

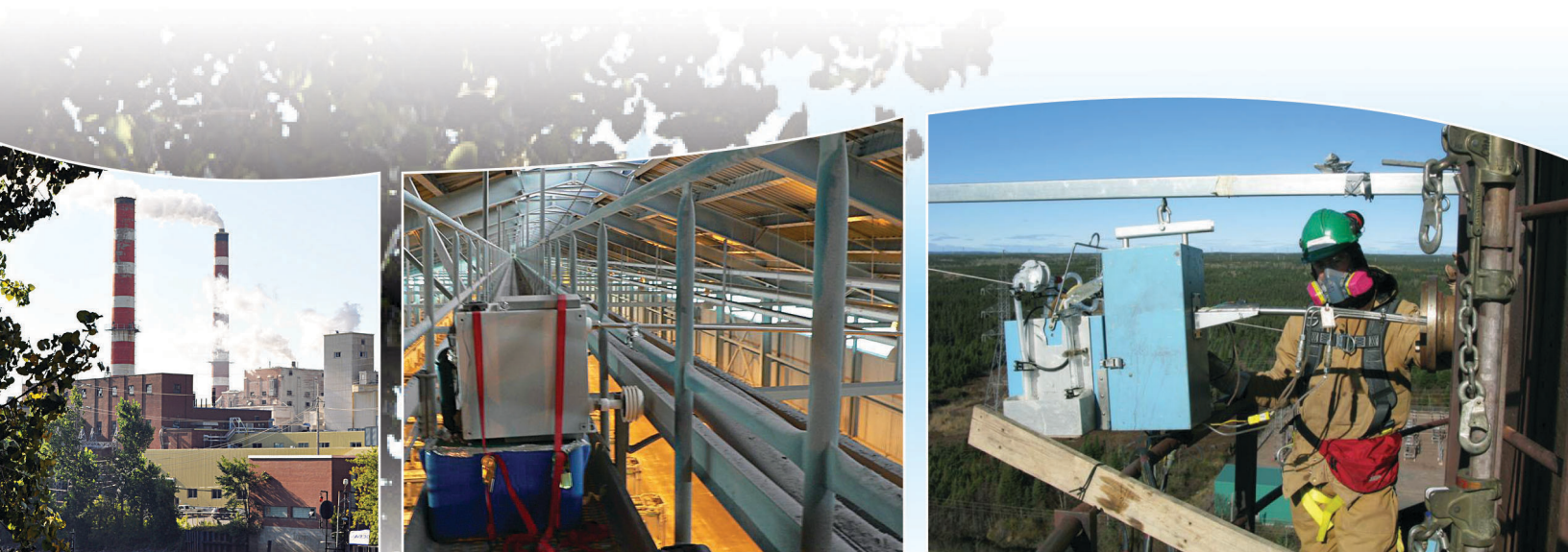


Environnement
Canada

Environment
Canada

CODE DE PRATIQUES POUR RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE PARTICULES FINES ($P_{2,5}$) DANS LE SECTEUR DE L'ALUMINIUM PRIMAIRE

Ébauche - Juin 2014



Canada

À moins d'avis contraire, il est interdit de reproduire le contenu de cette publication, en totalité ou en partie, à des fins de diffusion commerciale sans avoir obtenu au préalable la permission écrite de l'administrateur du droit d'auteur d'Environnement Canada. Si vous souhaitez obtenir du gouvernement du Canada les droits de reproduction du contenu à des fins commerciales, veuillez demander l'affranchissement du droit d'auteur de la Couronne en communiquant avec :

Environnement Canada
Informathèque
10, rue Wellington, 23e étage
Gatineau (Québec) K1A 0H3
Téléphone : 819-997-2800
Ligne sans frais : 1-800-668-6767 (au Canada seulement)
Télécopieur : 819-994-1412
ATS : 819-994-0736
Courriel : enviroinfo@ec.gc.ca

Photos : © Environnement Canada

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par la ministre de l'Environnement, 2014

Also available in English

RÉSUMÉ

Ce code de pratiques décrit les activités d'exploitation et les préoccupations liées aux émissions de particules fines ($P_{2,5}$) du secteur de l'aluminium primaire incluant : les usines de réduction d'alumine avec technologie à anodes précuites; les fabriques d'anodes précuites; les usines de calcination du coke vert et les usines d'affinage de la bauxite. Il présente des recommandations quant à la mise en œuvre des meilleures pratiques visant à réduire les émissions de $P_{2,5}$. Ces pratiques recommandées peuvent être utilisées par l'industrie de l'aluminium, des organismes de réglementation et le grand public en tant que sources d'orientation technique et stratégique, mais elles ne se substituent pas aux exigences réglementaires.

ABSTRACT

This Code of Practice describes operational activities and associated concerns of fine particulate matter (PM_{2.5}) for the primary aluminum sector including: alumina reduction plants with prebaked anode technology; prebaked anode plants; green coke calcining plants and bauxite refining plants. It presents recommendations for the implementation of best practices to reduce emissions of PM_{2.5}. These recommended practices can be used by the aluminum industry, regulatory agencies and the general public as sources of technical and policy guidance but do not negate any regulatory requirements.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	I
ABSTRACT	II
SOMMAIRE	VI
1. INTRODUCTION	1
1.1 Description du secteur.....	1
1.2 Portée du code.....	4
1.3 Élaboration du code	5
1.4 Structure du code	5
2. ACTIVITÉS D'EXPLOITATION	6
2.1 Usine de réduction d'alumine	6
2.2 Fabrique d'anodes précuites	7
2.3 Usine de calcination du coke vert	8
2.4 Usine d'affinage de la bauxite.....	10
3. SOURCES DE PARTICULES	12
3.1 Usine de réduction d'alumine	12
3.2 Fabrique d'anodes précuites	14
3.3 Usine de calcination du coke vert	14
3.4 Usine d'affinage de la bauxite.....	14
4. PRATIQUES RECOMMANDÉES EN MATIÈRE DE CONTRÔLE DES ÉMISSIONS DE P_{2,5}	15
4.1 Exploitation de l'usine de réduction d'alumine	15
4.1.1 Ouverture des capots des cuves d'électrolyse	16
4.1.2 Système d'extraction des gaz	16
4.1.3 Changement des anodes précuites.....	17
4.1.4 Croûte d'alumine recouvrant le bain cryolithique	17
4.1.5 Soutirage du métal en fusion et du bain cryolithique	18
4.1.6 Éclaboussures et déversements de bain cryolithique	18
4.1.7 Écumage de la charbonnaille	19
4.1.8 Contrôle des paramètres opératoires	19
4.1.9 Coulée de l'aluminium en fusion	20
4.2 Exploitation de la fabrique d'anodes précuites.....	20
4.2.1 Four de cuisson	20
4.2.2 Nettoyage des mégots d'anodes.....	21
4.2.3 Concassage du bain figé.....	22

4.3	Suivi et entretien des installations	22
4.3.1	Activités de maintenance	22
4.3.2	Activités de nettoyage à l'usine de réduction d'alumine.....	23
4.4	Centres de traitement des effluents gazeux et autres épurateurs	23
4.4.1	Suivi des opérations (CTG, CTF, CTFB)	24
4.4.2	Suivi des opérations (pyroépurateur)	26
4.4.3	Suivi des opérations (bouilloire suivie d'un filtre à manche)	26
4.4.4	Suivi des opérations (épurateur humide venturi)	27
4.4.5	Entretien des épurateurs et systèmes connexes	27
4.5	Manutention et entreposage des matières.....	28
4.5.1	Suivi des installations et de leurs rendements.....	28
4.5.2	Maintenance des dépoussiéreurs	29
4.5.3	Transport des mégots d'anodes.....	29
4.5.4	Entreposage du coke vert	29
4.5.5	Disposition des boues rouges	30
4.6	Combustibles	30
4.6.1	Type de combustible	30
4.6.2	Taux de consommation.....	31
5.	MISE EN ŒUVRE DU CODE DE PRATIQUES	32
5.1	Planification initiale.....	33
5.1.1	Diagnostic de la situation actuelle	33
5.1.2	Développement de procédures personnalisées.....	33
5.1.3	Plan de formation des employés	34
5.1.4	Protocole de vérification du rendement des procédures personnalisées	34
5.2	Application du code	34
5.2.1	Vérification du rendement des procédures améliorées.....	34
	NOMENCLATURE	35
	BIBLIOGRAPHIE	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau S-1 : Liste des recommandations.....	vii
Tableau 1-1 : Installations canadiennes rattachées au secteur de l'aluminium primaire	4
Tableau 3-1 : Sources potentielles de particules par activité	13

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Schéma d'ensemble illustrant les différentes activités associées au secteur de l'aluminium primaire	2
Figure 2-1 : Schéma de principe d'une usine de réduction d'alumine avec les sources potentielles d'émissions de particules	7
Figure 2-2 : Schéma de principe d'une fabrique d'anodes précuites avec les sources potentielles d'émissions de particules	8
Figure 2-3 : Schéma de principe d'une usine de calcination du coke vert avec les sources potentielles d'émissions de particules	9
Figure 2-4 : Schéma de principe d'une usine de production d'alumine (procédé Bayer) avec les sources potentielles d'émissions de particules	11
Figure 5-1 : Approche généralisée de mise en œuvre des bonnes pratiques de travail pour un établissement concerné par le code de pratiques.....	32

SOMMAIRE

Les ministres de l'Environnement des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux prennent des actions pour mieux protéger la santé humaine et l'environnement en entérinant la mise en œuvre du nouveau système de gestion de la qualité de l'air (SGQA). Le SGQA comprend les normes canadiennes de qualité de l'air ambiant (NCQAA) pour les particules fines et l'ozone troposphérique, les exigences de base relatives aux émissions industrielles (EBEI) et la gestion des zones atmosphériques par les gouvernements provinciaux et territoriaux. Pour le secteur de l'aluminium, des EBEI ont été développées pour les particules totales (PT), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et le dioxyde de soufre (SO₂) et il a été recommandé qu'un code de pratiques soit élaboré afin de réduire les émissions de P_{2,5}. Ce code de pratiques (code) s'applique aux activités d'exploitation liées au secteur de l'aluminium primaire incluant :

- les usines de réduction d'alumine (ou d'électrolyse) avec technologie à anodes précuites;
- les fabriques d'anodes précuites;
- les usines de calcination du coke vert;
- les usines d'affinage de la bauxite.

On compte actuellement quatorze (14) établissements exploitant au moins une des activités primaires d'exploitation. Les activités secondaires incluant les services portuaires et/ou ferroviaires pour le transport des matières premières, les centrales hydroélectriques régionales, les centres de réfection des cuves d'électrolyse et les ateliers de produits à valeur ajoutée ne sont pas couvertes par ce code tout comme les activités associées au procédé de réduction d'alumine avec technologie Söderberg.

Le présent code a été élaboré par Environnement Canada en consultation avec les représentants de l'industrie de l'aluminium et d'autres intervenants. L'information sur les procédés d'exploitation et les bonnes pratiques de travail découlent de diverses sources incluant des revues techniques et scientifiques, ainsi que des codes de pratiques écologiques publiés par Environnement Canada, la Commission européenne, la Banque mondiale, et le *Light Metals Research Centre* (LMRC) de l'Université d'Auckland en Nouvelle-Zélande.

Le code expose les préoccupations liées aux émissions de P_{2,5} pour chacune des activités primaires d'exploitation (section 3) et formule en conséquence des recommandations visant à contrôler et à réduire ces émissions (section 4). Ces pratiques recommandées peuvent être utilisées tant par l'industrie de l'aluminium primaire que par des organismes de réglementation et le grand public comme sources d'orientation technique et stratégique, mais elles ne se substituent pas aux exigences réglementaires. La mise en œuvre devrait être soutenue par un programme de suivi de l'implantation de bonnes pratiques sur les émissions de P_{2,5} (section 5) dans un contexte d'amélioration continue, là où requis.

Le tableau S-1 présente une liste de recommandations de mesures visant à limiter les émissions de P_{2,5}, pour chacune des activités suivantes :

- l'exploitation de l'usine de réduction d'alumine;
- l'exploitation de la fabrique d'anodes précuites;
- le suivi et l'entretien des installations;
- les centres de traitement des effluents gazeux et autres épurateurs;
- la manutention et l'entreposage des matières;
- les combustibles.

En raison des contraintes inhérentes aux technologies, l'objectif global du présent code ne vise pas à éliminer complètement les émissions de $P_{2,5}$, mais cherche plutôt à les contrôler à l'aide de mesures et pratiques de travail efficaces. D'ailleurs, le code ne prend pas en considération les pratiques qui nécessiteraient un changement technologique majeur pour une installation existante. La conception d'installations futures pourra prévoir d'autres technologies qui minimisent davantage les émissions en les intégrant dès la conception, par exemple la sur-aspiration aux cuves activée lors des ouvertures des capots ou l'utilisation d'un système d'oxydation régénérative pour la destruction des émissions de brai.

Tableau S-1 : Liste des recommandations

Sujet	Recommandation	
Exploitation de l'usine de réduction d'alumine		
Ouverture des capots des cuves d'électrolyse	A01	Optimiser les méthodes de travail permettant d'ouvrir un minimum de capots à la fois et les ouvrir seulement lorsque le travail débute. Fermer les capots dès que le travail est terminé.
Système d'extraction des gaz	A02	Procéder à un diagnostic régulier de la performance d'extraction des ventilateurs en fonction de la puissance appliquée, du débit et de la perte de charge. Ajuster au besoin afin de maximiser le débit d'extraction.
Changement des anodes précuites	A03	Optimiser les méthodes de travail afin de minimiser le temps requis pour le changement des anodes et leurs recouvrements avec un produit de couverture.
Croûte d'alumine recouvrant le bain cryolithique	A04	Instaurer un programme de surveillance des fissures dans la croûte, soit par inspection visuelle ou par système automatisé. S'assurer que le produit de couverture est approprié et efficace comme scellant.
	A05	Recouvrir le trou de coulée avec un produit de couverture une fois le travail de soutirage ou d'échantillonnage terminé.
Soutirage du bain cryolithique et du métal en fusion	A06	Lors d'activités de soutirage, rediriger les fumées évacuées par le creuset dans l'enceinte de la cuve à l'aide d'un tuyau flexible.
Éclaboussures et déversements de bain cryolithique	A07	Minimiser et récupérer les déversements et éclaboussures de bain cryolithique sur le plancher.
	A08	Verser le bain dans le chenal de coulée vers la cuve à une vitesse optimale afin de réduire le temps de coulée tout en évitant les éclaboussures. Éviter de verser trop lentement.
	A09	Nettoyer le résidu de bain cryolithique dans le chenal de coulée vers la cuve avec une bêche (ou équivalent) lorsque le chargement est terminé.
Écumage de la charbonnaille	A10	Refroidir la charbonnaille (écume de carbone) chaude à l'intérieur de l'enceinte de la cuve. Minimiser son temps de séjour dans la salle de cuves.
Contrôle des paramètres opératoires	A11	Contrôler et maintenir la hauteur du bain dans la cuve à un niveau optimal afin de prévenir un accroissement involontaire de la température du bain et un contact direct avec de l'air humide. Ces deux phénomènes accentuent la formation de particules fluorées.
	A12	Prévenir, contrôler et minimiser l'effet anodique. Après la suppression manuelle ou automatique de l'effet anodique, recouvrir les fissures avec un produit de couverture.
Coulée de l'aluminium en fusion	A13	Maximiser le rendement du centre de coulée. Limiter les rejets.

Sujet		Recommandation
Exploitation de la fabrique d'anodes précuites		
Four de cuisson	B01	Exploiter un système efficace de remplissage des fosses du four de cuisson avec du coke de garnissage permettant de limiter les pertes de coke dans le bâtiment. Former les opérateurs afin de standardiser les méthodes de travail entourant la manipulation du coke de garnissage.
	B02	Exploiter et faire le suivi de la pression négative dans le four de cuisson.
Nettoyage des mégots d'anodes	B03	Exploiter des systèmes efficaces d'extraction et de filtration de l'air poussiéreux pour le procédé de nettoyage des mégots d'anodes.
Concassage du bain figé	B04	Traiter les gaz issus du concasseur de bain figé à l'aide de dépoussiéreurs ou au CTG de l'usine de réduction d'alumine ou au CTF du four de cuisson des anodes.
Suivi et entretien des installations		
Activités de maintenance	C01	Faire une inspection régulière selon un horaire planifié des installations de l'usine de réduction d'alumine incluant les conduits d'évacuation des fumées, le système d'alimentation de l'alumine et la superstructure des cuves. Lorsqu'un bris ou une défectuosité est constaté, faire les réparations ou remplacements appropriés dès que possible.
	C02	Faire une inspection régulière selon un horaire planifié des installations de la fabrique d'anodes précuites incluant les systèmes de nettoyage des mégots d'anodes, de concassage du bain figé, de broyage et tamisage du coke calciné ainsi que le four de cuisson. Lorsqu'un bris ou une défectuosité est constaté, faire les réparations ou remplacements appropriés dès que possible.
	C03	Faire une inspection régulière selon un horaire planifié des installations liées à la calcination du coke vert et son refroidissement incluant les joints d'étanchéité et autres dispositifs pouvant conduire potentiellement à une fuite de gaz. Lorsqu'un bris ou une défectuosité est constaté, faire les réparations ou remplacements appropriés dès que possible.
	C04	Faire une inspection régulière selon un horaire planifié des installations liées à la calcination de l'alumine ainsi que les chaudières à l'usine d'affinage de la bauxite. Lorsqu'un bris ou une défectuosité est constaté, faire les réparations ou remplacements appropriés dès que possible.
	C05	Mettre en œuvre un plan de formation des employés sur l'approche à suivre afin de prévenir l'usure prématurée et les bris intempestifs dus à une mauvaise exploitation des installations.
Activités de nettoyage à l'usine de réduction d'alumine	C06	Utiliser un aspirateur de type HEPA pour le nettoyage du plancher de la salle de cuves.
	C07	Nettoyer régulièrement le plafond des cuves.
	C08	Dégager régulièrement les résidus solides fixés sur le piqueur doseur afin de réduire la taille du trou dans la croûte après injection et donc, les émissions (corollaire à la Recommandation A05).

