

Échantillonnage des particules et des métaux particulaires par cassettes dans les émissions atmosphériques

Méthode d'échantillonnage 2024

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830
1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp

Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Dépôt légal – 2023

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-550-97700-1 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.
© Gouvernement du Québec, 2023

Table des matières

Liste des tableaux	iv
Liste des figures	v
1. Introduction	1
2. Applicabilité	2
3. Principe	3
4. Isocinétisme	6
5. Santé et sécurité	7
6. Visite préliminaire	8
7. Préparatifs	10
7.1 Équipements	10
7.2 Préparation des cassettes	11
7.3 Nombre de cassettes par point d'émission	12
7.4 Disposition des cassettes en fonction des types de points d'émission	13
7.5 Fonctionnement du procédé industriel	15
8. Échantillonnage	16
8.1 Installation des cassettes et mesures	16
8.2 Évaluation des débits volumétriques	19
8.3 Récupération des cassettes	19
8.4 Traçabilité	19
9. Assurance qualité et contrôle qualité	20
10. Expression des résultats	21
10.1 Débit volumétrique du point d'émission	21
10.2 Débit d'échantillonnage moyen entre deux intervalles de temps	22
10.3 Volume de gaz prélevé à chaque cassette	22
10.4 Calcul des concentrations	24

10.5 Calcul des émissions	24
11. Références bibliographiques	27
Annexe A : Exemples de diamètres des buses en fonction de la vitesse des gaz et estimation des débits et du temps d'échantillonnage, basés sur un volume de 1,5 m ³ par cassette comme objectif	28
Annexe B : Exemple de feuille de données de terrain	29

Liste des tableaux

Tableau 1. Inventaire, dimensions et vitesses des points d'émission	8
Tableau 2. Nombre minimal de cassettes par unité de surface ou par unité de longueur	12

Liste des figures

Figure 1. Schéma d'un exemple de dispositif d'échantillonnage	3
Figure 2. Schéma d'une cassette	11
Figure 3. Exemples de l'emplacement des cassettes au-dessus d'un ventilateur	13
Figure 4. Exemples de l'emplacement des cassettes pour un événement de toit de type lanterneau	14
Figure 5. Exemple d'emplacement d'une cassette pour un événement de toit de type plénum	14

1. Introduction

Le présent document traite de l'échantillonnage par cassettes, des particules et des métaux particuliers générés par les procédés industriels qui comportent des points d'émission atmosphérique atypiques. Il s'adresse aux industriels, aux firmes privées d'échantillonnage spécialisées dans le domaine des émissions atmosphériques et à toute personne ou entité devant réaliser ce type d'échantillonnage. Il présente les étapes à suivre afin de recueillir des échantillons représentatifs des émissions et traite spécifiquement des aspects techniques des prélèvements ainsi que des règles de l'art applicables dans le domaine.

L'utilisateur de la présente méthode d'échantillonnage doit tenir compte des points suivants :

- Dans les cas où c'est possible de le faire, il faut privilégier de modifier le point d'émission afin d'utiliser les méthodes de référence plutôt que d'utiliser la méthode développée pour les points d'émission atypiques;
- La présente méthode permet de quantifier les particules et les métaux retenus sur le filtre seulement;
- Comme les points d'émission atypiques ont chacun leurs spécificités, la présente méthode pourrait être adaptée pour obtenir de meilleurs résultats;
- Puisque le nombre et l'emplacement des cassettes sont variables selon la configuration du point d'émission et que le type de procédé industriel est spécifique à chaque source d'émission, il est recommandé de faire approuver le devis d'échantillonnage par les autorités concernées dans un contexte de vérification de la conformité environnementale.

2. Applicabilité

La présente méthode d'échantillonnage s'applique aux particules et aux métaux particuliers générés par un procédé industriel et rejetés à l'atmosphère, à travers des points d'émission **atypiques** tels que :

1. Des sorties de ventilateurs de toits;
2. Des événements de toit de type lanterneau ou plénum;
3. Des ouvertures dans les murs de bâtiments industriels;
4. Des points d'émission particuliers pour lesquels les méthodes de référence ne sont pas applicables.

