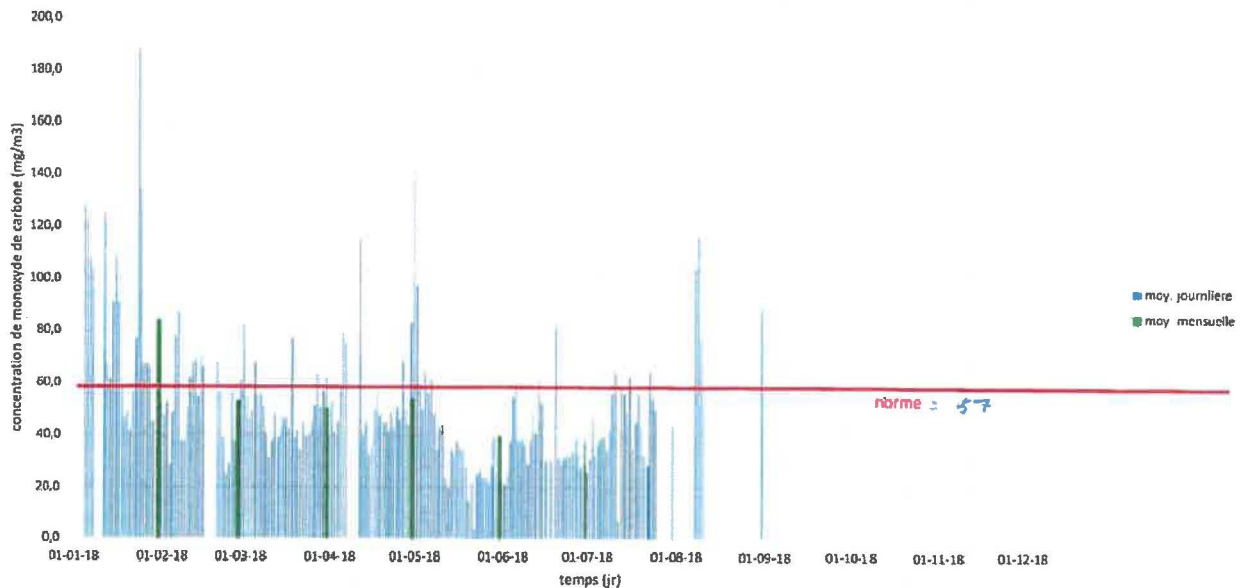
En rouge les valeurs supérieures aux valeurs limites.

		Valeur limite	Ligne 1		Ligne 2		Ligne 3		Ligne 4	
			Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne
Poussières	mg/Nm <sup>3</sup> *	20 (1)	0,58	0,49	0,79	1,2	0,28	0,41	0,41	0,68
HCl	mg/Nm <sup>3</sup> *	50 (1)	28	14	37	30	31	56	33	33
As	µm/Nm <sup>3</sup> *	1(2)	0,25	0,28	0,32	0,34	0,26	0,28	59	0,31
Cd	µm/Nm <sup>3</sup> *	100 (2)	0,2	0,14	0,22	0,17	0,15	0,15	0,18	0,15
Cr	µm/Nm <sup>3</sup> *	10 (2)	0,61	0,78	1,5	1,9	2,1	1	1,7	1,2
Ni	µm/Nm <sup>3</sup> *		0,75	0,64	1,9	5,2	0,53	0,86	0,58	1,7
Pb	µm/Nm <sup>3</sup> *	50 (2)	2,5	1,4	3,8	1,9	1,6	1,6	2	1,6
Hg	µm/Nm <sup>3</sup> *	20 (1)	0,39	1,9	0,67	2,3	0,96	0,86	8,2	27
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> *	150 (3)	38	32	35	32	16	39	12	23
Nox	mg/Nm <sup>3</sup> *	210 (2)	169	163	166	145	178	185	94	95
CO	mg/Nm <sup>3</sup> *	57 (1)	260	97	79	146	72	49	46	105
P <sub>2,5</sub> **	%		91	92	95	93	96	94	98	94

- \* Sec à 11% O<sub>2</sub>
- \*\* Particules < 2,5 µm
- (1) NORME Q-2, r.19 ARTICLE 130
- (2) TENEUR CCME
- (3) NORME RAA ARTICLE 104

Les valeurs en CO, HCl et poussières du tableau ci-dessus, sont corrélées aux valeurs fournies dans les documents [Référence 3], [Référence 6] et [Référence 7] donnant des valeurs moyennes sur les mois de janvier à août 2018.