Sujet	Recommandation	
Centres de traitement des effluents gazeux et autres épurateurs		
Suivi des opérations (CTG, CTF, CTFB)	D01	Faire le suivi quotidien du débit de gaz pour chaque compartiment du filtre à manche à l'épurateur (lorsqu'applicable) tout en s'assurant qu'il est homogène. Faire le suivi de la perte de charge afin d'identifier les anomalies qui devront être corrigées.
	D02	Ajuster la fréquence et durée de nettoyage des filtres à manche à l'épurateur (lorsqu'applicable) permettant de balancer le débit de gaz pour chaque compartiment et maximiser le rendement de collecte.
	D03	Dans la mesure du possible, limiter le recyclage de l'alumine enrichie dans les réacteurs d'injection du CTG et CTF sans influencer le captage du HF. Faire le suivi quotidien du taux de recyclage pour s'assurer qu'il est au point optimal.
	D04	Pour le CTF seulement, exploiter la tour de refroidissement de façon à capter la majeure partie des goudrons contenus dans les gaz de cuisson. Dans le cas contraire, ajouter un préfiltre (p.ex., garnissage en céramique) permettant de capter une majorité des particules et matières condensables, dont les goudrons.
Suivi des opérations (pyroépurateur)	D05	Optimiser les paramètres d'exploitation du pyroépurateur afin de maximiser l'incinération des particules de coke en plus des COV. Au besoin, faire le suivi avec un système de détection des particules à la sortie du pyroépurateur et ajuster en conséquence.
Suivi des opérations (bouilloire suivie d'un filtre à manche)	D06	Optimiser le rendement des cyclones et du filtre à manche en fonction de la charge de particules totales. Au besoin, changer les sacs pour des plus performants.
Suivi des opérations (épurateur humide venturi)	D07	Faire le suivi quotidien du débit de gaz dans l'épurateur en fonction du débit d'eau alimentée dans le venturi dont le ratio agit directement sur la perte de charge et l'efficacité de capture des particules incluant les P _{2,5} . Optimiser le rendement en fonction du système en place.
Entretien des épurateurs et systèmes connexes	D08	Faire une inspection régulière selon un horaire planifié de l'épurateur incluant la superstructure, les joints d'étanchéité, le ventilateur (corollaire à la Recommandation A02), le système d'alimentation de l'alumine (ou coke calciné) et le filtre à manche (si applicable). Réparer dès qu'un bris ou une défectuosité est constaté.
	D09	Pour les filtres à manche, remplacer les sacs à la fin de leur durée de vie utile. Ne pas attendre qu'un bris survienne.
	D10	Pour le CTG et CTF seulement, inspecter régulièrement selon un horaire planifié les conduites pouvant être à risque envers l'accumulation d'écaille grise. Nettoyer si l'accumulation est trop importante.

Sujet	Recommandation	
Manutention et entreposage des matières		
Suivi des installations et leurs rendements	E01	Faire le suivi des émissions de particules à la sortie des dépoussiéreurs. Enquêter sur les causes expliquant une augmentation soudaine des émissions de particules et faire les correctifs nécessaires.
	E02	Faire le suivi visuel des systèmes d'injection pneumatique et de manutention mécanique selon un horaire planifié afin de repérer les fuites. Effectuer les réparations dès que possible.
Maintenance des dépoussiéreurs	E03	Effectuer un suivi et entretien périodique des dépoussiéreurs et remplacer les sacs lorsqu'ils atteignent la fin de leur durée de vie utile (corollaire aux Recommandations D08 et D09).
Transport des mégots d'anodes	E04	Utiliser une des mesures suivantes : <ul style="list-style-type: none">• Utiliser des plateaux couverts (ou équivalent) pour le refroidissement et le transport des mégots d'anode (ou croûte et bain cryolithique chaud) à la salle d'entreposage;• Minimiser le temps d'exposition des mégots à l'air libre dans la salle de cuves ou à l'extérieur. Ventiler si possible les gaz de la salle d'entreposage des mégots d'anode vers le CTG afin de capter les fluorures, les P_{2,5} et possiblement les condensables.
Entreposage du coke vert	E05	À l'usine de calcination du coke, décharger le coke vert dans un bâtiment fermé. Acheminer le coke vert entre les différents points de transfert à l'aide de convoyeurs fermés ou dispositifs similaires.
Disposition des boues rouges	E06	Déployer des barrières physiques et/ou chimiques aux haldes de boues rouges afin de limiter le poudrage lorsque les conditions météorologiques sont chaudes, sèches et venteuses.
Combustibles		
Type de combustible	F01	Du point de vue des émissions de particules, favoriser l'utilisation de l'hydroélectricité au lieu de combustibles fossiles si le système en place le permet. Sinon, favoriser l'utilisation du gaz naturel au lieu du mazout (ou autre combustible lourd).
Taux de consommation	F02	Pour les chaudières et calcinateurs d'alumine, minimiser la consommation de gaz naturel ou de mazout par tonne d'alumine produite à l'aide de systèmes efficaces de récupération de chaleur.

1. INTRODUCTION

La production d'aluminium primaire est une industrie majeure au Canada et tout particulièrement au Québec avec une capacité de production d'environ 3 millions de tonnes annuellement (2,96 Mt en 2010).¹ L'aluminium métallique est extrait de l'alumine (oxyde d'aluminium, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) qui provient lui-même de gisements de bauxite par un procédé de réduction électrolytique dans un bain en fusion composé de fluorure d'aluminium et de cryolithe à une température approximative de 960 °C. Un équivalent de 0,2–0,25 tonne d'aluminium est normalement produit pour chaque tonne de bauxite. Outre le procédé de réduction électrolytique, le secteur de l'aluminium primaire comprend plusieurs activités connexes incluant la production de l'alumine métallurgique, la fabrication des anodes en carbone, et la calcination du coke de pétrole. Toutes ces activités nécessitent l'utilisation d'électricité, de carburants et de matières premières (p.ex., coke de pétrole, bauxite, fluorure d'aluminium, cryolite, brai de goudron, etc.) qui entraînent des émissions de polluants atmosphériques. Le dioxyde de soufre (SO_2), les matières particulaires (PT), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les fluorures totaux et les oxydes d'azote (NO_x) en sont les principaux.

Les ministres de l'Environnement des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux prennent des actions pour mieux protéger la santé humaine et l'environnement en entérinant la mise en œuvre du nouveau système de gestion de la qualité de l'air (SGQA). Le SGQA comprend les normes canadiennes de qualité de l'air ambiant (NCQAA) pour les particules fines et l'ozone troposphérique, les exigences de base relatives aux émissions industrielles (EBEI) et la gestion des zones atmosphériques par les gouvernements provinciaux et territoriaux. Pour le secteur de l'aluminium, des EBEI ont été développées pour les PT, les HAP et le SO_2 et il a été recommandé qu'un code de pratiques (code) soit élaboré afin de réduire les émissions de $\text{P}_{2,5}$.

Parmi les rejets de poussières, les particules fines avec un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 microns ($\text{P}_{2,5}$) sont les plus dangereuses pouvant entraîner de graves troubles de santé lorsqu'elles atteignent les poumons. Au Canada, environ 45 % des émissions de $\text{P}_{2,5}$ découlent des sources fixes de combustion du bois de chauffage et d'autres combustibles alors que 20 % proviennent des activités de transport (routier, hors route, ferroviaire, maritime, etc.). La différence (soit 35 %) résulte des activités industrielles. Selon les données de l'Inventaire National des Rejets de Polluants (INRP) d'Environnement Canada, une grande proportion des émissions de particules rapportées par le secteur de l'aluminium primaire canadien sont des $\text{P}_{2,5}$ (représentant 51 % des émissions de PT en 2009).

1.1 Description du secteur

Le secteur de l'aluminium primaire englobe plusieurs activités de production permettant d'en arriver à un produit fini à un coût concurrentiel (fig. 1-1). On distingue quatre activités importantes associées à la production d'aluminium, soit :

- les installations de production d'alumine métallurgique à partir de la bauxite,
- les unités de calcination du coke de pétrole,
- les installations de production d'anodes précuites,
- les installations de réduction de l'alumine (ou d'électrolyse).

¹ The Aluminum Association, Canadian primary aluminum production.

Une aluminerie canadienne est typiquement composée de l'usine d'électrolyse et de la fabrique d'anodes précuites alors que les autres activités peuvent être indépendantes de l'aluminerie. Deux des alumineries canadiennes comprennent seulement une usine d'électrolyse et achètent leurs matières premières (anodes précuites scellées) au lieu de les fabriquer sur place ou les obtiennent d'une autre installation appartenant à la même entreprise.

Les activités primaires sont soutenues par des activités d'appoint incluant les services portuaires et/ou ferroviaires pour le transport des matières premières vers les différentes usines, et les centrales hydroélectriques régionales qui permettent de réduire les coûts de production. L'aluminium produit est ensuite pris en charge par un service de vente ou des ateliers de produits à valeur ajoutée.

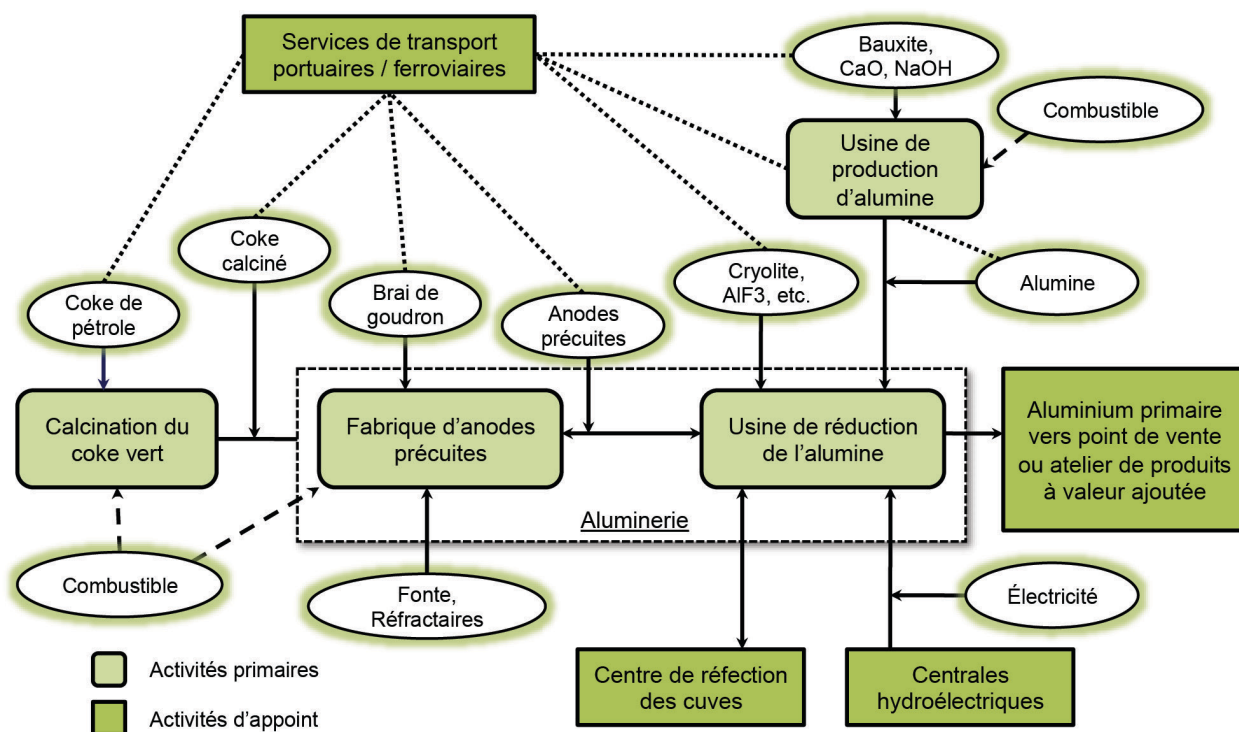


Figure 1-1 : Schéma d'ensemble illustrant les différentes activités associées au secteur de l'aluminium primaire

Usines de réduction de l'alumine en aluminium

En 2010, le secteur canadien de production de l'aluminium primaire comportait dix alumineries réparties entre trois entreprises (Rio Tinto Alcan (RTA) avec 46 % de la capacité de production; Alcoa à 36 %; Aluminerie Alouette (AA) à 18 %; voir tableau 1-1). La production canadienne à hauteur d'un peu moins de 3,0 Mt d'aluminium en 2011 représentait environ 12 % de la production mondiale. Des dix alumineries actuellement en service, huit utilisent une technologie avec anodes précuites, ce qui représente environ 85 % de la production canadienne. La différence provient des alumineries exploitant une technologie Söderberg dont les niveaux d'efficacité et de performance environnementale sont bien inférieurs aux technologies avec

anodes précuites.² Ainsi, il est prévu que toutes les installations de technologie Söderberg seront fermées ou modernisées d'ici 2015 menant vers une production exclusive d'aluminium avec anodes précuites au Canada. Malgré ces fermetures anticipées, la production canadienne d'aluminium est appelée à augmenter à moyen terme face à un marché de l'aluminium en progression. En effet, plusieurs projets d'investissement sont actuellement en déploiement (ex. Kitimat et Jonquière) ou à l'étude (ex. Baie-Comeau et Sept-Îles) qui permettraient, si le marché est favorable, d'augmenter la capacité de production des alumineries canadiennes à environ 4 Mt.

Fabriques d'anodes précuites

Six des huit alumineries canadiennes utilisant une technologie à anodes précuites fabriquent leurs propres anodes dans un atelier adjacent à l'usine de réduction d'alumine (tableau 1-1). Seules les alumineries de Laterrière et de Baie-Comeau obtiennent leurs anodes précuites d'une fabrique externe. Les six fabriques d'anodes précuites ont une capacité de production d'environ 1 300 kt/a, pouvant desservir une production d'environ 2,3 Mt d'aluminium. Cette capacité de production pourrait augmenter dans le futur avec les différents projets de modernisation à l'étude.

Usines de calcination du coke vert

RTA exploite les trois usines de calcination du coke de pétrole (coke vert) à Kitimat, Arvida et Strathcona pour la production de coke calciné entrant dans la composition de la pâte anodique crue (l'usine de Strathcona appartient également à Alcoa à 31 %). Les trois usines de calcination de coke ont une capacité combinée de production de coke calciné de plus de 500 kt/a (tableau 1-1). Cette capacité permet d'alimenter en coke une production équivalente de 1,4 Mt d'aluminium, en supposant une consommation anodique nette de 420 kg/t d'aluminium et un contenu en coke de l'anode précuite de 85 %.³ Ces usines couvrent plus de 75 % des besoins en coke calciné des alumineries de RTA (incluant ABI Alcoa et excluant Alouette) au Canada.⁴

Usine d'affinage de la bauxite pour la production d'alumine métallurgique

Au Canada, seul RTA exploite une usine d'affinage de la bauxite, soit l'usine Vaudreuil à Jonquière qui produit annuellement environ 1,5 Mt d'alumine métallurgique et de produits chimiques de spécialité (p.ex., aluminés commerciaux, fluorure d'aluminium, hydrates commerciaux), alimentant ainsi une grande partie du réseau d'usines d'électrolyse de RTA dans la région du Saguenay. La différence est importée des grands pays producteurs (Australie, Brésil, Guinée) qui alimentent également l'usine Vaudreuil en bauxite.

² European Commission, Integrated pollution prevention and control – Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries, Juillet 2009.

³ Mirchi, A. A. et al., Alcan characterisation of pitch performance for pitch binder evaluation and process changes in an aluminium smelter, Light Metals 2002.

⁴ Rio Tinto Alcan Inc., Anode Grade Coke & Coke Calcination, présentation pour Environnement Canada, août 2011.

Tableau 1-1 : Installations canadiennes rattachées au secteur de l'aluminium primaire

Installation		Capacité de production (2009-2010) par activité (kt/a)				Émissions de P _{2,5} (t/a) ^g
		Aluminium	Anode précuite	Coke calciné	Alumine métallurgique	
Alcoa	Usine de Baie-Comeau (QC)	382 ^d	50 ^f			333
	Usine de Deschambault (QC)	255	150			85
	Usine de Bécancour (QC) ^a	421	248			406
RTA	Usine de Grande-Baie, La Baie (QC)	218	250			127
	Usine d'Alma (QC)	438	230			223
	Usine Arvida, Jonquière (QC)	176	105	230		1 422
	Usine de Shawinigan (QC)	100	117 ^f			840
	Kitimat Works, Kitimat (CB)	184 ^e	126 ^f	80		227
	Strathcona Works, Sherwood Park (AB) ^b			195		106
	Usine Laterrière, Chicoutimi (QC)	238				130
	Usine Vaudreuil, Jonquière (QC)				1 500	24
AA	Usine de Sept-Îles (QC) ^c	590	310			720
TOTAL		3 002	1 586	505	1 500	4 643

a Détenu à 25 % par RTA.

b Détenu à 39 % par Alcoa.

c Appartient à un consortium (RTA, Austria Metall AG, Hydro Aluminium, SGF, Marubeni) dont RTA détient 40 %.

d Plus de 70 % de la production d'aluminium provient des cuves d'électrolyse à anodes précuites.

e La production de l'usine a récemment diminué (251 kt en 2008; 224 kt en 2009; 184 kt en 2010) en raison du projet de modernisation de l'aluminerie qui remplacera progressivement les cuves Söderberg et qui permettra d'augmenter la capacité à 400 kt d'aluminium/an.

f Usine ne fabriquant pas d'anodes précuites, mais plutôt des briquettes alimentant l'usine d'électrolyse Söderberg.

g Valeurs obtenues à partir de l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP) pour l'année 2010.

1.2 Portée du code

Ce code s'applique aux installations liées au secteur de l'aluminium primaire, soit les usines de réduction d'alumine, les fabriques d'anodes précuites, les usines de calcination du coke vert, et les usines d'affinage de la bauxite. Les activités d'appoint incluant les services portuaires et/ou ferroviaires pour le transport des matières premières, les centrales hydroélectriques régionales, les centres de réfection des cuves d'électrolyse et les ateliers de produits à valeur ajoutée ne sont pas couverts par ce code tout comme les activités associées au procédé d'électrolyse Söderberg.

Ce code a été développé dans le cadre des exigences de base qualitatives relatives aux émissions industrielles (EBEI qualitatives) de la politique du SGQA d'Environnement Canada permettant de faciliter et d'encourager l'amélioration continue de la performance environnementale des installations du secteur de l'aluminium au Canada. Il expose ainsi les préoccupations liées aux émissions de particules fines ($P_{2,5}$) pour chacune des activités primaires et établit en conséquence des recommandations permettant de réduire ce type d'émission. En raison des contraintes inhérentes aux technologies, l'objectif global du présent code ne vise pas à éliminer complètement les émissions de $P_{2,5}$, mais cherche plutôt à les contrôler à l'aide de mesures et pratiques de travail efficaces. D'ailleurs, le code ne prend pas en considération les pratiques qui nécessiteraient un changement technologique majeur pour une installation existante. La conception d'installations futures pourra prévoir d'autres technologies qui minimisent davantage les émissions en les intégrant dès la conception, comme par exemple la sur-aspiration aux cuves activée lors des ouvertures des capots ou l'utilisation d'un système d'oxydation régénérative pour la destruction des émissions de brai.

Même si les recommandations sont formulées de façon claire et précise quant aux résultats attendus, elles devraient être appliquées au moment et dans la situation où cela est approprié, en fonction du contexte propre à chaque installation. Par conséquent, le code ne se préoccupe pas de quantifier l'effet qu'aurait chaque recommandation sur les émissions de $P_{2,5}$. Il doit plutôt être considéré comme un outil de base pour le développement d'un programme de bonnes pratiques par les installations sans être contraignable à des fins réglementaires. Par contre, les recommandations formulées ici n'atténuent en rien la portée et l'application des exigences légales des administrations municipales et des gouvernements provinciaux et fédéral.

1.3 Élaboration du code

Le code a été élaboré par Environnement Canada en consultation avec les représentants de l'industrie de l'aluminium et d'autres intervenants. L'information sur les procédés d'exploitation et les bonnes pratiques de travail découlent de diverses sources incluant des revues techniques et scientifiques, ainsi que des codes de pratiques écologiques publiés par Environnement Canada, la Commission européenne, la Banque mondiale, et le *Light Metals Research Centre* (LMRC) de l'Université d'Auckland en Nouvelle-Zélande.