Les aires ou les sections des points d'émission à l'atmosphère atypiques sont parfois nombreuses, grandes et diversifiées, à l'exemple des événements de toit des usines sidérurgiques ou des usines de production de ferroalliage. Il s'agit donc de caractériser les rejets atmosphériques en plusieurs points d'émission de l'usine et d'utiliser les résultats obtenus pour le calcul des émissions exprimées soit en milligramme de particules par mètre cube de gaz sec aux conditions de référence ($\text{mg}/\text{m}^3\text{R gaz sec}$), soit en kilogramme de particules par heure (kg/h), soit en kilogramme de particules par tonne métrique de produits finis (kg/t).

La fiabilité de cette méthode dépend de plusieurs éléments dont :

1. Le choix judicieux des points de mesure des vitesses des gaz;
2. L'évaluation rigoureuse des débits volumétriques des points d'émission par l'utilisation d'instruments de mesure en bon état de fonctionnement tels que les anémomètres;
3. Le nombre, l'emplacement et le positionnement adéquat des cassettes qui servent à l'échantillonnage;
4. La bonne préparation des cassettes (étanchéité, nature du filtre, pesée, enregistrement);
5. Le choix judicieux du diamètre de buse nécessaire pour le maintien des conditions isocinétiques;
6. Le choix et l'ajustement adéquat du débit d'échantillonnage;
7. La durée d'échantillonnage représentative des cycles de production;
8. Le prélèvement d'un volume suffisant pour la quantification des contaminants.

La maîtrise de ces éléments est assurée par un suivi rigoureux avant, pendant et après le prélèvement des échantillons, selon le programme de contrôle de qualité et d'assurance de qualité préconisé pour la présente méthode.

3. Principe

Les particules et les métaux particulaires générés par les procédés industriels peuvent être émis à l'atmosphère à travers des points d'émission atypiques tels que des événements et des ventilateurs de toit. Les gaz et les particules rejetés sont prélevés à l'aide d'un système de pompage et passent à travers des cassettes munies de filtres préalablement pesés. À la fin des essais, les filtres sont pesés de nouveau. La différence entre la masse finale et la masse initiale correspond à la quantité de particules recueillies pendant l'essai. Par la suite, l'analyse des métaux particuliers retenus sur le filtre peut aussi être effectuée. Ces analyses sont réalisées par un laboratoire accrédité, lorsque requis.

Le prélèvement des gaz est réalisé à l'aide d'un dispositif d'échantillonnage capable de maintenir un débit constant et contrôlé pour chacune des cassettes. L'aspiration des gaz chargés en particules est assurée par une pompe placée en aval du collecteur, comme présenté à la figure 1.