Sur le graphique de CO (ci-dessous) venant de l'analyseur en continu [Référence 3], on observe de nombreux pics au-dessus de la valeur limite (57 mg/Nm<sup>3</sup>). Les pics atteignent 190 mg/Nm<sup>3</sup> et confortent les valeurs du tableau ci-dessus. **L'importante concentration de CO en cheminée provient d'une mauvaise gestion de la combustion (grille, répartition air primaire - air secondaire, boucles de régulation, ...).**



**Figure 1 - Moyenne journalière CO en cheminée ligne 4, Janvier à Aout 2018**

Outre la concentration en CO, le tableau démontre un bon fonctionnement global des installations. Les tableaux des moyennes mensuelles de janvier à août 2018 [Référence 6 et 7], confirment ces conclusions. Toutefois, la concentration en HCl reste relativement élevée par comparaison aux valeurs usuelles de performances de traitement de fumées de technologie similaire (<10 mg/Nm<sup>3</sup>).

Les valeurs en rouge – Ligne 4- As (arsenic) et Hg (mercure) semblent incohérentes (voir paragraphe 3.8.1).

### 3.3. Gains

L'ensemble des gains du circuit de traitement des fumées (de la sortie de chaudière à l'entrée de la cheminée) est de diamètre 1524 mm (pour les 4 lignes).

Les vitesses des fumées dans les gains doivent être supérieures à 14 m/s pour éviter le dépôt de particules mais rester inférieures à 24 m/s pour éviter l'abrasion.

Gaines Amont TR											
		Ligne 1		Ligne 2		Ligne 3		Ligne 4			
		Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne		
Température entrée	°C	230									
Diamètre	m	1,52									Conseillé
Débit fumées	m <sup>3</sup> /s	37,1	39,5	37,6	38,2	38,3	39,9	34,4	35,3		
vitesse	m/s	20,4	21,7	20,6	20,9	21,0	21,9	18,9	19,4	14 < v < 24	

Gaines Aval TR											
		Ligne 1		Ligne 2		Ligne 3		Ligne 4			
		Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne		
Température entrée	°C	155									
Diamètre	m	1,52									Conseillé
Débit fumées	m <sup>3</sup> /s	31,6	33,6	31,9	32,5	32,6	34,0	29,3	30,0		
vitesse	m/s	17,3	18,4	17,5	17,8	17,9	18,6	16,1	16,5	14 < v < 24	

### ***3.4. Electro filtre***

Chaque électrofiltre en place comporte 2 champs ce qui permet usuellement d'atteindre une performance de dépoussiérage d'environ 99,9% sur les particules de taille supérieures à 10 $\mu$ m et 99% sur les particules supérieures à 1 $\mu$ m.

La présence d'un filtre à manches en aval de cet électrofiltre permet d'obtenir de très bonnes performances de dépoussiérage.

Au vu des concentrations en particules et de la répartition granulométrique transmise dans le rapport d'analyse [Référence 1], pour les 4 lignes, l'électrofiltre existant semble tout à fait adapté et performant.

### 3.5. Tour de refroidissement

En gris, les valeurs calculées par CNIM.