Le LMRC a publié récemment un guide traitant des émissions de fluorures gazeux et particulaires à l'intention de l'industrie de l'aluminium primaire chinois permettant de comprendre les facteurs agissant sur les émissions de fluorure et d'établir de bonnes pratiques de travail pour leur contrôle.⁵ Plusieurs des solutions proposées dans ce guide permettraient de contrôler les rejets de particules fines et sont donc au cœur des recommandations proposées dans le présent code. Les recommandations ont également été développées en fonction de la situation du secteur de l'aluminium primaire canadien en 2012, notamment en ce qui concerne les technologies de contrôle des émissions atmosphériques en place.

1.4 Structure du code

Le code décrit les activités d'exploitation (section 2) et les préoccupations associées aux émissions de particules par ces mêmes activités (section 3). Les pratiques de travail recommandées pour le contrôle des émissions de particules fines sont présentées à la section 4. Finalement, la section 5 porte sur une approche généralisée pour la mise en œuvre et le suivi du code par les établissements concernés.

⁵ Light Metals Research Centre, Fluoride emissions management guide (FEMG), Version 4, février 2011.

2. ACTIVITÉS D'EXPLOITATION

Cette section décrit les principales fonctions de chacune des activités d'exploitation du secteur de l'aluminium primaire visées par le code. La présente section a plutôt comme objectif de cerner la nature et la portée des activités visées par le code, en particulier celles qui suscitent des préoccupations au niveau des émissions de particules fines dont il est question à la section 3. Les figures 2-1 à 2-4 illustrent les principaux procédés pertinents en ce qui a trait au code et aux rejets de particules à l'environnement.

2.1 Usine de réduction d'alumine

L'aluminium est produit par la réduction électrolytique de l'alumine dissoute dans un bain en fusion, composé de fluorure d'aluminium et de fluorure de sodium (cryolithe) à une température approximative de 960 °C. Outre les cuves d'électrolyse, une usine d'aluminium comporte également un centre de coulée de l'aluminium et un centre de traitement des gaz (figure 2-1).

Chaque cuve d'électrolyse est composée d'une cathode en carbone, isolée par des briques réfractaires à l'intérieur d'un caisson en acier rectangulaire dans lequel des anodes en carbone sont suspendues à partir d'une poutre de suspension. Les cuves sont connectées en série pour former une ligne de réduction électrique (série d'électrolyse). Pendant l'opération, un courant continu de haut ampérage passe de l'anode à travers le bain électrolytique en fusion à la cathode, et de là, par une barre omnibus à la cuve suivante. L'alumine est ajoutée aux cuves pour maintenir un contenu d'alumine de 2 à 6 % dans le bain en fusion. Ces additions sont contrôlées par ordinateur dans les usines modernes. Des composés de fluorure (p.ex., fluorure d'aluminium) sont également ajoutés pour abaisser le point de fusion du bain électrolytique, ce qui permet de maintenir une température de fonctionnement des cuves plus faible. L'aluminium liquide en fusion est déposé à la cathode au fond de la cuve alors que l'oxygène du minerai réagit avec le carbone de l'anode pour former du dioxyde de carbone.

Avec la consommation progressive du carbone, les anodes doivent être remplacées périodiquement. Les mégots d'anodes (tige avec résidus de carbone couverts d'une croûte de bain) sont alors envoyés à un atelier de traitement afin de racler le bain adhérent qui est réintégré dans les cuves d'électrolyse sous forme d'agréats. Les résidus de carbone sont quant à eux recyclés dans le procédé de fabrication de la pâte anodique.

Les gaz émis par le procédé d'électrolyse sont aspirés vers un centre de traitement des gaz (CTG) permettant de capter le fluor émanant du bain cryolithique avant d'être dégagés à l'atmosphère. Un épurateur à sec avec injection d'alumine fraîche est utilisé pour cette fonction. L'alumine ayant adsorbé les gaz fluorés est récupérée avec un filtre à manche qui permet également de capter les particules inhérentes au procédé d'électrolyse. L'alumine « fluorée » sortant du CTG est utilisée comme matière première dans les cuves d'électrolyse.

L'aluminium métallique en fusion est quant à lui siphonné régulièrement dans un creuset puis transféré vers le centre de coulée pour y être transformé en lingots. Typiquement, le métal en fusion transite par un four de maintien permettant de contrôler sa température. L'aluminium liquide passe ensuite par une série de dalots où il peut subir des traitements de dégazage, de filtration, et d'ajouts de métaux d'alliage avant d'atteindre la machine de coulée produisant des lingots de différentes formes.

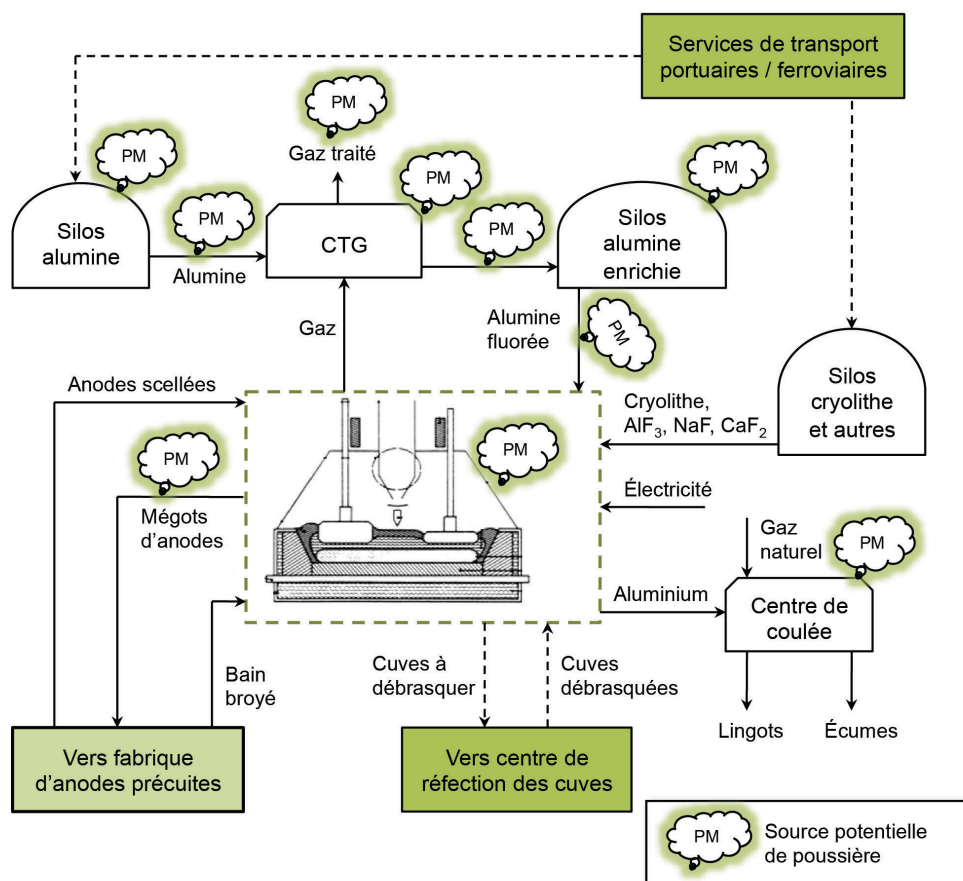


Figure 2-1 : Schéma de principe d'une usine de réduction d'alumine avec les sources potentielles d'émissions de particules

2.2 Fabrication d'anodes précuites

Le procédé de fabrication d'anodes précuites scellées comporte plusieurs étapes unitaires reliées et regroupées en tant qu'atelier de formation des anodes crues, cuisson des anodes crues et atelier de scellement des anodes cuites (figure 2-2). Des installations de traitement des rejets atmosphériques sont également retrouvées à divers niveaux.

Toutes les alumineries canadiennes à anodes précuites recyclent les mégots d'anodes afin d'en récupérer les tiges, la fonte, et les résidus de carbone. Une étape préliminaire de nettoyage à sec des mégots avec des outils mécaniques est intégrée afin de récupérer le plus possible les résidus de bains riches en fluor qui sont ensuite concassés puis recyclés vers l'usine d'électrolyse. Les résidus de carbone sont quant à eux envoyés à l'atelier de pâte crue afin d'être concassés puis broyés avec du coke calciné frais. Le coke broyé est alors préchauffé puis mélangé avec le brai de goudron produisant une pâte crue chaude qui doit être moulée en blocs compacts (anodes crues) selon la configuration requise par les cuves d'électrolyse. Au même moment, les fumées de brai générées par le procédé de fabrication des anodes sont transférées vers le centre de traitement des fumées de brai (CTFB) constitué d'un épurateur à sec avec injection de coke calciné afin de capter les COV et les HAP contenus dans ces fumées.

Les anodes crues sont cuites dans un four spécialisé avec un feu mobile alimenté au gaz naturel ou à l'huile lourde de manière à les rendre dures et conductrices d'électricité. L'objectif

est de convertir une partie de brai en carbone élémentaire par carbonisation, d'éliminer la différence et ainsi obtenir une anode avec un minimum d'hydrocarbures aromatiques. Le gaz de cuisson est normalement traité avec un épurateur à sec à injection d'alumine suivi d'un filtre à manche afin de capter les particules ainsi que le fluor qui découlerait des mégots d'anodes. Les anodes cuites sont ensuite scellées sur des tiges propres avec de la fonte en fusion provenant d'un four à induction. Chaque ensemble anodique comprend deux blocs de carbone par tige. Les anodes précuites scellées sont entreposées en attendant leur utilisation à l'usine d'électrolyse.

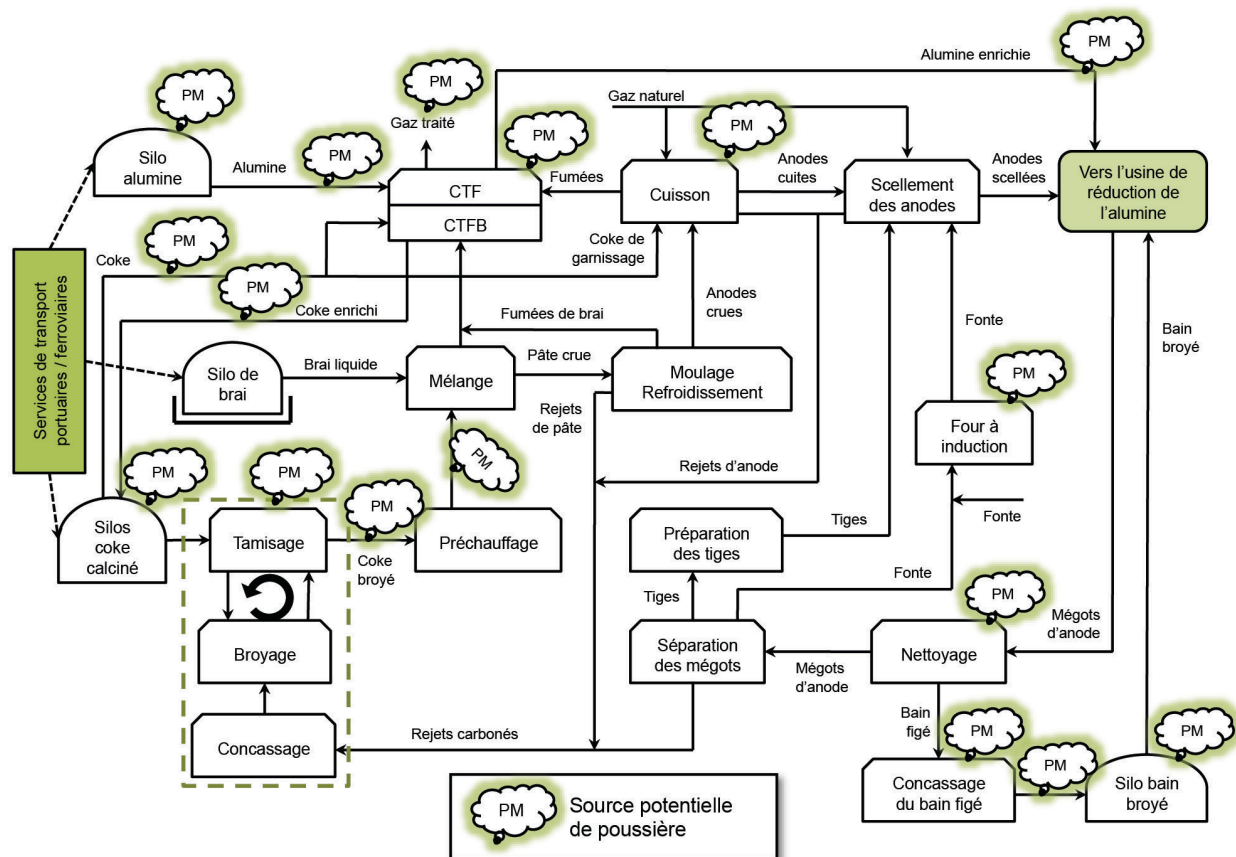


Figure 2-2 : Schéma de principe d'une fabrique d'anodes précuites avec les sources potentielles d'émissions de particules

2.3 Usine de calcination du coke vert

Les usines de calcination de coke vert utilisent un four rotatif longitudinal (*rotary kiln*) pour la calcination. Le procédé comprend les composantes suivantes : station de déchargement et entreposage du coke vert, le four de calcination, un refroidisseur de coke, un système de manutention du coke calciné jusqu'à l'entreposage et un système d'épuration des rejets atmosphériques (figure 2-3). L'objectif de la calcination est d'éliminer les composés indésirables dans le coke vert (8 – 15 % de matières volatiles; 5 – 15 % humidité; une partie du soufre à 1 – 5 %) et ainsi, d'améliorer sa structure cristalline et sa conductivité électrique, un aspect important lors du procédé d'électrolyse de l'alumine.

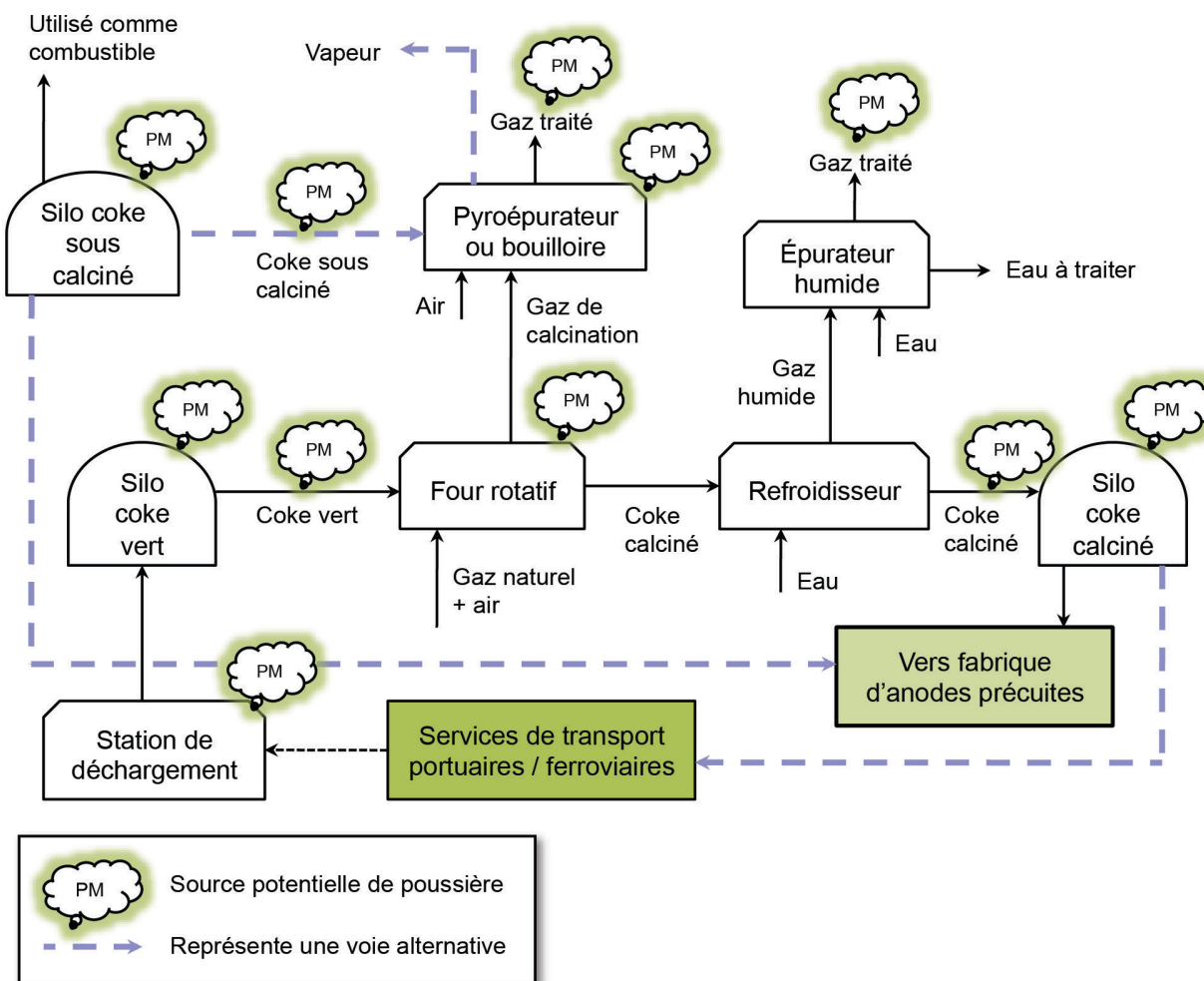


Figure 2-3 : Schéma de principe d'une usine de calcination du coke vert avec les sources potentielles d'émissions de particules

Le coke vert acheminé vers les usines par bateau ou par train est reçu à une station de déchargement à partir de laquelle il est acheminé par convoyeur vers des silos d'entreposage. Le coke vert est alimenté dans le four en rotation et légèrement incliné ce qui permet au coke de descendre lentement le long du four tout en se réchauffant progressivement au contact des gaz de combustion circulant à contre-courant. En période de démarrage, un brûleur au gaz naturel permet d'élever la température jusqu'au niveau d'autocombustion des composés volatils du coke. Le coke calciné chaud au bout du four rotatif est transféré par une gouttière réfractaire vers un refroidisseur cylindrique rotatif légèrement incliné. Tout en se déplaçant vers le bas, le coke à plus de 1 000 °C est refroidi par aspersion d'eau à l'aide d'une série de buses à l'avant du cylindre. Le coke calciné refroidi à 150 – 200 °C est déchargé sur des convoyeurs chauffés vers des silos d'entreposage.

Le flux gazeux à la sortie du four de calcination renferme des gaz de combustion, des composés volatils imbrûlés et de grandes quantités de particules de coke qui doivent être éliminées avant d'être dégagées à l'atmosphère. Les usines canadiennes utilisent un système de combustion des gaz (pyroépurateur ou bouilloire suivi d'un filtre à manche) avec une chambre de détente en amont afin de récupérer jusqu'à 80 – 95 % des particules grossières. Ce coke résiduel en plus du coke calciné récupéré par les dépoussiéreurs (coke sous calciné)

est normalement utilisé comme combustible ou comme matière première pour la fabrication de la pâte anodique. Entre-temps, le gaz humide provenant du refroidisseur est dirigé vers un système d'épuration (p.ex., épurateur humide venturi) afin de contrôler les particules de coke entraînées dans le flux de vapeur.