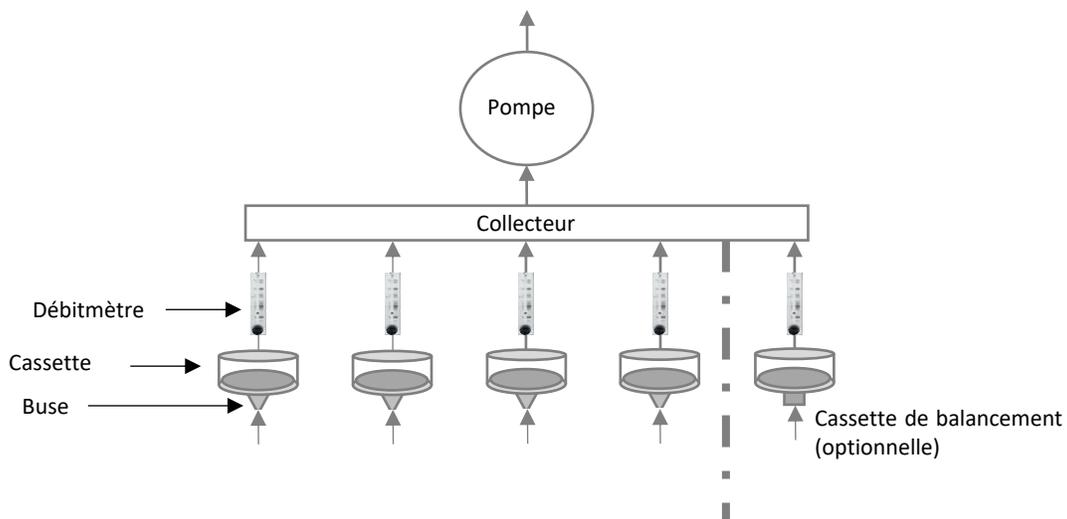


Figure 1. Schéma d'un exemple de dispositif d'échantillonnage

Une cassette supplémentaire munie d'un filtre (optionnelle) sert à aspirer l'excès d'air afin de pouvoir maintenir les débits d'échantillonnage constants pendant les essais (figure 1).

La photo 1 qui suit montre un exemple de deux dispositifs d'échantillonnage pour une sortie de ventilateur de toit avec une cassette supplémentaire, chacun permettant de contrôler et de maintenir constants les débits pour les quatre cassettes reliées à la même pompe.



Photo 1 : Exemple de dispositifs d'échantillonnage pour ventilateur de toit

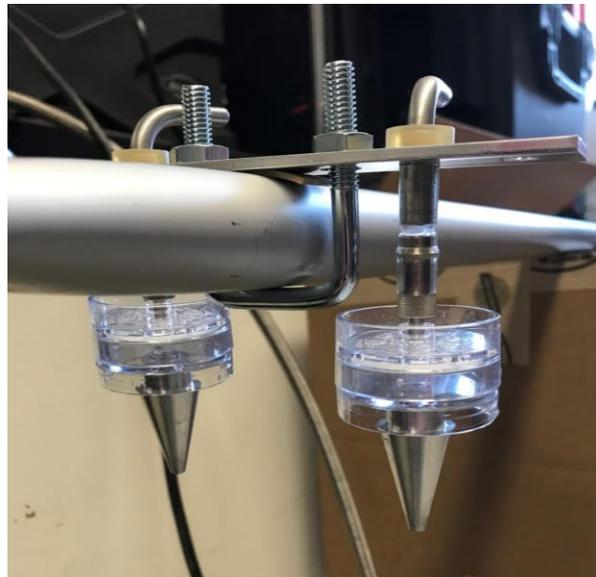


Photo 2 : Détail du montage buse-cassette

Les filtres sont initialement placés à l'intérieur de cassettes en polystyrène de 37 mm de diamètre. Les cassettes sont munies, à leurs entrées, d'une buse en matériau rigide (aluminium ou acier inoxydable) de diamètre d'entrée exactement mesuré. La vitesse d'échantillonnage, à l'entrée de la buse, doit être ajustée de telle sorte qu'elle soit égale à la vitesse des gaz mesurée au voisinage de la buse. Il s'agit donc d'un prélèvement isocinétique qui permet de recueillir des échantillons représentatifs, en particulier lorsque la détermination des particules est requise.

Le volume d'échantillon gazeux qui passe à travers chaque cassette est calculé en faisant le produit du débit d'échantillonnage par la durée effective du prélèvement. La concentration des particules émises à l'atmosphère par le point d'émission visé est égale à la moyenne des quotients de la masse de particules recueillie sur le filtre par le volume de gaz prélevé par cassette. Enfin, le résultat est exprimé soit en milligramme de particules par mètre cube de gaz sec aux conditions de référence ($\text{mg}/\text{m}^3\text{R gaz sec}$), soit en kilogramme de particules par heure (kg/h), soit en kilogramme de particules par tonne métrique de produits finis (kg/t).

4. Isocinétisme

Les gaz émis à l'atmosphère comportent des particules de différentes grosseurs. En général, la concentration des particules fines, dont le rayon aérodynamique est très petit, est peu influencée par la vitesse ou le débit de prélèvement. Cependant, la représentativité des échantillons contenant des particules de rayon aérodynamique plus grand est influencée par la vitesse et le débit d'échantillonnage. Afin d'obtenir des résultats représentatifs, les échantillons doivent être prélevés à l'aide de cassettes munies de buses de telle sorte que la vitesse d'échantillonnage des gaz à l'entrée de la buse soit égale à la vitesse des gaz au voisinage de la buse. Il s'agit d'un échantillonnage isocinétique.