REACTEUR											
		Ligne 1		Ligne 2		Ligne 3		Ligne 4			
		Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne		
Température entrée	°C	230 (*)									
Température sortie	°C	155 (*)									
Diamètre [4]	m	3,25									
Hauteur [4]	m	18,30									Design [4]
Débit fumées [1]	m <sup>3</sup> /s	34,36	36,58	34,75	35,33	35,48	36,97	31,85	32,68		
Vitesse	m/s	4,14	4,41	4,19	4,26	4,28	4,46	3,84	3,94		
Temps de séjour	s	4,42	4,15	4,37	4,30	4,28	4,11	4,77	4,64	6	
Débit eau estimé	kg/h	2590	2680	2550	2600	2585	2680	2310	2370		
	m <sup>3</sup> /h	2,6	2,7	2,6	2,6	2,6	2,7	2,3	2,4	6	
Débit air estimé	m <sup>3</sup> /h	3,1	3,2	3,1	3,1	3,1	3,2	2,8	2,8	7,2	

[1] Valeurs issues du document référence 1.

[4] Valeurs issues du document référence 4.

(\*) Les température d'entrée et de sortie ont été transmises par mail [Référence 12].

### **Température de consigne sortie de tour de refroidissement :**

La température consigne de 155°C en sortie de tour de refroidissement (identique pour les 4 lignes [Référence 12]) implique une température de réaction au filtre à manches de 150 à 155°C. Cette température n'est pas optimale pour la réaction. **Nous conseillons donc d'abaisser la température de consigne à 145°C en sortie de la tour de refroidissement.** L'augmentation de la consommation d'eau serait alors de 15% environs ce qui, au vue du tableau ci-dessus, ne pose pas de problème. Le gain de consommation de chaux neuve est estimée à environ 22%.

### **Temps de séjour :**

Le temps de séjour dans la tour est plus faible que celui annoncé dans le design. Ce qui peut s'expliquer notamment par un débit de fumées plus important que celui du design. Toutefois, un temps de séjour supérieur à 4s assure une bonne évaporation.

### **Entrées d'air dans le circuit :**

Si la valeur consigne de 155°C en sortie de tour est respectée, pour les lignes 2 et 4 les températures en cheminée sont anormalement faibles (voir tableau paragraphe 3.1). **Ce qui indique plusieurs entrées d'air parasite entre la tour de refroidissement et la cheminée.**

Les vues d'écran de la **ligne 4** [Référence 5] indiquent une température de sortie de chaudière de 245°C, une température de sortie de tour de 155° et une température en sortie de venturi de 148°C. Cette chute de 7°C dans le réacteur venturi est anormale. Il est probable qu'une grande partie des entrées d'air se situe au niveau de cet équipement. Ces entrées d'air créent une augmentation du débit de fumées et des pertes de charges en ligne, ce qui augmente la consommation électrique du ventilateur de tirage.

## ***3.6. Réacteur Venturi***

Le réacteur venturi permet le mélange des réactifs dans les fumées: dioxorb, chaux neuve et chaux usée. D'autres systèmes sont actuellement préférés à celui-ci (tel que la LabMix™, voir paragraphe 4.3.2), notamment à cause des risques de bouchage de la sortie. Suite aux échanges de mail [Référence 12], il nous a été indiqué qu'aucun problème de ce type n'a été enregistré.

Néanmoins, une modélisation aux volumes finis du réacteur venturi, permettrait de s'assurer de l'efficacité du mélange et de la bonne distribution aéraulique des gaz. Une mauvaise répartition des réactifs dans les fumées en entrée du filtre à manche réduit l'efficacité de la captation des polluants et augmente la consommation de réactif.

### 3.7. Filtre à manches

		FAM								
		Ligne 1		Ligne 2		Ligne 3		Ligne 4		
		Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne	
Température (cheminée) [1]	°C	153	151	149	145	150	150	147	144	
Surface filtrante [4]	m <sup>2</sup>	3 324								
Débit fumées [1]	m <sup>3</sup> /s	31,45	33,32	31,50	31,73	32,24	33,59	28,74	29,28	Conseillé
vitesse de filtration	m/min	0,57	0,60	0,57	0,57	0,58	0,61	0,52	0,53	0,8
vitesse de filtration N-2 compartiments	m/min	0,85	0,90	0,85	0,86	0,87	0,91	0,78	0,79	1

[1] Valeurs issues du document référence 1. La température dans le filtre à manches est supposé identique à celle en cheminée.