2.4 Usine d'affinage de la bauxite

L'usine Vaudreuil à Jonquière exploite un procédé d'extraction alcaline de l'alumine à partir de la bauxite (procédé Bayer) dont un schéma d'écoulement général est présenté à la figure 2-4. La bauxite est un minerai de structure variée contenant principalement des oxydes d'aluminium (35 – 65 %), de fer (2 – 30 %) et de silicium (1 – 10 %). La composition de la bauxite dépend du gisement, dont les principaux sont situés en Australie, en Amérique du Sud et en Afrique de l'Ouest. Le procédé Bayer compte 5 étapes successives incluant la préparation de la bauxite, la digestion de la bauxite, la décantation de la boue rouge, la cristallisation et précipitation du trihydrate d'alumine et sa calcination en alumine métallurgique. À noter qu'il existe plusieurs variantes subtiles, surtout au niveau de la gestion des effluents et de l'énergie thermique et que par conséquent, peu d'affineries d'alumine sont identiques.

Ainsi, la bauxite est normalement broyée en une poudre fine puis mélangée avec une solution de soude caustique (NaOH) concentrée et préchauffée (liqueur Bayer), avant d'être transférée dans des chaudières pressurisées. Pour sa part, l'usine Vaudreuil utilise plutôt un broyeur humide où la liqueur est directement mélangée avec le minerai lors du broyage. À haute température (150 – 250 °C), le mélange alcalin décompose la Gibbsite ou la Böhmite (oxydes d'aluminium) en aluminates solubles ($\text{Al}_2\text{O}_4^{2-}$) alors que les autres composés de la bauxite (oxydes de fer, silice, etc.) persistent sous forme de cristaux solides. La suspension liquide passe ensuite à l'étape de décantation (et possiblement de filtration; figure 2-4) où le résidu solide appelé boue rouge est retiré de la solution d'aluminate. L'usine Vaudreuil génère environ 0,6 t de boue rouge par tonne d'alumine extraite de la bauxite. Ces boues sont transportées vers des halles (lac de boues rouges) afin d'y être asséchées et empilées.

La liqueur est quant à elle refroidie à un niveau permettant d'amorcer la cristallisation de l'aluminate en des flocons d'alumine hydratée. De l'alumine pure est ajoutée au mélange pour faciliter la formation des cristaux. Après une étape de précipitation, les cristaux sont classifiés en fonction de leurs dimensions. Les « petits » cristaux sont recyclés afin d'augmenter en volume alors que les « gros » flocons sont séchés puis calcinés à environ 1 000 °C dans un four rotatif ou à lit fluidisé après avoir été lavés. Dans ces conditions, l'alumine hydratée se décompose en alumine métallurgique par élimination de l'eau associée à la molécule. Entre-temps, la liqueur d'hydroxyde de sodium est concentrée par évaporation puis recyclée à l'étape initiale de broyage.

Le procédé Bayer comprend plusieurs étapes de chauffage et refroidissement des divers flux de matières. Une raffinerie d'alumine compte ainsi plusieurs chaudières afin d'apporter la chaleur nécessaire pour la digestion de la bauxite. L'usine Vaudreuil en compte six en plus des deux calcinateurs d'alumine. L'usine est également équipée d'un réseau d'échangeurs thermiques permettant de minimiser la consommation énergétique.

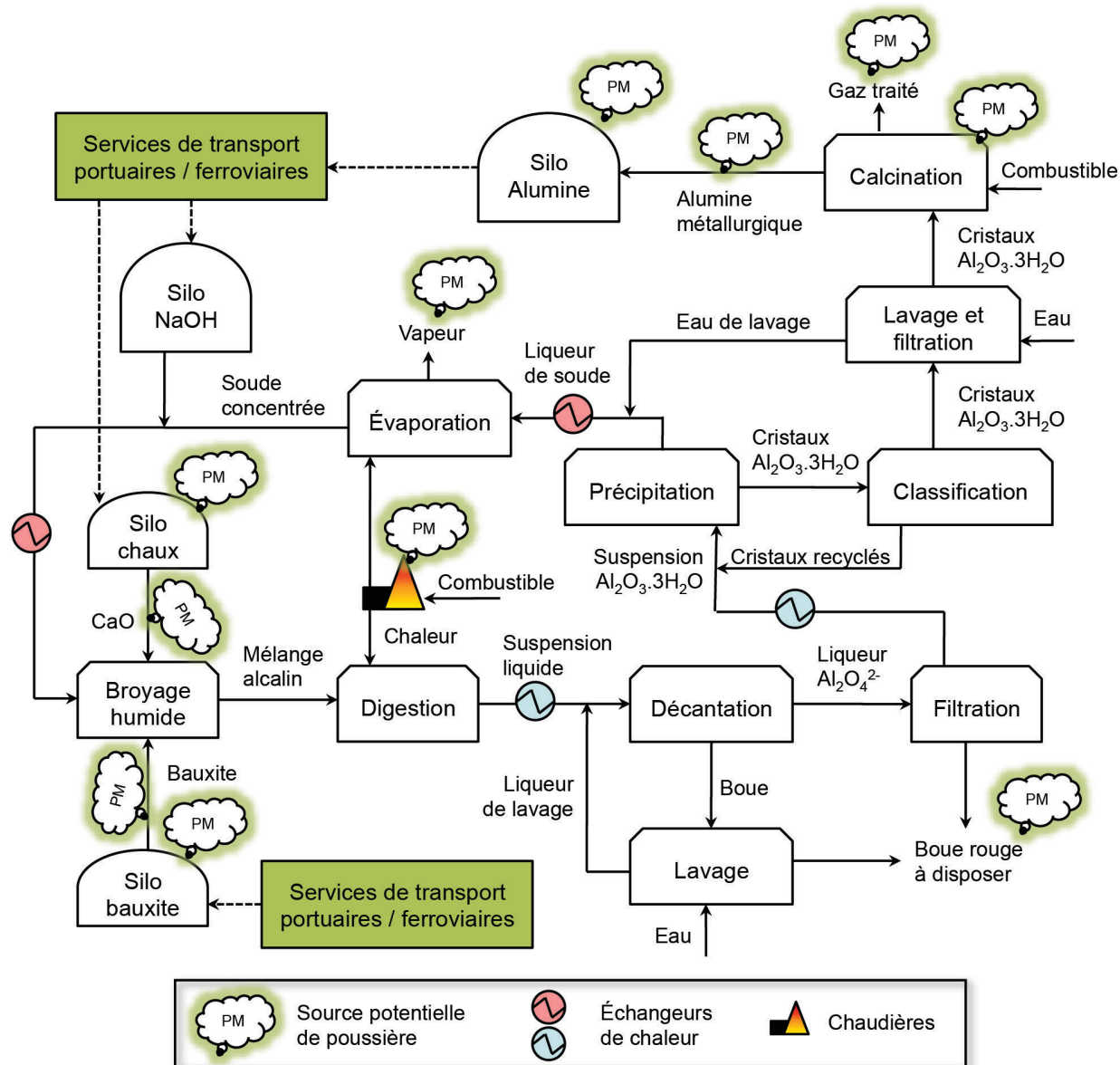


Schéma d'écoulement typique du procédé Bayer. Les différentes usines peuvent exploiter certaines variantes qui ne sont pas représentées dans ce schéma.

Figure 2-4 : Schéma de principe d'une usine de production d'alumine (procédé Bayer) avec les sources potentielles d'émissions de particules

3. SOURCES DE PARTICULES

En marge des activités d'exploitation exposées à la section 2, cette section présente une vue d'ensemble des situations pouvant conduire à des rejets de particules dans l'environnement de travail ou à l'atmosphère. Les figures 2-1 à 2-4 localisent ces sources potentielles de particules qui ont été considérées lors du déploiement du code. La liste complète est présentée au tableau 3-1. À noter que les rejets de particules liés aux services de transport portuaires et/ou ferroviaires des différentes matières ne sont pas inclus.

Il est important de préciser que ce sont les sources de particules totales qui sont identifiées dans cette section alors que les particules fines, plus précisément les $P_{2,5}$, en sont difficilement dissociables. Les bonnes pratiques ont donc été élaborées pour le contrôle des particules totales menant à une réduction des émissions de $P_{2,5}$ en complément. Il est par contre difficile d'établir avec certitude la proportion de $P_{2,5}$ pour chaque source de particules totales. C'est pourquoi l'efficacité de contrôle des émissions de $P_{2,5}$ n'est pas discutée dans ce code.

3.1 Usine de réduction d'alumine

L'usine de réduction d'alumine en aluminium métallique est la source principale de pollution atmosphérique parmi les différentes activités associées à l'industrie de l'aluminium primaire. Cette pollution est essentiellement liée au processus d'électrolyse dans le bain cryolithique libérant, entre autres, des gaz fluorés (p.ex., du fluorure d'hydrogène (HF) et des perfluorocarbures (PFC)), du SO_2 et des particules découlant des anodes, de l'alumine et du bain cryolithique (particules fluorées). Il a été démontré que les particules émises dans les salles de cuves proviennent principalement des fumées de bain et du produit de couverture.⁶ Les rejets de particules sont donc inévitables. Il existe par contre une relation complexe entre le niveau de particules dégagées dans la salle de cuves, les mécanismes de génération de particules et les facteurs qui les influencent (p.ex., technologie d'électrolyse, qualité des matières premières, méthodes de travail, transport et manutention).

Dans une aluminerie, on retrouve des émissions de sources fixes (p.ex., CTG, dépoussiéreurs) et des émissions fugitives survenant lors de la manipulation des matières solides (p.ex., alumine) et de l'exploitation des cuves d'électrolyse, du centre de coulée et du CTG. Le niveau d'émissions de particules à la sortie du CTG dépend fortement de l'efficacité du filtre à manche en aval de l'épurateur à sec. Un contrôle et maintien assidu du CTG permet de tenir les rejets de particules de l'unité au minimum, soit au niveau d'efficacité de conception du filtre à manche. La capture des particules fines est toutefois très exigeante ne pouvant pas prévenir totalement la pénétration des particules très fines. Celles-ci représentent typiquement plus de 70 % des particules dégagées à l'atmosphère par le filtre à manche.

En ce qui concerne les émissions fugitives, on note deux sous catégories, soit les émissions plutôt discontinues survenant lors d'activités opératoires (p.ex., ouverture des capots lors du changement des anodes, coulée du métal, etc.) et les émissions plutôt continues découlant de fuites (p.ex., fuites par la superstructure, fuites par le système de manutention de l'alumine). Celles-ci peuvent être réduites à un minimum pourvu que les équipements soient conçus, opérés, et maintenus adéquatement. À noter que la majorité des émissions fugitives sont évacuées par les événements de toit de la salle de cuves et ne subissent pas de traitement particulier.

⁶ Wong, D. S., Tjahjono, N. I., Hyland, M. M., Visualising the sources of potroom dust in aluminium smelters, Light Metals 2012, p.833-838.

Tableau 3-1 : Sources potentielles de particules par activité

Activité	Exploitation des procédés	Centre de traitement des gaz (épurateurs)	Manutention et entreposage des matières
Usine de réduction d'alumine	<p>Changement des anodes (S01);</p> <p>Soutirage et transfert du bain cryolithique liquide d'une cuve à une autre (S02);</p> <p>Soutirage de l'aluminium en fusion dans un creuset de coulée (S03);</p> <p>Coulée et écumage de l'aluminium en fusion (S04);</p> <p>Mesures et échantillonnages dans les cuves (S05);</p> <p>Fuites par la superstructure et les conduits d'extraction des fumées (S06).</p>	<p>Gaz de cheminée après traitement (S16);</p> <p>Fuites par le CTG (S17).</p>	<p>Dépoussiéreurs d'alumine (S24);</p> <p>Fuites par les systèmes de manutention de l'alumine (S25);</p> <p>Pertes aux silos d'entreposage (S26);</p> <p>Transport des mégots d'anodes et du bain résiduel vers la fabrique d'anodes précuites (S27).</p>
Fabrique d'anodes précuites	<p>Nettoyage à sec des mégots d'anodes avec des outils mécaniques et de grenailage (S07);</p> <p>Concassage du bain figé récupéré lors du nettoyage des mégots d'anodes (S08);</p> <p>Concassage, broyage, et tamisage du coke calciné (S09);</p> <p>Pertes par le four de cuisson (S10);</p> <p>Gaz de combustion du four à induction de la fonte (S11).</p>	<p>Gaz de cuisson après traitement au CTF (S18);</p> <p>Gaz de cheminée après traitement au CTFB (S19);</p> <p>Fuites au CTF et au CTFB (S20).</p>	<p>Dépoussiéreurs d'alumine et de coke calciné (S28);</p> <p>Fuites par les systèmes de manutention de l'alumine, du coke calciné et du bain figé broyé (S29);</p> <p>Pertes aux silos d'entreposage (S30).</p>
Usine de calcination du coke vert	<p>Pertes par le four rotatif de calcination (S12).</p>	<p>Gaz de calcination après traitement (S21);</p> <p>Gaz de refroidissement après traitement (S22);</p> <p>Fuites par les systèmes de traitement des gaz de calcination (S23).</p>	<p>Dépoussiéreurs de coke calciné et sous calciné (S31);</p> <p>Fuites liées aux systèmes de manutention du coke vert, calciné et sous calciné (S32);</p> <p>Pertes à la station de déchargement et aux silos d'entreposage (S33).</p>
Usine d'affinage de la bauxite	<p>Calcination de l'alumine hydratée (S13);</p> <p>Gaz de combustion des chaudières à vapeur (S14);</p> <p>Évaporation de la liqueur Bayer (S15).</p>		<p>Dépoussiéreurs de bauxite et d'alumine métallurgique (S34);</p> <p>Fuites liées aux systèmes de manutention de la bauxite et de l'alumine métallurgique (S35);</p> <p>Pertes par les silos et aires d'entreposage (S36);</p> <p>Soulèvement éolien des particules en provenance des haldes de boues rouges (S37).</p>

3.2 Fabrique d'anodes précuites

Les particules se manifestent à plusieurs niveaux, notamment lors du concassage et broyage du coke et du bain dont les émissions peuvent être considérables, mais grandement contrôlées par les systèmes de collecte et de dépoussiérage. La cuisson est également une grande source de particules dont le taux d'émissions dépend de la configuration du four (p.ex., type ouvert avec flux horizontal vs type fermé avec flux vertical) et de l'efficacité du filtre à manche au centre de traitement des fumées (CTF). Le CTFB est également responsable de rejets de particules notamment dus à l'injection de coke et non aux fumées. La concentration des particules dans les gaz de cheminée est peu élevée, mais avec des effluents gazeux plus volumineux, les débits massiques de particules deviennent significatifs. Les autres sources de particules comprennent les systèmes de manutention pneumatique et mécanique du coke calciné et de l'alumine qui sont normalement équipés de hottes et de dépoussiéreurs aux différents points de chute.

3.3 Usine de calcination du coke vert

Les systèmes d'épuration des gaz de calcination et de refroidissement sont aménagés prioritairement pour le contrôle des particules de coke entraînées par les flux gazeux. La majorité des particules après traitement découlent du pyroépurateur (ou bouilloire en plus d'un filtre à manche) qui doit traiter un plus grand débit de gaz comparé à l'épurateur humide qui traite essentiellement un flux de vapeur. D'autres émissions de particules peuvent survenir, particulièrement lors de la manutention par convoyeur fermé des différentes formes de coke. Aux différents points de chute, les convoyeurs sont normalement équipés de hottes et de dépoussiéreurs, surtout pour le coke calciné qui a une texture plutôt poudreuse.

3.4 Usine d'affinage de la bauxite

Le procédé Bayer opère principalement dans des conditions humides ce qui limite grandement le potentiel d'émissions fugitives de particules à l'air ambiant. En fait, la source principale de particules est le calcinateur d'alumine en plus des chaudières qui sont alimentées soit en mazout, en gaz naturel, ou en électricité à l'usine Vaudreuil, selon les conditions de marché du moment. Les concentrations de particules sont évidemment plus importantes lorsque le mazout est utilisé. Une autre source importante est le four à chaux pour la production de chaux vive (CaO) dont la fonction principale est de séquestrer le phosphore et d'améliorer la solubilité de l'alumine dans la liqueur Bayer. Ce procédé n'est toutefois pas considéré dans ce code étant donné que l'usine Vaudreuil n'en exploite pas. Il en est de même pour le broyage humide de la bauxite (cas usine Vaudreuil) qui, contrairement aux broyeurs à boulets, n'est pas disposé à générer des particules. Finalement, la manutention et l'entreposage des matières premières (bauxite, chaux), de l'alumine calcinée et des boues rouges peuvent également conduire à des émissions de particules, celles-ci à l'exception de la bauxite, étant toutes des matières poudreuses.

Le procédé Bayer engage plusieurs phases de lavage des cristaux (figure 2-4) pour la récupération de la soude caustique occasionnant par le fait même une dilution progressive de la liqueur Bayer. L'élimination par évaporation de cette eau en excès est nécessaire afin de maintenir la concentration du NaOH à un niveau acceptable pour la digestion de la bauxite. Par contre, ce faisant, il est possible que des particules microscopiques (aérosols) de soude caustique soient entraînées avec la vapeur d'eau. Par contre, en absence d'études concrètes sur ce sujet, il nous est impossible d'établir de bonnes pratiques à ce niveau. Il est clair toutefois que ces aérosols seraient libérés à l'atmosphère avec la vapeur le cas échéant.

4. PRATIQUES RECOMMANDÉES EN MATIÈRE DE CONTRÔLE DES ÉMISSIONS DE $P_{2,5}$

Cette section présente les mesures recommandées permettant d'atténuer les émissions de particules dont les $P_{2,5}$ découlant des différents procédés associés au secteur de l'aluminium primaire. Les recommandations ont été subdivisées en six catégories, soit :

- Exploitation de l'usine de réduction d'alumine;
- Exploitation de la fabrique d'anodes précuites;
- Suivi et entretien des installations;
- Centres de traitement des effluents gazeux et autres épurateurs;
- Manutention et entreposage des matières;
- Combustibles.

Chaque recommandation suivie d'une brève discussion est associée à une ou plusieurs sources de particules répertoriées au tableau 3-1. Quoique difficile à établir avec certitude, les émissions de $P_{2,5}$ n'étant pas quantifiables avec précision au moment de l'élaboration de ce rapport, les recommandations sont énoncées en ordre d'importance (par catégorie) de manière subjective relativement à la portée des réductions potentielles des émissions de $P_{2,5}$.

4.1 Exploitation de l'usine de réduction d'alumine

L'évolution constante des technologies d'électrolyse permet, à chaque nouvelle usine, d'améliorer la performance énergétique et environnementale de l'industrie de l'aluminium primaire. L'efficacité d'extraction des fumées dans les cuves suit cette même tendance diminuant ainsi les émissions fugitives de particules dans la salle de cuves dont l'air ambiant n'est pas traité. Hormis l'installation de nouveaux épurateurs, l'optimisation des méthodes d'exploitation des cuves d'électrolyse et en une moindre mesure de la qualité des matières premières (anodes précuites scellées, bain cryolithique, alumine) est la meilleure approche à suivre pour la réduction de la pollution atmosphérique d'une installation existante. Ceci est vrai autant pour les rejets gazeux que pour les particules fines qui agissent plutôt comme un gaz et restent en suspension dans l'air ambiant.