Il faut donc bien ajuster le débit d'échantillonnage qui permet d'obtenir un prélèvement quasi isocinétique ($100 \pm 30\%$).

Le pourcentage d'isocinétisme est défini comme le rapport de la vitesse d'échantillonnage à l'entrée de la buse sur la vitesse des gaz au point d'échantillonnage au voisinage de la buse :

$$I = \frac{v}{v_0} * 100 \quad (1)$$

Or, la vitesse d'échantillonnage v à l'entrée de la buse ne peut pas être mesurée; cependant, la relation entre v et le débit d'échantillonnage φ s'écrit comme suit :

$$\varphi = Av = \pi \frac{D_n^2}{4} v \Rightarrow v = \frac{4\varphi_{moy}}{\pi D_n^2} \quad (2)$$

Donc, le pourcentage d'isocinétisme est égal à :

$$I = \frac{4\varphi_{moy}}{\pi D_n^2 v_0} * 100 \quad (3)$$

$$I = 2122,065 * \frac{\varphi_{moy}}{D_n^2 v_0} \quad (4)$$

Où

I : isocinétisme (%);

A : aire d'entrée de la buse (mm²);

v_0 : vitesse des gaz au voisinage de la buse (m/s). Cette vitesse est mesurée à l'aide d'un anémomètre le plus près possible de l'entrée de la buse. Elle est mesurée au début de chaque essai, pendant les rondes de vérification et à la fin de chaque essai;

v : vitesse d'échantillonnage à l'entrée de la buse (m/s). Cette valeur n'est pas mesurable directement. Elle est donc calculée en fonction du débit d'échantillonnage;

D_n : diamètre de la buse (mm);

φ_{moy} : débit d'échantillonnage moyen entre deux intervalles de temps (L/min);

2122,065 : constante de conversion $\frac{4 * 10^{-3}}{60 \pi (10^{-3})^2} * 100$.

5. Santé et sécurité

Les lieux de prélèvement comportent souvent des dangers susceptibles de porter atteinte à la santé et à la sécurité des membres de l'équipe d'échantillonnage. Comme ils sont responsables de leur propre sécurité, les membres de l'équipe d'échantillonnage sont tenus de porter les équipements de protection individuelle nécessaires et de respecter en tout temps les règles de sécurité en vigueur sur le site d'échantillonnage.

Des informations pertinentes à ce sujet sont présentées au *Cahier 1 – Généralités* du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale*.

Dans le contexte de campagnes d'échantillonnage des émissions atmosphériques, les membres de l'équipe de prélèvement doivent posséder, lorsque requis, les formations adéquates pour les travaux en hauteur, la conduite d'une nacelle élévatrice ou le transport de matières dangereuses. Les équipements de protection individuelle doivent être conformes aux prescriptions canadiennes en vigueur.

Les endroits où se feront les prélèvements devront être aménagés de façon sécuritaire afin d'effectuer les travaux sans risque d'incident ou d'accident. Lorsque les travaux d'échantillonnage ont lieu pendant la nuit, sur les toits des bâtiments, les endroits doivent être suffisamment éclairés. Lorsque les conditions météorologiques sont défavorables, notamment lors de fortes pluies, de fortes chutes de neige, de présence de glace ou de grand vent, la réalisation de travaux de prélèvement n'est pas recommandée.

Le moment de la campagne d'échantillonnage est choisi en concertation avec les représentants de l'exploitant de la source en tenant compte des contraintes liées au site d'échantillonnage, de telle sorte que les travaux se déroulent de façon sécuritaire.

Enfin, les membres de l'équipe d'échantillonnage doivent pouvoir communiquer efficacement entre eux, de même qu'avec le représentant désigné par l'exploitant de la source.