[4] Valeurs issues du document référence 4.

Chaque filtre à manches comporte 6 compartiments identiques. La surface filtrante est suffisante pour assurer une bonne réaction chimique, y compris avec 2 compartiments fermés.

#### Différentiel de pression de décolmatage :

Le différentiel de pression consigne de décolmatage des manches n'est pas connue. Le réglage de cette dernière permet d'optimiser la réaction chimique et donc la consommation de chaux.

La pression de l'air de décolmatage (4 bar) est adaptée [Référence 12]. Toutefois, un décolmatage efficace est également lié au temps d'ouverture des électrovannes (non connu).

### 3.8. Consommation de réactifs

#### 3.8.1. Dioxorb

Le ratio de dioxorb injecté par tonne d'ordure brûlé est d'environ 0,7 à 0,8 kg/T<sub>OM</sub>. Ce ratio est élevé et permet une très bonne captation du mercure (voir paragraph 3.2).

**Nota :** ce ratio élevé laisse penser que les valeurs en rouge – Ligne 4- As (arsenic) et Hg (mercure) sont erronées.

#### 3.8.2. Chaux

Les vues d'écran transmises [Référence 5] indiquent un ratio débit de chaux usée sur débit de chaux neuve de 35. Ce ratio est cohérent pour une réactivation de la chaux avec temporisation. La durée de réactivation (dépendante du volume du silo) est actuellement 5h. Nous préconisons 16 à 18h de réactivation pour une efficacité optimale.

Sans valeur de polluants en sortie de chaudière, il n'est pas possible de calculer un ratio stœchiométrique et donc de statuer sur l'efficacité de la réaction. Toutefois, la valeur indiquée sur la vue d'écran de la ligne 4 (20 kg/h) semble anormalement basse comparativement au débit de fumées traité et comparativement à la valeur transmise par mail de consommation moyenne annuelle (900 tonnes / ligne soit 112,5 kg/h) [Référence 12]. De plus les valeurs indiquées sur ces mêmes vues d'écran de SO<sub>2</sub> et HCl (respectivement 0,4 et -0,3) sont incohérentes avec l'analyse transmise [Référence 1].

**Pour étudier le ratio stœchiométrique, une analyse des résidus sous filtre à manches doit être réalisée.**

## **4. ETUDE DES AMELIORATIONS ENVIRONNEMENTALES ET TECHNOLOGIQUES**

Les équipements actuellement en place sont adaptés aux compositions des fumées et permettent de respecter les valeurs limites de rejet de polluants en cheminée (voir normes Q-2 r.19, RAA et CCME) excepté pour le CO.

Il est possible d'apporter des modifications afin de :

- Réduire la concentration de CO,
- Optimiser la consommation de réactifs,
- Améliorer la valorisation énergétique.

Pour l'ensemble des points suivants, CNIM E&E CS se propose d'établir une offre technico-commerciale afin d'assister Alphard dans le processus d'amélioration des performances de ses installations.

### ***4.1. Réduction de la concentration de CO par optimisation de la combustion***

Comme indiqué en paragraphe 3.2, la concentration actuelle de CO en sortie de chaudière (et donc en cheminée) est supérieure à la valeur limite indiquée dans la norme Q-2, r.19 (article 130). Afin de réduire cette dernière, il serait nécessaire de réaliser un audit complet de la combustion.

Pour réaliser cet audit, CNIM E&E CS doit connaître plusieurs paramètres tel que :

- Les concentrations d'O<sub>2</sub> et de CO<sub>2</sub>,
- Les débits et pressions d'air primaire et secondaire
- Les températures de combustion
- Les diagrammes de grilles
- Les boucles de régulation

Enfin, combiné à, une modélisation aéraulique aux volumes finis de la chaudière (à plusieurs cas de charge), cette étude permettrait une réduction optimale de la production de CO, ainsi qu'une optimisation des champs de températures et vitesses des gaz.