Bien que peu d'études aient été réalisées à propos des rejets de particules par le procédé d'électrolyse, il semble a priori que des projections de particules fluorées (p.ex., Na_3AlF_6 , $\text{Na}_5\text{AlF}_{14}$, NaAlF_4 , AlF_3 , CaF_2) surviennent soit par vaporisation puis condensation de l'électrolyte, par entraînement avec les gaz ou par réaction chimique dans le gaz.⁷ Environ 50 % des émissions de fluorures par les cuves seraient des particules dont 70 % d'entre elles (35 % sur le total) seraient des $P_{2,5}$ condensables. Ainsi, en présence de mécanismes d'émissions reconnus, on peut affirmer que les activités d'exploitation d'une usine d'électrolyse sont responsables d'émissions de $P_{2,5}$.

⁷ Gaertner, H. et al., Particulate emissions from electrolysis cells, Light Metals 2011, p. 345.

4.1.1 Ouverture des capots des cuves d'électrolyse

RECOMMANDATION A01 – Optimiser les méthodes de travail permettant d'ouvrir un minimum de capots à la fois et les ouvrir seulement lorsque le travail débute. Fermer le capot dès que le travail est terminé.

SOURCES VISÉES – S01-S05

L'exploitation d'une usine de réduction d'alumine nécessite des interventions périodiques dans les cuves d'électrolyse. Que ce soit pour le changement d'anodes, le soutirage du métal en fusion ou du bain cryolithique, ou pour le chargement du bain cryolithique, chacune de ces opérations requiert l'ouverture des capots ce qui exacerbe les fuites de particules fines dans la salle de cuves. Il a été démontré que les émissions de HF liées à ces interventions représentent environ 60 % des émissions de HF de l'usine incluant les émissions du CTG.^{8,9} L'optimisation des méthodes de travail afin de minimiser le nombre de capots ouverts simultanément et leurs temps d'ouverture est la meilleure approche afin de contrôler ces émissions. Les émissions de HF (et donc de P_{2,5}) augmentent avec le nombre de capots d'ouverts simultanément.¹⁰ Il ne faut donc pas laisser les capots ouverts sans raison.

4.1.2 Système d'extraction des gaz

RECOMMANDATION A02 – Procéder à un diagnostic régulier de la performance d'extraction des ventilateurs en fonction de la puissance appliquée, du débit et de la perte de charge. Ajuster au besoin afin de maximiser le débit d'extraction.

SOURCES VISÉES – S01-S06, S16-S23

Les gaz et particules libérés sous le capot des cuves sont continuellement aspirés et acheminés vers le CTG par un conduit principal. L'efficacité d'extraction des fumées dépend largement de la configuration de la superstructure qui doit contenir un minimum de brèches. Ceci permet de maximiser la pression négative dans les cuves en fonction de la puissance d'aspiration du ventilateur en aval. Lorsqu'un ou des capots sont ouverts, la pression négative diminue localement et peut même être inversée, ce qui réduit la capacité d'aspiration vers le CTG et donc, résulte en une augmentation des fuites dans le bâtiment. Les cuves situées aux extrémités des salles de cuves (les plus éloignées du ventilateur) peuvent être plus sujettes à une diminution de la capacité d'aspiration. La baisse d'efficacité du système en place est un autre aspect réduisant la capacité d'extraction des particules vers le CTG. À ce niveau, il est conseillé d'établir un programme de suivi et d'entretien des ventilateurs afin de maximiser en tout temps le débit d'extraction en fonction de la puissance applicable. Cette recommandation s'applique pour tous les épurateurs de gaz employant un ventilateur.

⁸ Broek, S., et al., Considerations regarding high draft ventilation as an air emission reduction tool, Light Metals 2011, p. 361.

⁹ Aljabri, N. et al., HF emission from Dubal's electrolysis cell, Light Metals 2003, p. 487.

¹⁰ Dando, N. R., Tang, R., Impact of tending practices of fluoride evolution and emission from aluminum smelting pots, Light Metals 2006, p. 203.

4.1.3 Changement des anodes précuites

RECOMMANDATION A03 – Optimiser les méthodes de travail afin de minimiser le temps requis pour le changement des anodes et leur recouvrement avec un produit de couverture.

SOURCE VISÉE – S01

Le changement des anodes mène à d'importantes émissions fugitives dans la salle de cuves. En général, cette activité consiste à ouvrir le capot de la cuve, à briser la croûte autour du mégot d'anode, à marquer la hauteur du mégot d'anode dans la cuve, à retirer le mégot d'anode, à nettoyer la cavité avec un extracteur adapté (p.ex., type Pacman) et à placer la nouvelle anode dans la cavité. Cette procédure prend typiquement plus de 10 minutes et doit être effectuée avec diligence afin de prévenir des problèmes opérationnels.¹¹ Il est donc conseillé de développer et d'appliquer une méthode de travail efficace permettant de minimiser le temps nécessaire pour le changement d'anodes (p.ex., nettoyer la cavité avec l'extracteur immédiatement après avoir retiré le mégot d'anode; placer le plateau recueillant le mégot d'anode et le résidu de bain près de la cuve).

4.1.4 Croûte d'alumine recouvrant le bain cryolithique

RECOMMANDATION A04 – Instaurer un programme de surveillance des fissures dans la croûte, soit par inspection visuelle ou par système automatisé. S'assurer que le produit de couverture est approprié et efficace comme scellant.

RECOMMANDATION A05 – Recouvrir le trou de coulée avec un produit de couverture une fois le travail de soutirage ou d'échantillonnage terminé.

SOURCES VISÉES – S01-S06, S16, S17

Un facteur important agissant sur le taux d'émissions de fluorures des cuves est l'intégralité de la croûte d'alumine et de cryolithe recouvrant le bain cryolithique qui agit comme barrière physique contre la migration des gaz.¹² En effet, il a été démontré maintes fois que l'intensité des émissions est corrélée avec l'étendue des trous et fissures dans la croûte.¹³ Ces brèches sont créées notamment lors de l'alimentation de l'alumine avec le piqueur doseur, du siphonnage du métal ou du bain par le trou de coulée, et du travail associé à la suppression de l'effet anodique. Un mauvais recouvrement des nouvelles anodes est une autre cause. Ainsi, un programme de surveillance (visuel ou automatisé) s'assurant que la croûte contienne et subisse un minimum de fissures réduirait les rejets de particules à la source. De plus, il est recommandé de recouvrir les trous de coulée avec un produit de couverture aussitôt l'échantillonnage ou le soutirage du métal en fusion / bain cryolithique terminé.

Étant de nature hétérogène, la composition du produit de couverture peut varier et avoir un impact direct sur la qualité de la croûte.¹⁴ En marge du programme de surveillance des fissures, il est également conseillé d'établir un contrôle assidu du produit de couverture afin de prévenir, entre autres, l'apparition chronique de fissures dans la croûte.

¹¹ Lindsay, S. J., Effective techniques to control fluoride emissions, Light Metals 2007, p. 199.

¹² Tarcy, G.P., The affect of pot operation and work practices on gaseous and particulate fluoride evolution, Light Metals 2003, p. 193.

¹³ Slaugenhaupt, M. L., et al., Effect of open holes in the crust on gaseous fluoride evolution from pots, Light Metals 2003, p. 199.

¹⁴ Tessier, J. et al., Image analysis for estimation of anode cover material composition, Light Metals 2008, p. 293.

4.1.5 Soutirage du métal en fusion et du bain cryolithique

RECOMMANDATION A06 – Lors d'activités de soutirage, rediriger les fumées évacuées par le creuset dans l'enceinte de la cuve à l'aide d'un tuyau flexible.

SOURCES VISÉES – S02, S03

L'aluminium métallique produit par électrolyse se dépose à la surface de la cathode au fond de la cuve et y est normalement extrait sur une base journalière afin de maintenir une hauteur optimale. Pour ce faire, un creuset calorifuge équipé d'un siphon est utilisé. Normalement, cette activité consiste à ouvrir le capot de la cuve, à préparer un trou de coulée dans la croûte, à brancher le tuyau de ventilation et l'air comprimé sur le creuset, à placer le siphon dans le trou de coulée, à soutirer le métal dans le creuset, à retirer le creuset lorsque le soutirage est terminé, à sceller le trou de coulée et à fermer le capot. Le soutirage du bain cryolithique suit la même procédure de base et est surtout appliqué pour le maintien de la hauteur de bain gouvernant l'équilibre thermique et la dissolution de l'alumine. La portée des émissions fugitives associées à ce travail est intimement liée au temps d'ouverture des capots (voir Recommandation A01), mais également au gaz expulsé par la prise d'air du creuset. Ce gaz est constitué d'air mélangé à des vapeurs de cryolithe. Il est donc conseillé de transférer ces gaz dans l'enceinte de la cuve afin qu'ils soient captés et traités au CTG au lieu d'être expulsés dans la salle des cuves.

4.1.6 Éclaboussures et déversements de bain cryolithique

RECOMMANDATION A07 – Minimiser et récupérer les déversements et éclaboussures de bain cryolithique sur le plancher.

RECOMMANDATION A08 – Verser le bain dans le chenal de coulée vers la cuve à une vitesse optimale afin de réduire le temps de coulée tout en évitant les éclaboussures. Éviter de verser trop lentement.

RECOMMANDATION A09 – Nettoyer le résidu de bain cryolithique dans le chenal de coulée vers la cuve avec une bêche (ou équivalent) lorsque le chargement est terminé.

SOURCES VISÉES – S01, S02

Après avoir été soutiré d'une cuve, le bain cryolithique liquide peut être déchargé dans une autre cuve dont la hauteur de bain est basse. Cette activité consiste normalement à ouvrir le capot, à positionner le chenal de coulée, à positionner le creuset près du chenal et ouvrir le bec verseur du creuset, à verser le bain dans la cuve par le chenal et le trou de coulée, à retirer le creuset et le chenal lorsque le chargement est terminé et à fermer le capot. Les rejets de particules associés au chargement du bain cryolithique sont intimement liés à l'ouverture des capots (voir Recommandation A01) et à l'exposition du bain cryolithique chaud dans le chenal de coulée situé à l'extérieur de l'axe de la hotte. Un accroissement des rejets reste de plus inévitable si un déversement de bain survient lors de la coulée ou que le bain résiduel dans le chenal n'est pas nettoyé immédiatement après la coulée. Les pertes de bain cryolithique sur le plancher peuvent également survenir lors du changement d'anodes. Une méthode de travail permettant de restreindre ces circonstances réduirait le taux d'émissions dans la salle de cuves.

4.1.7 Écumage de la charbonnaille

RECOMMANDATION A10 – Refroidir la charbonnaille (écume de carbone) chaude à l'intérieur de l'enceinte de la cuve. Minimiser son temps de séjour dans la salle de cuves à un minimum.

SOURCES VISÉES – S02, S03, S05

La propagation de la charbonnaille dans le bain électrolytique est un phénomène dont la portée est liée à la qualité des anodes et aux conditions d'opération appliquées. L'oxydation sélective du brai de goudron relâchant les grains de coke, l'usure de la cathode, et l'ajout de carbone par le produit de couverture et l'alumine enrichie sont les mécanismes principaux d'accumulation de matières de carbone.¹⁵ Cette matière peut causer une augmentation de la résistance électrique dans le bain résultant à une augmentation de la température et une baisse du rendement en courant sans compter une augmentation du taux de consommation anodique. Il est donc essentiel de retirer la charbonnaille régulièrement. La charbonnaille chaude fraîchement recueillie est imprégnée de cryolithes amplifiant la diffusion de particules fluorées à l'air ambiant. Dans cette optique, il est recommandé de laisser refroidir la charbonnaille à l'intérieur de l'enceinte de la cuve (déposée sur la croûte) afin de capter un maximum des émissions de P_{2,5} y découlant qui seront ventilées et traitées au CTG.

4.1.8 Contrôle des paramètres opératoires

RECOMMANDATION A11 – Contrôler et maintenir la hauteur du bain dans la cuve à un niveau optimal afin de prévenir un accroissement involontaire de la température du bain et un contact direct avec de l'air humide. Ces deux phénomènes accentuent la formation de particules fluorées.

SOURCES VISÉES – S01-S06, S16, S17

Du point de vue environnemental, il est recommandé que le bain ne soit pas ou peu en contact avec de l'air sous la croûte afin de limiter la formation de HF et de particules fluorées selon des mécanismes impliquant l'humidité.¹⁶ De plus, en contrôlant la hauteur du bain et l'épaisseur de la croûte, l'équilibre thermique peut être maintenu plus facilement prévenant ainsi un accroissement involontaire de la température et donc, des rejets de HF et microparticules fluorées.

RECOMMANDATION A12 – Prévenir, contrôler et minimiser l'effet anodique. Après la suppression manuelle ou automatique de l'effet anodique, recouvrir les fissures avec un produit de couverture.

SOURCES VISÉES – S01-S06, S16, S17

L'effet anodique est un phénomène qui afflige l'électrolyse avec une augmentation soudaine du voltage et diminution de l'ampérage. Ceci est dû à la présence d'un film de gaz à la surface de l'anode qui doit être dégagé soit manuellement (avec une longue tige) ou par un système automatisé. Dans les deux cas, la croûte en est affectée avec l'apparition de fissures ce qui augmente le taux d'émissions. L'opérateur doit donc s'assurer de minimiser l'effet anodique et de sceller les fissures avec un produit de couverture dès qu'elles surviennent (voir Recommandation A04). De façon générale, les alumineries modernes préviennent

¹⁵ Gudmundsson, H., Anode dusting from a potroom perspective at Nordural and correlation with anode properties, Light Metals 2011, p. 471.

¹⁶ Light Metals Research Centre, Fluoride emissions management guide (FEMG), Version 4, Février 2011.

les effets anodiques en injectant automatiquement de l'alumine dès que le voltage augmente dans la cuve.

4.1.9 Coulée de l'aluminium en fusion

RECOMMANDATION A13 – Maximiser le rendement du centre de coulée. Limiter les rejets.

SOURCE VISÉE – S04

L'aluminium liquide dans le creuset est transporté vers le centre de coulée où il est transféré dans un four de maintien et possiblement allié avec d'autres métaux. Le métal fondu est graduellement déplacé vers une machine de coulée pour former des lingots de différentes formes selon les spécifications du client. La coulée de l'aluminium est une source de particules métalliques qui sont normalement collectées et traitées par un dépoussiéreur résultant à des taux d'émissions très faibles.¹⁷ Ainsi, du point de vue environnemental, l'optimisation du rendement du centre de coulée (p.ex., minimisation des rejets d'aluminium) est conseillée afin de réduire la consommation d'énergie et la génération de polluants atmosphériques incluant les particules par tonne d'aluminium.

4.2 Exploitation de la fabrique d'anodes précuites

Les fabriques d'anodes précuites utilisent comme matière première le brai de goudron de houille (ou un équivalent), mais surtout le coke calciné (et possiblement le coke sous calciné) qui est à l'origine des particules tout au long du procédé de fabrication. Les seules exceptions impliquent les projections lors du nettoyage mécanique des mégots d'anodes et du concassage du bain figé qui génèrent des particules mixtes d'alumine, de cryolithe et de carbone. La plupart des étapes de fabrication des anodes génèrent des particules qui peuvent être difficilement évitées ou réduites à la source sans en affecter le procédé et la qualité des anodes. C'est le cas pour les stations de nettoyage mécanique des mégots d'anodes, de concassage du bain figé et de concassage, broyage et tamisage du coke calciné sur lesquelles il faut installer des systèmes d'aspiration des particules afin d'assurer un environnement de travail sécuritaire. Le four de cuisson des anodes est également une source majeure de particules tant à la cheminée que dans le bâtiment où le four est installé.

4.2.1 Four de cuisson

RECOMMANDATION B01 – Exploiter un système efficace de remplissage des fosses du four de cuisson avec du coke de garnissage permettant de limiter les pertes de coke dans le bâtiment. Former les opérateurs afin de standardiser les méthodes de travail entourant la manipulation du coke de garnissage.

SOURCE VISÉE – S10

Un four de cuisson conventionnel est composé de quelques dizaines de sections placées en série sur deux rangées parallèles connectées ce qui permet au feu mobile de progresser de façon continue. Chaque section comporte plusieurs fosses dans lesquelles les anodes crues sont placées et recouvertes de coke de garnissage qui permet un bon échange thermique en plus de protéger les anodes contre l'oxydation de l'air. Lorsque le cycle de cuisson est terminé pour une section, une grue spécialisée retire les anodes cuites puis charge de nouvelles anodes crues en plus du coke de garnissage. Cette étape est ainsi responsable d'importantes

¹⁷ European Commission, Integrated pollution prevention and control – Reference Document on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries, Juillet 2009.

projections de particules sur le lieu de travail si elle n'est pas exécutée convenablement.¹⁸ L'intégration d'un système ou d'une méthode de travail permettant de limiter ces projections de coke à un minimum est recommandée.

RECOMMANDATION B02 – Exploiter et faire le suivi de la pression négative dans le four de cuisson.

SOURCE VISÉE – S10

La cuisson des anodes s'effectue en milieu fermé sans être complètement étanche étant donné que les sections doivent être régulièrement libérées pour charger et décharger les anodes. L'air distribué en aval du feu mobile entraînant les gaz de combustion et les particules pourrait donc fuir la structure, surtout au niveau des points d'accès entre les sections qui sont normalement recouverts de barrières flexibles lorsqu'en mode de chargement. Par contre, le four étant maintenu en pression négative, cette barrière empêche surtout l'entrée d'air froid dans la section chauffée pouvant susciter la condensation de composés volatils et la formation d'espèces chimiques corrosives (p.ex., HF, H₂SO₃) dans les conduites de gaz.¹⁹ La pression négative permet ainsi de limiter à un minimum les fuites de particules dans le bâtiment à partir du four.

4.2.2 Nettoyage des mégots d'anodes

RECOMMANDATION B03 – Exploiter des systèmes efficaces d'extraction et de filtration de l'air poussiéreux pour le procédé de nettoyage des mégots d'anodes.

SOURCE VISÉE – S07

Les mégots d'anodes issus du procédé de réduction d'alumine sont refroidis et placés dans un entrepôt. Ils sont ensuite placés à tour de rôle sur un convoyeur aérien qui les transfère vers l'atelier de scellement des anodes où le bain figé est extrait suivant des étapes successives de prénettoyage (fragmentation du bain figé à l'aide d'outils mécaniques), nettoyage (brossage rotatif des blocs de carbone) et grenaillage. Ces étapes produisent en moyenne 4 – 5 kg de bain fragmenté par anode ce qui cause un environnement poussiéreux.²⁰ Ainsi, à chacune de ces stations, le mégot est placé à l'intérieur d'une enceinte scellée permettant de réduire l'impact environnemental, mais également de protéger les systèmes mécaniques et hydrauliques contre la poussière. Il est donc recommandé d'exploiter des systèmes efficaces d'extraction d'air (cloisonnés ou pas) et de dépoussiérage. Le suivi continu ou semi-continu des émissions de particules à la sortie des dépoussiéreurs permettrait de garantir leur efficacité. Dès qu'une augmentation soudaine des émissions est observée, il serait une bonne pratique d'enquêter rapidement sur la cause et d'apporter les correctifs nécessaires dans les plus brefs délais (se référer à la Recommandation E01).

¹⁸ de Vasconcelos, P. D. S., Mesquita, A. L. A., Environmental improvements during the handling of packing coke at the Albras' bake furnace, Light Metals 2009, p. 1049.

¹⁹ Mahieu, P. et al., High performance sealing for anode baking furnaces, Light Metals 2011, p. 881.

²⁰ Dupas, N., New rodding shop solutions, Light Metals 2008, p. 899.

4.2.3 Concassage du bain figé

RECOMMANDATION B04 – Traiter les gaz issus du concasseur de bain figé à l'aide de dépoussiéreurs ou au CTG de l'usine de réduction d'alumine ou au CTF du four de cuisson des anodes.

SOURCE VISÉE – S08

Les résidus de bain extraits des mégots lors des différentes étapes de nettoyage sont récupérés sous les instruments puis transférés vers un concasseur afin d'obtenir une matière suffisamment granuleuse pour être recyclés dans les cuves d'électrolyse comme produit de couverture. Les exploitants doivent alors traiter l'air issu du concasseur à l'aide de dépoussiéreurs ou au CTG de l'usine de réduction d'alumine ou au CTF du four de cuisson des anodes. Les bonnes pratiques d'exploitation du CTG ou CTF sont applicables dans ce cas-ci (voir section 4.4).

4.3 Suivi et entretien des installations

Les émissions fugitives de particules et d'autres contaminants surviennent lors d'activités opératoires, mais également par des brèches découlant d'une usure prématurée (ou attendue) de la structure et des équipements en contact avec les gaz de procédé. Ces brèches peuvent être réduites à un minimum pourvu que les équipements soient conçus, opérés, et maintenus adéquatement. À noter que la majorité des émissions fugitives sont évacuées par les événements de toit de la salle de cuves et ne subissent pas de traitement particulier.

4.3.1 Activités de maintenance

RECOMMANDATION C01 – Faire une inspection régulière selon un horaire planifié des installations de l'usine de réduction d'alumine incluant les conduits d'évacuation des fumées, le système d'alimentation de l'alumine et la superstructure des cuves. Lorsqu'un bris ou une défectuosité est constaté, faire les réparations ou remplacements appropriés dès que possible.

RECOMMANDATION C02 – Faire une inspection régulière selon un horaire planifié des installations de la fabrique d'anodes précuites incluant les systèmes de nettoyage des mégots d'anodes, de concassage du bain figé, de broyage et tamisage du coke calciné ainsi que le four de cuisson. Lorsqu'un bris ou une défectuosité est constaté, faire les réparations ou remplacements appropriés dès que possible.

RECOMMANDATION C03 – Faire une inspection régulière selon un horaire planifié des installations liées à la calcination du coke vert et son refroidissement incluant les joints d'étanchéité et autres dispositifs pouvant conduire potentiellement à une fuite de gaz. Lorsqu'un bris ou une défectuosité est constaté, faire les réparations ou remplacements appropriés dès que possible.

RECOMMANDATION C04 – Faire une inspection régulière selon un horaire planifié des installations liées à la calcination de l'alumine ainsi que des chaudières à l'usine d'affinage de la bauxite. Lorsqu'un bris ou une défectuosité est constaté, faire les réparations ou remplacements appropriés dès que possible.

SOURCES VISÉES – S06-S10, S12-S14

A priori, les cuves de réduction d'alumine avec technologie à anodes précuites ne sont pas totalement hermétiques ce qui occasionne des émissions fugitives continues par les ouvertures. Avec l'âge, la superstructure peut également perdre de son étanchéité, ce qui amplifie le problème. Ainsi, les joints de dilatation, les joints d'étanchéité en caoutchouc, les joints statiques, etc., doivent être inspectés périodiquement et aussitôt réparés si défectueux. D'autres points névralgiques incluent la jonction entre la superstructure et le conduit principal des fumées, les fissures dans le conduit d'alimentation de l'alumine et les dommages sur la superstructure.²¹ Cette recommandation s'applique pour toutes les activités impliquées dans ce code.

RECOMMANDATION C05 – Mettre en œuvre un plan de formation des employés sur l'approche à suivre afin de prévenir l'usure prématurée et les bris intempestifs dus à une mauvaise exploitation des installations.

SOURCES VISÉES – S06-S10, S12-S14

Plusieurs défauts (pas toutes) peuvent être causés par une mauvaise installation ou exploitation. Ainsi, il serait conseillé d'établir, en plus d'un programme d'inspection et de réparation des infrastructures, un plan de formation des employés sur l'approche à suivre afin de prévenir ces situations.

4.3.2 Activités de nettoyage à l'usine de réduction d'alumine

RECOMMANDATION C06 – Utiliser un aspirateur de type HEPA pour le nettoyage du plancher de la salle de cuves.

RECOMMANDATION C07 – Nettoyer régulièrement le plafond des cuves.

RECOMMANDATION C08 – Dégager régulièrement les résidus solides fixés sur le piqueur doseur afin de réduire la taille du trou dans la croûte après injection et donc, les émissions (corollaire à la Recommandation A05).

SOURCES VISÉES – S01-S06, S16, S17

Le nettoyage du plancher de la salle de cuves est un aspect à inclure dans un programme d'entretien. Dans ce sens, il faut éviter d'utiliser un système qui disperserait les poussières du sol dans l'air ambiant. L'utilisation d'un aspirateur est donc conseillée contrairement au nettoyage à l'air comprimé ou avec une balayeuse mécanique. Un nettoyage régulier du plafond des cuves où des résidus du bain cryolithique s'accumulent avec le temps est également conseillé afin de contrôler leurs diffusions dans la salle des cuves lors de l'ouverture des capots.

4.4 Centres de traitement des effluents gazeux et autres épurateurs

Les gaz et particules libérés sous le capot des cuves à l'usine de réduction sont continuellement aspirés et acheminés vers le CTG. Typiquement, un CTG consiste à collecter tout d'abord les fumées des cuves par un conduit principal puis à les distribuer dans des réacteurs verticaux dans lesquels de l'alumine fraîche (communément appelé alumine primaire) y est injectée à la base. L'objectif premier est d'intercepter les composés fluorés, nuisibles pour la santé et

²¹ Lindsay, S. J., Effective techniques to control fluoride emissions, Light Metals 2007, p. 199.

l'environnement. Que ce soit par injection d'alumine ou par lit fluidisé, le gaz épuré doit être dépoussiéré afin de récupérer l'alumine « fluorée » qui est utilisée comme matière première dans les cuves d'électrolyse. Le dépoussiéreur est un filtre à manche qui, selon sa configuration et ses paramètres d'opération, capte la majorité des particules de procédé (> 99 %)²² tout en consolidant la capture des composés fluorés gazeux sur le gâteau d'alumine s'accumulant sur les sacs. Ce procédé est considéré comme la meilleure pratique pour le traitement des gaz provenant des cuves d'électrolyse. Il demeure que le CTG et tout autre système de traitement des gaz doit être configuré et exploité convenablement afin de maximiser son rendement.

Les fabriques d'anodes précuites utilisent un procédé équivalent pour le traitement des gaz de cuisson des anodes crues au CTF contenant d'importants rejets de particules en plus des composés fluorés provenant des résidus de mégots d'anodes. Pour le traitement des fumées de brai, les fabriques d'anodes exploitent un épurateur à sec avec injection de coke calciné qui est spécialement adapté pour la capture des composés organiques. Toutes les fumées de brai sont ainsi canalisées vers le CTFB dont les installations sont similaires au CTF incluant un réacteur d'injection venturi multi compartimenté suivi d'un filtre à manche.²³ La majorité des particules à la cheminée du CTFB proviennent donc du coke injecté dont la propension à générer des P_{2,5} est équivalente à l'alumine.

D'autre part, les gaz chauds de calcination comprenant des gaz de combustion, des composés organiques imbrûlés et des particules de coke sont épurés, pour les usines de calcination canadiennes, par un pyroépurateur ou une bouilloire suivie d'un filtre à manche. Le gaz de refroidissement étant essentiellement un flux vapeur est quant à lui traité avec un épurateur humide de type venturi qui est adapté aux conditions humides.

Note : Dans cette section, le terme « épurateur » indique une des technologies décrites ci-dessus, soit le CTG, CTF, CTFB, pyroépurateur, bouilloire, suivi d'un filtre à manche et épurateur humide venturi.

4.4.1 Suivi des opérations (CTG, CTF, CTFB)

RECOMMANDATION D01 – Faire le suivi quotidien du débit de gaz pour chaque compartiment du filtre à manche à l'épurateur (lorsqu'applicable) tout en s'assurant qu'il est homogène. Faire le suivi de la perte de charge afin d'identifier les anomalies qui devront être corrigées.

SOURCES VISÉES – S16, S18, S19

Un centre de traitement des gaz est constitué de plus de 10 compartiments en parallèle (typiquement 12 à 14) incluant chacun un réacteur d'injection et une unité de filtration. Le flux gazeux quittant chaque compartiment est ensuite combiné et envoyé à la cheminée alors que l'adsorbant (alumine ou coke enrichi) est dirigé vers un silo d'entreposage. Les émissions de particules proviennent donc directement de l'unité de filtration. La capacité de filtration du filtre à manche est établie en fonction d'un rapport de débit sur la surface de filtration (*air to cloth ratio*) nécessitant ainsi un débit de gaz constant afin d'obtenir un rendement optimal. Un débit variable (à l'intérieur d'une plage donnée) parmi les compartiments dû à une perte de charge variable réduit la performance du filtre à manche. Il est donc important de faire un suivi régulier de la perte de charge et du débit dans les compartiments afin d'éviter notamment une usure prématurée des sacs.

²² Light Metals Research Centre, Fluoride emissions management guide (FEMG), Version 4, février 2011.

²³ Vendette, H., Anode paste plants : Innovative solution for optimum emission performances, Light Metals 2010, p. 993.

RECOMMANDATION D02 – Ajuster la fréquence et durée de nettoyage des filtres à manche à l'épurateur (lorsqu'applicable) permettant de balancer le débit de gaz pour chaque compartiment et maximiser le rendement de collecte.

SOURCES VISÉES – S16, S18, S19

L'augmentation de la perte de charge est causée notamment par la résistance d'écoulement dans les conduits de gaz, dans le réacteur d'injection et dans le filtre à manche. Le nettoyage des sacs permet de contrôler cette perte de charge et de maintenir le débit en fonction des paramètres de conception du filtre à manche. Il est donc important d'ajuster la fréquence et durée des nettoyages afin de maintenir un débit équilibré dans chaque compartiment.

RECOMMANDATION D03 – Dans la mesure du possible, limiter le recyclage de l'alumine enrichie dans les réacteurs d'injection du CTG et CTF sans influencer le captage du HF. Faire le suivi quotidien du taux de recyclage pour s'assurer qu'il est au point optimal. La mesure et le suivi de la concentration en fluorures dans l'alumine peuvent aussi être envisagés.

SOURCES VISÉES – S16, S18

Au CTG et CTF, une grande part de l'alumine enrichie est recyclée dans les réacteurs avec objectif de contrôler son niveau de production en fonction de la taille des silos et des besoins à l'usine de réduction d'alumine. Toutefois, l'alumine subit une attrition continue lors du processus augmentant ainsi la proportion de particules fines dans l'alimentation au CTG et CTF et donc, les émissions de $P_{2,5}$ à la cheminée.²⁴ D'autre part, la surface spécifique de l'alumine augmente ce qui améliore la capacité d'adsorption du HF. Une optimisation du niveau de recyclage est donc requise. À noter que cette recommandation ne s'applique pas au CTFB étant donné que le coke enrichi n'est normalement pas recyclé. Ce coke est plutôt retourné à l'atelier de pâte crue.

RECOMMANDATION D04 – Pour le CTF seulement, exploiter la tour de refroidissement de façon à capter la majeure partie des goudrons contenus dans le gaz de cuisson. Dans le cas contraire, ajouter un préfiltre (p.ex., garnissage en céramique) permettant de capter une majorité des particules et matières condensables, dont les goudrons.

SOURCE VISÉE – S18

Le CTF pour le traitement des gaz de cuisson des anodes exploite un procédé très similaire au CTG hormis l'ajout d'une tour de refroidissement en amont. Cette étape implique l'injection d'une quantité non saturante d'eau qui s'évapore en totalité tout en réduisant la température du gaz. Ce faisant, des quantités minimales de résidus de goudron incluant une petite fraction des matières solides entrantes sont collectées au bas de la tour. L'élimination du goudron est également primordiale pour le bon fonctionnement du réacteur d'injection d'alumine et du filtre à manche où des agglomérats pourraient se former en présence de ce goudron. Dans ce cas, le rendement du filtre à manche où la majorité des particules sont captées s'en retrouverait affecté.

²⁴ Iffert, M. et al., Reduction of HF emissions from the Trimet aluminum smelter, Light Metals 2006, p. 195.

4.4.2 Suivi des opérations (pyroépurateur)

RECOMMANDATION D05 – Optimiser les paramètres d'exploitation du pyroépurateur afin de maximiser l'incinération des particules de coke en plus des COV. Au besoin, faire le suivi avec un système de détection des particules à la sortie du pyroépurateur et ajuster en conséquence.

SOURCE VISÉE – S21

Le pyroépurateur comprend une chambre de combustion fermée, avec un revêtement intérieur de briques réfractaires, maintenue à plus de 1 000 °C dans laquelle de l'air y est injecté à plusieurs endroits afin d'optimiser la combustion.²⁵ Il est dimensionné selon le débit de gaz à traiter, le temps de séjour nécessaire pour compléter la combustion (10–12 s) et la configuration de l'équipement. La température et la concentration d'oxygène dans le pyroépurateur doivent également être contrôlées afin d'atteindre un rendement maximal. D'ailleurs, un suivi rigoureux des paramètres d'opération du pyroépurateur est conseillé afin d'atténuer l'effet des variations au four de calcination sur son rendement. Il demeure qu'une fraction des particules ne sont pas incinérées et dont la majorité sont des P_{2,5}.²⁶ Il va de soi qu'une optimisation et un suivi des paramètres d'exploitation sont les meilleurs moyens de réduire ces émissions hormis l'installation d'un nouvel épurateur plus performant.

4.4.3 Suivi des opérations (bouilloire suivie d'un filtre à manche)

RECOMMANDATION D06 – Optimiser le rendement des cyclones et du filtre à manche en fonction de la charge de particules totales. Au besoin, changer les sacs pour des plus performants.

SOURCE VISÉE – S21

L'intérêt de la bouilloire est de produire de la vapeur en réduisant la température des gaz de calcination à un niveau acceptable pour le filtre à manche en aval (typiquement < 200 °C). Ce dernier capte les particules de coke dont la concentration est peu influencée par la bouilloire. Le contrôle des P_{2,5} passe donc par le filtre à manche malgré qu'on doive s'attendre à ce qu'ils représentent plus de 90 % des particules résiduelles à la cheminée.²⁷ Peu d'options existent pour réduire les P_{2,5} résiduelles sauf si le potentiel du filtre à manche n'est pas exploité pleinement. Ainsi, un suivi rigoureux des paramètres opératoires permettrait de minimiser les émissions de P_{2,5} en fonction du système en place. Le changement des filtres par de plus performants par rapport aux particules micrométriques et submicroniques (p.ex., filtres synthétiques avec un revêtement membranaire en PTFE)²⁸ pourrait également être considéré. Ceci étant dit, il faudrait que ces filtres soient adaptés au système en place.

Les Recommandations D01 et D02 sont également applicables pour cette technologie.

²⁵ SNC-Lavalin Environnement, Description des procédés de fabrication d'anodes et de coke calciné utilisés dans les alumineries canadiennes, préparé pour Environnement Canada, Mars 2011.

²⁶ Environnement Canada, Boîte à outils de l'INRP, Alumine et Aluminium, Tableur d'aluminium.

²⁷ U.S. EPA Environmental Technology Verification Program, The evolution of improved baghouse filter media as observed in the environmental technology verification program, Juin 2008.

²⁸ Idem.

4.4.4 Suivi des opérations (épurateur humide venturi)

RECOMMANDATION D07 – Faire le suivi quotidien du débit de gaz dans l'épurateur en fonction du débit d'eau alimentée dans le venturi dont le ratio agit directement sur la perte de charge et sur l'efficacité de capture des particules incluant les $P_{2,5}$. Optimiser le rendement en fonction du système en place.

SOURCE VISÉE – S22

La fonction d'un épurateur humide est de nettoyer un flux gazeux avec un liquide. Dans ce cas-ci, le gaz est introduit dans un col étroit (type venturi) où il accélère et atomise l'eau injectée. Le brouillard gaz/liquide est ensuite conduit vers une colonne d'entraînement cyclonique où l'eau de lavage est récupérée puis recyclée partiellement dans le col venturi. L'efficacité de cet épurateur humide dépend fortement de la taille des particules à récupérer et de la perte de charge appliquée au col venturi. La collecte est normalement très élevée pour les particules fines (p.ex., +99 % pour les P_{10}), mais diminue exponentiellement pour les particules ultrafines (p.ex., 40 – 99 % pour les P_1) alors qu'une augmentation de la perte de charge permet généralement d'améliorer le rendement.²⁹ Le suivi et l'optimisation de l'exploitation de l'épurateur humide venturi est donc conseillé.

4.4.5 Entretien des épurateurs et systèmes connexes

RECOMMANDATION D08 – Faire une inspection régulière selon un horaire planifié de l'épurateur incluant la superstructure, les joints d'étanchéité, le ventilateur (corollaire à la Recommandation A02), le système d'alimentation de l'alumine (ou coke calciné) et le filtre à manche (si applicable). Réparer dès qu'un bris ou une défectuosité est constaté.

RECOMMANDATION D09 – Pour les filtres à manche, remplacer les sacs à la fin de leur durée de vie utile. Ne pas attendre qu'un bris survienne.

SOURCES VISÉES – S16-S23

Pour un rendement constant, le maintien des épurateurs est primordial. Une inspection périodique permet de relever les bris dans la structure qui pourrait mener à des fuites de particules (p.ex., bris d'une conduite d'alumine, bris dans un conduit de gaz). L'usure du ventilateur (p.ex., roue de soufflante) et des différents joints d'étanchéité de la superstructure doit également être prise en compte dans le suivi (corollaire à la Recommandation A02). Les sacs du filtre à manche s'usent également avec le temps et doivent être changés périodiquement avant l'apparition de fissures qui amplifieraient les émissions à la cheminée.

RECOMMANDATION D10 – Pour le CTG et CTF seulement, inspecter régulièrement selon un horaire planifié les conduites pouvant être à risque envers l'accumulation d'écaille grise. Nettoyer si l'accumulation est trop importante.

SOURCES VISÉES – S16, S18

La formation d'un produit amorphe d'alumine, de bain et d'eau (écaille grise : *hard gray scale*) s'accumulant sur les parois des conduites en acier est un problème qui peut affecter la performance du CTG ou CTF et la durée de vie des sacs du filtre à manche.³⁰ L'écaille grise

²⁹ U.S. EPA, Section 6 – Chapter 2 : Wet scrubbers for particulate matter in EPA air pollution control cost manual – Sixth Edition (EPA/452/B-02-001), juillet 2002.