### ***4.2. Optimisation de la consommation de réactifs***

Au vue de l'analyse des données de fonctionnement, la consommation de réactifs pourrait être optimisée en agissant sur 3 paramètres :

- 1) Diminution de la température de sortie de la tour de refroidissement à 145°C (voir paragraphe 3.5),
- 2) Gestion de la consigne de différentiel de pression de décolmatage du filtre à manches (voir paragraphe 3.7),
- 3) Contrôle du temps de réactivation de la chaux usée (voir paragraphe 3.8.2).

Il est aussi nécessaire d'évaluer la répartition des particules dans les fumées ainsi que le mélange des réactifs dans le réacteur venturi. Pour cela, il est nécessaire de connaître les diamètres des gaines, la granulométrie des poussières et réaliser une modélisation aux éléments finis de l'électrofiltre, de la tour de refroidissement, du réacteur venturi et du filtre à manches.

Afin de connaître le ratio stoechiométrique actuel et de pouvoir statuer sur l'intérêt économique d'une telle étude (décolmatage, réactivation de la chaux, modélisation des équipements et des gaines), il est nécessaire de réaliser préalablement une analyse des résidus sous filtre à manches.

### **4.3. Optimisation technologiques et valorisation énergétique**

Il existe des modifications importantes réalisables sur le procédé actuel afin d'améliorer la valorisation énergétique et de réduire la consommation de réactif. Une analyse technico-économique doit être menée pour déterminer la rentabilité de ses modifications au regard des coûts d'investissement et d'exploitation (retour sur investissement).

#### **4.3.1. Suppression de la tour de refroidissement**

Dans les procédés neufs de traitement de fumées similaires à celui en place, nous remplaçons la tour de refroidissement par un échangeur fumées / eau. Cette modification permettrait :

- Une valorisation énergétique évaluée à 1,7 MWh (Ex : réchauffage du condensat ou circuit air primaire),
- Une diminution du débit de fumées et donc des pertes de charges en ligne (et donc de la puissance consommée au ventilateur de tirage),
- De ne plus utiliser d'eau brute pour le refroidissement des fumées.

L'étude de cette modification dépend donc de :

- L'existence d'une source froide,
- La provenance de l'eau de refroidissement de la tour (évaporation d'eau usée ?).

#### **4.3.2. Remplacement du réacteur venturi par une LabMix**

La LabMix™ est une technologie brevetée par LAB (groupe CNIM) permettant un mélange des réactifs dans une gaine droite à l'aide d'un mélangeur statique. Cette technologie permet une optimisation du mélange réactifs-fumées mais aussi de réduire la perte de charge globale de la ligne (et donc de la puissance consommée au ventilateur de tirage).

### 4.3.3. Remplacement du silo de chaux usée par un ActiLab

La double vis ActiLab™ est une technologie brevetée par LAB (groupe CNIM) permettant la réactivation de la chaux contenue dans les résidus du filtre à manches à l'aide de vapeur d'eau. L'efficacité de la réactivation est supérieure à celle réalisée par une réactivation naturelle. On obtient donc, avec cette technologie, un meilleur ratio stœchiométrique et donc une consommation de réactifs moindre.

La suppression du silo de chaux usée par une double vis permettrait également de libérer de l'espace dans l'usine.

## 5. Conclusion

D'après l'étude théorique ci-dessus, le système de traitement des fumées de l'incinérateur de la Ville de Québec est composé de tous les éléments techniques (équipements et instruments) qui permettent de rencontrer les normes environnementales en vigueur à ce jour (normes Q-2 r.19, RAA et CCME).

La conformité de la conduite ainsi que de la maintenance des installations relève des responsables d'exploitation. Nous attirons notamment l'attention sur la gestion de la combustion, qui nécessite d'être amélioré afin de réduire les émissions de CO.