³⁰ Dando, N. R., Lindsay, S. J., Hard gray scale, Light Metals 2008, p. 227.

peut survenir dans les réacteurs d'injection, le filtre à manche et les conduites d'alumine enrichie. L'accumulation cause entre autres une augmentation de la perte de charge, une réduction de la qualité de mélange entre le gaz et l'alumine, et un déséquilibre du débit de gaz entre les compartiments. Afin de prévenir ces situations, il est grandement conseillé de faire le suivi des secteurs à risque et de nettoyer les conduites si une accumulation nuisible d'écaille grise est constatée.

4.5 Manutention et entreposage des matières

Les émissions de particules ne sont pas que générées par le procédé, mais également lors de la manutention et transport des matières solides entrant ou quittant le procédé. Par exemple, l'alumine métallurgique généralement dense et poudreuse doit être entreposée et transportée vers les trémies d'alimentation des cuves d'électrolyse à l'abri des intempéries qui causeraient des pertes de matières et des émissions fugitives. Un système de manutention par convoyeur fermé et équipé de dépoussiéreurs est normalement utilisé.

Parmi les matières premières, produits, et sous-produits, les suivantes transitent typiquement par convoyeurs à vis (ou pneumatique ou équivalent) entre les différents points de transfert (p.ex., silo d'entreposage, trémie) : alumine fraîche, alumine enrichie, coke calciné frais, coke calciné enrichi, coke sous-calciné, bain figé broyé et bauxite. Il est vrai que la majorité des émissions brutes de particules provenant de ces matières ont une taille supérieure à 2,5 microns, quoiqu'avec l'installation de dépoussiéreurs, la fraction de $P_{2,5}$ à la sortie augmente grandement autour de 70 %.³¹ L'optimisation des dépoussiéreurs est donc une solution pour la minimisation des émissions de $P_{2,5}$ liées à la manutention et l'entreposage des différentes matières poudreuses.

4.5.1 Suivi des installations et de leurs rendements

RECOMMANDATION E01 – Faire le suivi des émissions de particules à la sortie des dépoussiéreurs. Enquêter sur les causes expliquant une augmentation soudaine des émissions de particules et faire les correctifs nécessaires.

RECOMMANDATION E02 – Faire le suivi visuel des systèmes d'injection pneumatique et de manutention mécanique selon un horaire planifié afin de repérer les fuites. Effectuer les réparations dès que possible.

SOURCES VISÉES – S24-S26, S28-S30, S31-S32, S34-S36

Les convoyeurs à vis et pneumatiques sont des systèmes fermés équipés de hottes et de dépoussiéreurs à sac aux différents points de transfert (p.ex., chargement du coke dans les balances à l'atelier de pâte crue). Afin de s'assurer que la capture des particules reste efficace, il est conseillé d'exploiter un système de suivi des émissions de particules à la sortie du dépoussiéreur (p.ex., visuel, mécanique, électroniques équipées d'alarme). En cas d'émissions élevées soudaines, l'opérateur pourra enquêter sur la cause, faire les ajustements nécessaires et ainsi limiter les émissions de particules. De plus, un suivi visuel des systèmes de manutention afin de repérer les bris et/ou les fuites devrait être établi selon un horaire planifié régulier.

³¹ Environnement Canada, Boîte à outils de l'INRP, Alumine et Aluminium, Tableur d'aluminium.

4.5.2 Maintenance des dépoussiéreurs

RECOMMANDATION E03 – Effectuer un suivi et entretien périodique des dépoussiéreurs et remplacer les sacs lorsqu'ils atteignent la fin de leur durée de vie utile (corollaire aux Recommandations D08 et D09).

SOURCES VISÉES – S24-S26, S28-S30, S31-S32, S34-S36

Se référer à la section 4.4.5.

4.5.3 Transport des mégots d'anodes

RECOMMANDATION E04 – Utiliser des plateaux couverts (ou équivalent) pour le refroidissement et le transport des mégots d'anode (ou croûte et bain cryolithique chaud) à la salle d'entreposage. Minimiser le temps d'exposition des mégots à l'air libre dans la salle de cuves ou à l'extérieur. Ventiler si possible les gaz de la salle d'entreposage des mégots d'anode vers le CTG afin de capter le HF et possiblement les microparticules condensables.

SOURCE VISÉE – S27

Lorsque les mégots d'anodes sont retirés des cuves, leur température s'approche de 960 °C. Il est reconnu qu'à cette température (> 700 °C) une partie du bain s'évapore pour former entre autres du NaAlF_4 qui s'hydrolyse ensuite en présence d'humidité pour former du HF.³² La condensation de certaines espèces fluorées dans l'air génère également des $\text{P}_{2,5}$. Le recouvrement des mégots à l'aide d'un plateau fermé, d'un matériel granulaire, ou d'un équivalent peut être appliqué pour couper l'air nécessaire à la combustion du mégot ou du bain et de contenir les émissions, plus intenses lors du refroidissement initial.³³ Lorsque les mégots sont totalement refroidis, ceux-ci peuvent être retirés du plateau et traités en conséquence. Par contre, les gaz et $\text{P}_{2,5}$ présents dans le plateau seront relâchés. Il est donc conseillé d'exploiter un système de ventilation à la salle d'entreposage des mégots et si possible, d'intégrer le flux gazeux au CTG.

4.5.4 Entreposage du coke vert

RECOMMANDATION E05 – À l'usine de calcination du coke, décharger le coke vert dans un bâtiment fermé. Acheminer le coke vert entre les différents points de transfert à l'aide de convoyeurs fermés ou dispositifs similaires.

SOURCE VISÉE – S33

Le coke vert parvenant par camion du port ou de la gare est déchargé dans une station centrale à partir de laquelle il est acheminé par convoyeur vers les silos d'entreposage alimentant le four de calcination en coke. Par sa texture plutôt granulaire et hydratée (p.ex., taille moyenne de 6 mm), le coke vert n'est pas prédisposé à générer des particules lorsque placé à l'air libre. Des projections de coke peuvent toutefois survenir lors du déplacement des camions, du déchargement des camions et des points de chute du coke par le convoyeur. Afin de contrer ces émissions, il est conseillé d'équiper les camions de couvercles étanches et d'exploiter la station de déchargement dans un bâtiment fermé tout comme le convoyeur d'ailleurs.

³² Girault, G., et al., Investigation of solutions to reduce fluoride emissions from anode butts and crust cover material, Light Metals 2011, p. 351.

³³ Gagné, J.-P., et al., Update on the evaluation of HF emission reduction using covered anode trays, Light Metals 2010, p. 291.

Contrairement au coke calciné, la proportion de microparticules dans le coke vert est infime. Dans cette optique seulement, il ne serait pas nécessaire d'exploiter des hottes munies de dépoussiéreurs aux différents points de chute malgré qu'elles préviendraient tout de même les projections de particules totales dans l'air ambiant.

4.5.5 Disposition des boues rouges

RECOMMANDATION E06 – Déployer des barrières physiques et/ou chimiques aux haldes de boues rouges afin de limiter le poudrage lorsque les conditions météorologiques sont chaudes, sèches et venteuses.

SOURCE VISÉE – S37

La décharge des boues rouges dans des haldes adjacentes à l'usine d'affinage de bauxite peut occasionner un problème de particules, surtout si elles sont placées dans des milieux chauds, secs et venteux. L'industrie tente d'améliorer les conditions d'entreposage des boues en les déshydratant par exemple, diminuant ainsi les risques d'infiltration dans le sol tout en augmentant la capacité du site. Par contre, l'assèchement des boues est plus rapide dans ces conditions résultant du phénomène de poudrage en présence d'un vent persistant (taille des particules de boue rouge inférieure à 1 mm alors que 70 % sont des P_{10}).³⁴ Dans l'optique d'enrayer les émissions de particules et de $P_{2,5}$, il est conseillé d'ériger des « barrières » physiques ou chimiques contre le poudrage incluant, par exemple, l'aménagement de talus (ou autre méthode obstruant la propagation du vent), l'aménagement antiérosif des sols, et l'épandage d'un liant chimique sur le sol.

4.6 Combustibles

Les combustibles fossiles sont normalement requis comme source de chaleur pour un procédé. Par leur combustion, ils sont responsables d'émissions de particules dont les $P_{2,5}$ représentent la majorité. Le type de combustible et le taux de consommation ont donc un effet direct sur les émissions de $P_{2,5}$ à ce niveau. Pour le secteur de l'aluminium primaire, ce type d'émission s'applique aux fours à induction, aux chaudières, et aux fours de calcination de coke et d'alumine.

4.6.1 Type de combustible

RECOMMANDATION F01 – Du point de vue des émissions de particules, favoriser l'utilisation de l'hydroélectricité au lieu de combustibles fossiles si le système en place le permet. Sinon, favoriser l'utilisation du gaz naturel au lieu du mazout (ou autre combustible lourd).

SOURCES VISÉES – S10, S11, S13, S14

Il est reconnu que le taux d'émissions de particules pour la combustion du mazout ou autre combustible lourd est plus élevé. L'utilisation du gaz naturel au lieu d'une huile légère permettrait de réduire les émissions de microparticules, et ce même si la totalité des particules issues de la combustion du gaz naturel sont des $P_{2,5}$.³⁵ Ainsi, strictement du point de vue des $P_{2,5}$ et toutes autres conditions étant égales, il est préférable d'utiliser l'hydroélectricité suivie du gaz naturel au lieu de combustibles fossiles liquides ou solides.

³⁴ Beaulieu, C., Revue de la littérature portant sur les boues rouges, École polytechnique de Montréal, 2002.

³⁵ Environnement Canada, Boîte à outils de l'INRP, Alumine et Aluminium, Tableur d'aluminium.

4.6.2 Taux de consommation

RECOMMANDATION F02 – Pour les chaudières et calcinateurs d'alumine, minimiser la consommation de gaz naturel ou de mazout par tonne d'alumine produite à l'aide de systèmes efficaces de récupération de chaleur.

SOURCES VISÉES – S13, S14

Les fours de calcination d'alumine et les chaudières à l'usine d'affinage de bauxite requièrent une grande quantité de combustible pour leurs exploitations. Contrairement à la calcination du coke qui utilise l'énergie des COV dans le coke vert, la calcination de l'alumine est un procédé plutôt énergivore (3 – 5 GJ/t d'alumine).³⁶ La récupération de la chaleur contenue dans l'alumine calcinée et le gaz de calcination est donc le meilleur moyen pour minimiser le besoin en énergie de l'usine qui découle essentiellement des combustibles fossiles.

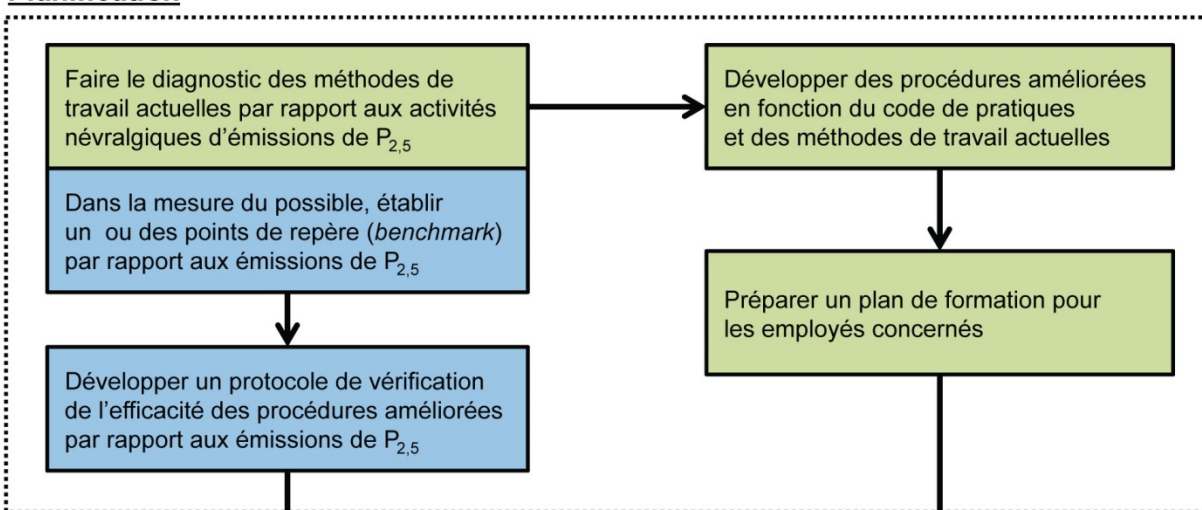
Pour les chaudières, une réduction significative du besoin en vapeur de l'usine (p.ex., par récupération de la chaleur d'échappement) préviendrait également les émissions de particules tout comme l'entretien régulier des chaudières d'ailleurs. Une chaudière bien entretenue permet de maintenir son rendement de conception en tout temps (et donc minimiser la consommation du combustible) tout en rallongeant sa durée de vie.

³⁶ European Commission, Integrated pollution prevention and control – Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries, July 2009.

5. MISE EN ŒUVRE DU CODE DE PRATIQUES

L'adoption du présent code devrait permettre de contrôler et de minimiser les émissions de particules et de $P_{2,5}$ pour les établissements concernés. Pour y arriver, un plan de mise en œuvre pourra être développé par les installations qui en assureront aussi le suivi. Ceci permettra d'obtenir un résultat probant en plus de faciliter la tâche aux employés qui sont concernés par le code. Aucune recommandation spécifique n'est présentée dans cette section. On y présente plutôt une approche généralisée sur les démarches à suivre pour le développement des méthodes de travail personnalisées, une façon de les appliquer et d'en faire le suivi sur une base régulière afin d'améliorer ou de conserver le rendement (figure 5-1). L'établissement concerné pourra suivre une approche différente selon ses besoins et son organisation.

Planification



Application

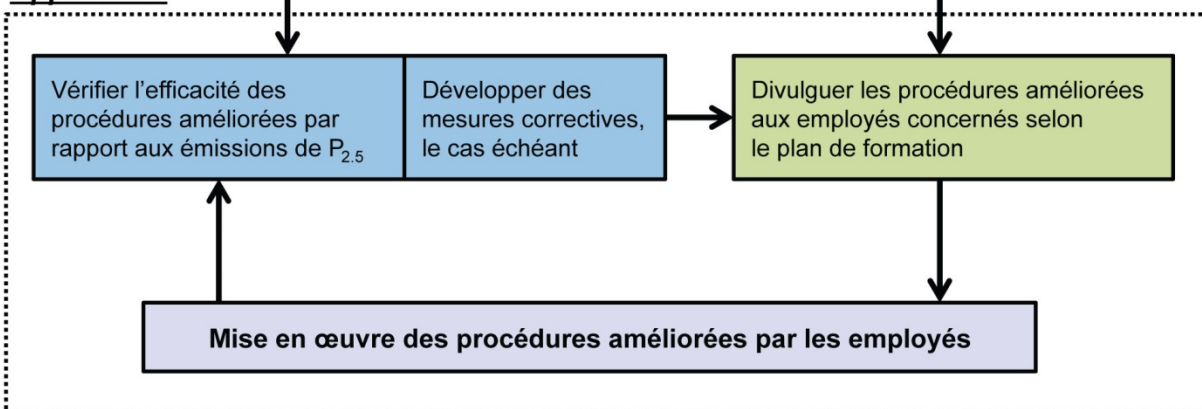


Figure 5-1 : Approche généralisée de mise en œuvre des bonnes pratiques de travail pour un établissement concerné par le code de pratiques

5.1 Planification initiale

La mise en œuvre de nouvelles méthodes de travail promulguées par un code de pratiques est un aspect qui peut devenir complexe, tant au niveau des relations de travail qu'au niveau du rendement attendu, si la planification initiale n'est pas réalisée avec soin. Dans cette optique, il est conseillé de faire un diagnostic de la situation courante à l'usine afin de déployer des procédures personnalisées en fonction des recommandations du code. Suivant la mise en œuvre des nouvelles pratiques, il est important de s'assurer qu'elles sont efficaces et qu'elles donnent les résultats escomptés. Cette évaluation devrait se faire selon un protocole préétabli de vérification des activités sur le terrain se rapportant aux nouvelles pratiques.

5.1.1 Diagnostic de la situation actuelle

L'objectif du diagnostic initial est d'obtenir les informations et données pertinentes à propos des technologies en place, mais surtout des méthodes d'exploitation, de contrôle et de maintenance de l'usine concernée. L'information peut inclure des photos, des horaires d'opération, des schémas d'opération, des conversations avec des employés, etc. L'utilisation d'un questionnaire ou d'une liste de contrôle (*checklist*) serait également un outil approprié pour cette tâche. Évidemment, cette revue doit se faire en fonction des activités névralgiques d'émissions de $P_{2,5}$ (exploitation de l'usine de réduction d'alumine, exploitation de la fabrique d'anodes précuites, suivi et entretien des installations, centres de traitement des gaz et autres épurateurs, manutention et entreposage des matières, combustibles) puis être confrontée aux recommandations du code.

Le diagnostic initial permet également d'établir un ou des points de repère (*benchmarks*) quant aux émissions de $P_{2,5}$ qui agiront comme points de référence sur lesquels il faudrait s'améliorer. Ces points de repère peuvent être autant quantitatifs que qualitatifs. Ils pourront ainsi être réévalués lors des audits sur le rendement des nouvelles pratiques (section 5.2).

5.1.2 Développement de procédures personnalisées

En fonction des résultats du diagnostic initial, des opportunités d'amélioration permettant de réduire les émissions de $P_{2,5}$ pourraient être identifiées pour une ou plusieurs des activités névralgiques concernées. Le responsable de projet pourra ainsi développer ses propres recommandations (dans un document personnalisé) en fonction des recommandations du présent code, mais également des spécificités de l'usine. Il est important de mentionner que le développement de recommandations personnalisées peut vouloir signifier l'adoption de pratiques qui ne sont pas mentionnées dans le présent code, mais qui assureraient tout de même une réduction des émissions de $P_{2,5}$ selon l'analyse du responsable de projet. Le présent code n'est pas restrictif à ce niveau.

De préférence, les nouvelles procédures devraient être établies en tenant compte des opinions et besoins des employés sur le terrain. En temps normal, ce sondage devrait faciliter la mise en œuvre des nouvelles procédures au moment venu et prévenir des difficultés qui auraient pu survenir si les employés n'avaient pas été consultés.

5.1.3 Plan de formation des employés

Sur le plan stratégique, il est conseillé de préparer un plan de formation des employés chargés de modifier ou de mettre en oeuvre de nouvelles procédures opératoires. En effet, la distribution de l'information pertinente aux personnels ayant un rôle direct ou indirect sur les émissions de $P_{2,5}$ favoriserait un rendement maximal. Or, le succès de la formation passe avant tout par une préparation adéquate des documents et des différents ateliers de formation et de standardisation des nouvelles procédures.

5.1.4 Protocole de vérification du rendement des procédures personnalisées

Les procédures nouvelles ou modifiées doivent être contrôlées régulièrement afin de s'assurer qu'elles apportent les résultats escomptés. Un audit doit préférablement être réalisé à partir d'un protocole qui aura été développé parallèlement aux procédures. À ce niveau, la meilleure approche est de préparer une liste de contrôle comportant des questions autant qualitatives que quantitatives permettant d'évaluer adéquatement l'état de la situation. Le cas échéant, cette liste de contrôle devra mettre en évidence les repères ou *benchmarks* qui auront été établis à la suite du diagnostic initial. De plus, ce protocole permettrait d'appliquer une méthodologie cohérente entre chaque audit.

5.2 Application du code

Faisant suite aux ateliers de formation, les nouvelles procédures devraient être appliquées sur le terrain selon un horaire spécifique afin de prévenir certaines difficultés pouvant survenir lors des changements. Il est prévu que les résultats (par rapport aux émissions de $P_{2,5}$) des nouvelles procédures ne seront pas optimaux dès le départ et qu'il faudra probablement apporter des correctifs à la suite des premières vérifications. Ce cycle de vérification et de correction devrait être appliqué continuellement même lorsque le niveau des émissions de $P_{2,5}$ est jugé minimal d'après l'évaluation du responsable de projet.

5.2.1 Vérification du rendement des procédures améliorées

Il est conseillé de procéder à une vérification des nouvelles procédures en place selon le protocole développé pour cette tâche (section 5.1.4) à une fréquence élevée au début (p.ex., 6–12 mois) permettant de peaufiner les procédures de travail. Lorsque l'ensemble des procédures sera suivi diligemment par le personnel concerné, les vérifications pourront être plus espacées. Elles devront tout de même être maintenues à une fréquence raisonnable pour le contrôle de la qualité.

Faisant suite au rapport de vérification, le responsable du projet devra prendre une décision (p.ex., en fonction des *benchmarks*) sur les démarches à suivre afin de corriger ou d'améliorer la situation, le cas échéant. À toute fin pratique, cette étape consistera à apporter des modifications aux procédures qui devront être divulguées aux employés concernés selon le plan de formation.

ABRÉVIATIONS

AA	Aluminerie Alouette
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Alumine hydratée
$\text{Al}_2\text{O}_4^{2-}$	Aluminate
AlF_3	Fluorure d'aluminium
CaF_2	Fluorure de calcium
CaO	Oxyde de calcium
COV	Composés organiques volatils
CTF	Centre de traitement des fumées
CTFB	Centre de traitement des fumées de brai
CTG	Centre de traitement des gaz
EBEI	Exigences de base relatives aux émissions industrielles
H_2SO_3	Acide sulfureux
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HF	Fluorure d'hydrogène
INRP	Inventaire national des rejets de polluants
LMRC	<i>Light Metals Research Centre</i>
NaAlF_4	Tétrafluoroaluminate de sodium
NaF	Fluorure de sodium
NaOH	Hydroxyde de sodium (soude caustique)
NO_x	Oxydes d'azote
PFC	Perfluorocarbures
P_{10}	Particules ultrafines d'un diamètre inférieur à 10 microns
$\text{P}_{2,5}$	Particules ultrafines d'un diamètre inférieur à 2,5 microns
P_1	Particules ultrafines d'un diamètre inférieur à 1 micron
PT	Particules totales / Matières particulaires
PTFE	Polytétrafluoroéthylène
RTA	Rio Tinto Alcan
SGQA	Système de gestion de la qualité de l'air
SO_2	Dioxyde de soufre
U.S. EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

GLOSSAIRE

Aluminate	Un composé d'aluminium et d'oxygène ($\text{Al}_2\text{O}_4^{2-}$) qu'on retrouve dans la liqueur Bayer à l'état de précipité ou dissout après la digestion de la bauxite.
Alumine enrichie	Alumine ayant été utilisée au centre de traitement des gaz (CTG) ou au centre de traitement des fumées (CTF) pour la capture des gaz fluorés. Elle est enrichie par le fluor.
Alumine hydratée	Forme d'alumine chimiquement liée à des molécules d'eau ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$).
Alumine métallurgique	Forme d'alumine ne contenant pas ou très peu de molécules d'eau (Al_2O_3).
Anode crue	Produit compact de coke calciné et de brai de goudron après moulage et refroidissement de la pâte crue.
Anode précuite scellée	Produit final de la fabrique d'anodes précuites comprenant deux blocs d'anode fixés à une tige électroconductrice avec de la fonte. Elles sont utilisées dans les cuves de réduction d'alumine.
Atelier de scellement	Secteur de la fabrique d'anodes précuites où les blocs en carbone sont fixés à des tiges électroconductrices.
Autocombustion	Situation où l'énergie nécessaire à la calcination provient du coke vert seulement sans l'apport d'un combustible fossile externe.
Bain / bain électrolytique	Liquide en fusion à environ 960 °C composé principalement de fluorure d'aluminium (AlF_3) et de cryolithe (Na_3AlF_6).
Bain figé broyé	Bain cryolithique refroidi broyé; ou mélange broyé de cryolithe, d'alumine et de carbone récupéré des mégots d'anodes.
Barre omnibus	Barres conductrices de faible impédance auxquelles sont rattachés les circuits électriques des cuves électrolytiques.
Bauxite	Mineral de structure variée contenant principalement des oxydes d'aluminium, de fer, et de silicium.
Boehmite / Gibbsite	Oxydes d'aluminium polymorphe ($\text{AlO}(\text{OH})$, $\text{Al}(\text{OH})_3$) composant la bauxite.
Boue rouge	Sous-produit solide du procédé Bayer contenant principalement des oxydes de fer en plus des oxydes d'aluminium, de silicium, de titane, de sodium et de calcium.
Brai de goudron	Sous-produit de distillation du goudron de houille qui est utilisé comme liant lors de la production de la pâte crue.

Centre de coulée	Atelier à l'usine de réduction de l'alumine où l'aluminium liquide provenant des cuves d'électrolyse est transformé en un produit solide semi-fini.
Charbonnaille	Poussière de carbone s'accumulant dans le bain cryolithique provenant principalement des anodes précuites.
Coke calciné	Forme de coke de pétrole ayant subi une étape de calcination. Matière première principale de l'anode crue / précuite.
Coke de garnissage	Coke calciné inséré dans les fosses du four de cuisson avec les anodes crues afin de les protéger contre l'oxydation de l'air de combustion tout en supportant un bon échange thermique.
Coke sous-calciné	Sous-produit de coke récupéré par des dépoussiéreurs du gaz de calcination issu du calcinateur de coke vert.
Coke vert (de pétrole)	Produit issu de la cokéfaction différée du pétrole brut raffiné.
Croûte	Mélange solidifié de bain et d'alumine recouvrant le bain cryolithique dans les cuves d'électrolyse.
Cryolithe	Composé chimique principal (Na_3AlF_6) du bain cryolithique dans les cuves de réduction d'alumine permettant de réduire la température de fusion de l'aluminium.
CTF	Centre de traitement des gaz de combustion provenant du four de cuisson. Composé d'un épurateur à sec avec injection d'alumine suivi d'un filtre à manche.
CTFB	Centre de traitement des fumées de brai provenant de l'atelier de pâte crue. Composé d'un épurateur à sec avec injection de coke calciné suivi d'un filtre à manche.
CTG	Centre de traitement des gaz provenant des cuves de réduction d'alumine. Composé d'un épurateur à sec avec injection d'alumine suivi d'un filtre à manche.
Dépoussiéreur	Unité de traitement permettant de capter la majorité des particules contenues dans le gaz.
Écaille grise	Produit solide amorphe d'alumine, de cryolithe et d'eau s'accumulant sur la paroi interne de certains conduits au CTG ou au CTF utilisant un système d'injection de l'alumine.
Effet anodique	Phénomène causant une augmentation soudaine du voltage et diminution de l'ampérage dans les cuves d'électrolyse dû à la présence d'un film de gaz à la surface de l'anode.
Épurateur à sec	Système d'épuration des gaz consistant de plusieurs réacteurs verticaux dans lesquels un adsorbant (coke calciné ou alumine) y est injecté.

Épurateur humide venturi	Système d'épuration des gaz permettant d'atomiser l'eau de lavage améliorant le captage des particules.
Filtre à manche	Type de dépoussiéreur utilisant des sacs filtrants afin de capter les particules contenues dans le gaz.
Four à induction	Four dans lequel la chaleur nécessaire à la fusion du métal est apportée par effet d'induction entre deux bobines électriques.
Goudron de houille	Sous-produit de cokéfaction ou de gazéification du charbon.
Grenaillage	Technique de nettoyage d'une surface consistant à projeter des microbilles sur un objet (mégot d'anodes) afin de fragmenter les résidus de bain cryolithique.
LMRC	Centre de recherche et de consultation en matière de fusion de l'aluminium, de magnésium, et d'autres métaux légers basé à Auckland en Nouvelle-Zélande.
Machine de coulée	Système à partir duquel l'aluminium liquide est transformé en lingots selon les spécifications requises.
Mégot d'anodes	Résidu d'anodes précuites (comprenant la tige, le résidu de carbone et une croûte de bain cryolithique) ayant été consommé dans la cuve d'électrolyse.
Pâte crue (atelier de)	Section de la fabrique d'anodes précuites produisant la pâte anodique crue, un mélange de coke calciné et de brai de goudron.
Piqueur doseur	Système automatisé de dosage de l'alumine métallurgique dans les cuves d'électrolyse à l'aide d'un piqueur qui brise la croûte avant d'injecter l'alumine dans le bain liquide.
Procédé / liqueur Bayer	Procédé d'extraction alcaline de l'alumine contenue dans la bauxite à l'aide de la liqueur Bayer (solution d'hydroxyde de sodium concentrée). Compte une étape de préparation de la bauxite, de digestion de la bauxite, de décantation de la boue rouge, de cristallisation et précipitation de l'aluminate et de calcination de l'alumine hydratée.
Procédé Söderberg	Procédé d'électrolyse de l'alumine à l'aide de briquettes (ou pâte anodique) en carbone ayant la particularité de cuire <i>in situ</i> dans la cuve d'électrolyse.
Produit de couverture	Mélange solide d'alumine et de bain cryolithique broyé utilisé pour recouvrir les anodes précuites après installation dans la cuve d'électrolyse. Sert également à colmater les brèches sur la croûte.
Pyroépurateur	Système d'épuration spécifique aux gaz de calcination du coke vert dont l'objectif est d'incinérer les composés organiques volatils.

Salle des cuves	Bâtiment dans lequel les cuves d'électrolyse connectées en série sont exploitées.
SGQA	Politique canadienne de gestion de la qualité de l'air.
Superstructure	Installation comprenant les cuves d'électrolyse, les capots, les hottes, et le système d'extraction des gaz vers le CTG.
Trou de coulée	Ouverture dans la croûte par où l'aluminium en fusion ou le bain cryolithique est extrait de la cuve.

BIBLIOGRAPHIE

Aljabri, N., Venkatasubramaniam, K. G., AlFarsi, Y. A. M., HF emission from Dubal's electrolysis cell, *Light Metals* 2003, p. 487.

Beaudry, M., Plante, M., Alcoa maintenance best practices to achieve excellence in planning, scheduling, autonomous maintenance and reliability, *Light Metals* 2009, p. 485.

Beaulieu, C., Revue de la littérature portant sur les boues rouges, École polytechnique de Montréal, 2002, www.polymtl.ca/enviro-geremi/pdf/articles/Projet1-4-1-BouRoug-CBeaulieuMA1.pdf.

Broek, S., Dando, N. R., Lindsay, S. J., Moras, A., Considerations regarding high draft ventilation as an air emission reduction tool, *Light Metals* 2011, p. 361.

Comité directeur du Système complet de gestion de l'air (SCGA), Système complet de gestion de l'air – Proposition d'un cadre pour l'amélioration de la gestion de la qualité de l'air, avril 2010, www.ccme.ca/assets/pdf/cams_proposed_framework_f.pdf.

Dando, N. R., Using fume duct temperatures for minimizing open holes in pot cover, *Light Metals* 2004, p. 245.

Dando, N. R., Tang, R., Fluoride evolution / emission from aluminum smelting pots – impact of ore feeding and cover practices, *Light Metals* 2005, p. 363.

Dando, N. R., Tang, R., Impact of tending practices of fluoride evolution and emission from aluminum smelting pots, *Light Metals* 2006, p. 203.

Dando, N. R., Lindsay, S. J., Hard gray scale, *Light Metals* 2008, p. 227.

de Vasconcelos, P. D. S., Mesquita, A. L. A., Pneumatic transfer of fine carbon residues at Albras – A case study at the carbon plant, *Light Metals* 2008, p. 843.

de Vasconcelos, P. D. S., Mesquita, A. L. A., Environmental improvements during the handling of packing coke at the Albras' bake furnace, *Light Metals* 2009, p. 1049.

Dupas, N., New rodding shop solutions, *Light Metals* 2008, p. 899.

Environnement Canada, Inventaire National des Rejets des Polluants (INRP), <http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/Default.asp?lang=Fr&n=4A577BB9-1>.

Environnement Canada, Boîte à outils de l'INRP, Alumine et Aluminium, Tableur d'aluminium, www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=Fr&n=F9D84CB9-1.

Environnement Canada, Code de pratiques écologiques pour les aciéries intégrées – Code de pratiques de la LCPE 1999, 1^e édition, mars 2001, www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/documents/codes/ai-ism/ai-ism-fra.pdf.

Environnement Canada, Code de pratiques écologiques pour les aciéries non intégrées – Code de pratiques de la LCPE 1999, 1^e édition, mars 2001, www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/documents/codes/ani-nism/ani-nism-fra.pdf.

Environnement Canada, Code de pratiques écologiques pour les fonderies et affineries de métaux communs – Code de pratique de la LCPE 1999, mars 2006, www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/documents/codes/famc-bmsr/famc-bmsr_fra.pdf.

Environmental Protection Agency Ireland, BAT guidance note on best available techniques for the general inorganic chemicals sector and the production of alumina, 1^e édition, 2008, www.epa.ie/downloads/advice/bat/.

European Commission, Integrated pollution prevention and control – Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries, juillet 2009, <http://eippcb.jrc.es/reference/nfm.html>.

European Commission, Integrated pollution prevention and control – Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry, janvier 2004, <http://eippcb.jrc.es/reference/sf.html>.

Gaertner, H., Ratvik, A. P., Aarhaug, T. A., Particulate emissions from electrolysis cells, Light Metals 2011, p. 345.

Gagné, J.-P., Boulianne, R., Magnan, J.-F., Thibault, M.-A., Dufour, G., Gauthier, C., New design of cover for anode trays, Light Metals 2006, p. 213.

Gagné, J.-P., Minville, R., Dando, N. R., Gershenzon, M., Champoux, P., Moras, A., Dufour, G., Update on the evaluation of HF emission reduction using covered anode trays, Light Metals 2010, p. 291.

Girault, G., Faure, M., Bertolo, J.-M., Massambi, S., Bertran, G., Investigation of solutions to reduce fluoride emissions from anode butts and crust cover material, Light Metals 2011, p. 351.

Gudmundsson, H., Anode dusting from a potroom perspective at Nordural and correlation with anode properties, Light Metals 2011, p. 471.

Iffert, M., Kuenkel, M., Skyllas-Kazacos, M., Welch, B., Reduction of HF emissions from the Trimet aluminum smelter, Light Metals 2006, p. 195.

Kiss, L. I., Vékony, K., Dynamics of the gas emission from aluminum electrolysis cells, Light Metals 2008, p. 425.

Lee, J. M., Baker, J. J., Rolle, J. G., Llerena, R., Characterisation of green and calcined coke properties used for aluminum anode-grade carbon, ACS Division of Fuel Chemistry American Chemical Society 43(2), Dallas (TX), 1998, p. 271.

Light Metals Research Centre, Fluoride emissions management guide (FEMG), Version 4, février 2011.

Lindsay, S. J., Effective techniques to control fluoride emissions, Light Metals 2007, p. 199.

Mahieu, P., Neple, S., Fiot, N., Ofico, I., Eufrazio, M., High performance sealing for anode baking furnaces, Light Metals 2011, p. 881.

Meyer, M., Girault, G., Bertolo, J.-M., Development of a jet induced boosted suction system to reduce fluoride emissions, Light Metals 2009, p. 287.

Mirchi, A. A., Savard, G., Tremblay, J. P., Simard, M., Alcan characterisation of pitch performance for pitch binder evaluation and process changes in an aluminium smelter, Light Metals 2002.

Nagem, N. F., Batista, E., Silva, A. F., Gomes, V., Venancio, L. C. A., Souza, L. J. P., Understanding fugitive fluoride emissions at the alumar, Light Metals 2005, p. 289.

Rio Tinto Alcan Inc., Anode Grade Coke & Coke Calcination, présentation pour Environnement Canada, Août 2011..

Roe, D. C., Recent innovations in controlling dust emissions in the bauxite/alumina industry, General Electric Company, 2006,
www.gewater.com/pdf/Technical%20Papers_Cust/Americas/English/TP1118EN.pdf.

Sahling, M., Sturm, E., Improvement of pot gas collecting efficiency by implementation of impulse dust system, Light Metals 2004, p. 351.

Slaughaupt, M. L., Bruggeman, J. N., Tarcy, G. P., Dando, N. R., Effect of open holes in the crust on gaseous fluoride evolution from pots, Light Metals 2003, p. 199.

SNC-Lavalin Environnement, Description des procédés de fabrication d'anodes et de coke calciné utilisés dans les alumineries canadiennes, préparé pour Environnement Canada, mars 2011.

Société financière internationale – Groupe de la banque mondiale, Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires pour la fusion et l'affinage des métaux de base, avril 2007,
www1.ifc.org/wps/wcm/connect/059dbc8048855d3a8e3cde6a6515bb18/043_Smelting%2Band%2BRefining.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=059dbc8048855d3a8e3cde6a6515bb18

Sorhuus, A., Wedde, G., Pot gas heat recovery and emission control, Light Metals 2009, p. 281.

Tarcy, G. P., The affect of pot operation and work practices on gaseous and particulate fluoride evolution, Light Metals 2003, p. 193.

Tessier, J., Duchesne, C., Gauthier, C., Dufour, G., Image analysis for estimation of anode cover material composition, Light Metals 2008, p. 293.

The Aluminum Association, Canadian primary aluminum production,
www.aluminum.org/Content/NavigationMenu/NewsStatistics/StatisticsReports/PrimaryProduction.

Thomas, D., Heat transfer in the Bayer process, Light Metals 2010, p. 161.

Tjahyono, N., Gao, Y., Wong, D., Zhang, W., Taylor, M. P., Fluoride emissions management guide (FEMG) for aluminium smelters, Light Metals 2011, p. 301.

U.S. EPA, Section 6 – Chapter 2 : Wet scrubbers for particulate matter in EPA air pollution control cost manual – Sixth Edition (EPA/452/B-02-001), juillet 2002,
www.epa.gov/ttnatc1/dir1/cs6ch1.pdf.

U.S. EPA Environmental Technology Verification Program, The evolution of improved baghouse filter media as observed in the environmental technology verification program, juin 2008,
www.epa.gov/etv/pubs/600etv08023.pdf.

Vendette, H., Anode paste plants: Innovative solution for optimum emission performances, Light Metals 2010, p. 993.

Wilkening, S., Reny, P., Murphy, B., Anode cover material and bath level control, Light Metals 2005, p. 367.

Wong, D. S., Tjahyono, N. I., Hyland, M. M., Visualising the sources of potroom dust in aluminium smelters, Light Metals 2012 , p.833-838.

WWW.ec.gc.ca

Pour des renseignements supplémentaires :

Environnement Canada

Informathèque

10, rue Wellington, 23^e étage

Gatineau (Québec) K1A 0H3

Téléphone : 1-800-668-6767 (au Canada seulement) ou 819-997-2800

Télécopieur : 819-994-1412

ATS : 819-994-0736

Courriel : enviroinfo@ec.gc.ca