6. Visite préliminaire

Avant le début des travaux de prélèvement, une visite préliminaire du site d'échantillonnage est recommandée. Elle permet de prendre contact avec les représentants de l'exploitant de la source en vue d'obtenir des informations sur le fonctionnement du procédé, la liste des contaminants visés par la campagne d'échantillonnage et la nature des différents points d'émission. Au cours de cette visite, tous les points d'émission atypiques, tels que les sorties de ventilateurs, les événements ou les ouvertures, sont répertoriés et une attention particulière devra leur être accordée.

Lorsque nécessaire et possible, pour chacun des points d'émission, mesurer les dimensions puis dresser un profil des vitesses, en déduire la vitesse moyenne et évaluer le débit volumétrique en s'inspirant de la méthode SPE 1/RM/8 d'Environnement et Changement climatique Canada pour le calcul de la position des points de mesures.

Il est recommandé d'utiliser un anémomètre à hélice ou un anémomètre à fil chaud pour la mesure des vitesses aux différents points sélectionnés.

Lorsque le point d'émission n'est ni circulaire ni rectangulaire, par exemple de type plénum, il convient de faire des mesures de vitesses au minimum en dix points équidistants pour chaque ouverture à la base du plénum.

La liste complète des points d'émission visés est établie selon le tableau 1.

Tableau 1. Inventaire, dimensions et vitesses des points d'émission

Type de point d'émission	Nombre	Dimensions (m ou m x m)	Vitesse (m/s)	Observations (type de procédé, cycles de production)
Sortie de ventilateur				
Événement de type lanterneau				
Événement de type plénum				
Autres (p. ex., ouvertures dans les murs)				
Critère à vérifier				

L'état physique du point d'émission sera examiné attentivement afin de s'assurer qu'il peut supporter le système de fixation des cassettes et que celles-ci demeureront solidement attachées pendant la durée des essais. En particulier, il faut s'assurer que la position de la cassette reste stable et que le plan de la section d'entrée de la buse demeure perpendiculaire au sens du flux gazeux malgré les vibrations induites par la rotation des ventilateurs.

Lorsque la présence d'obstacles physiques, comme des volets de protection, est constatée en travers du flux gazeux, il faut noter leur état et leur mode de fonctionnement. Par exemple :

1. Les volets sont-ils ouverts uniquement lors des périodes de fonctionnement du ventilateur, pendant le fonctionnement du procédé ou sont-ils définitivement fermés?
2. Y a-t-il des poutres ou des grilles de protection de ventilateur encrassées se trouvant dans la trajectoire du flux gazeux et pouvant empêcher ou entraver les émissions à l'atmosphère des gaz en provenance de l'intérieur du bâtiment qui abrite le procédé?

L'exploitant de la source doit s'assurer que les conditions d'opération du procédé sont normales avant de commencer l'échantillonnage.

Enfin, au cours de la visite préliminaire, il faut s'assurer qu'il y a suffisamment de prises électriques pour alimenter les dispositifs d'échantillonnage.

7. Préparatifs

La préparation et la planification minutieuse de la campagne d'échantillonnage permettent d'atteindre les objectifs recherchés.

Des informations pertinentes à ce sujet sont présentées au *Cahier 4 – Échantillonnage des émissions atmosphériques en provenance de sources fixes* du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale*.

Aussi, il est important de tenir des réunions préparatoires et d'informer les membres de l'équipe d'échantillonnage de l'étendue du mandat, de dresser la liste des équipements et de la documentation pertinente et, éventuellement, d'étalonner et de vérifier le bon fonctionnement des instruments de mesure comme les anémomètres, les thermocouples ou les débitmètres.

7.1 Équipements

Voici une liste non exhaustive des équipements nécessaires pour l'échantillonnage des particules par la méthode des cassettes et leurs caractéristiques principales :

Cassettes et filtres : les cassettes sont en polystyrène de 37 mm de diamètre et contiennent un filtre en fibre de verre. Lorsque l'analyse des métaux est visée en même temps que les particules, les filtres en fibre de verre peuvent être utilisés s'ils respectent les exigences de la méthode 29 EPA section 7.2.1. Les filtres en polychlorure de vinyle (PCV) et en ester de cellulose mélangé (ECM) ne sont pas recommandés à cause de leur fragilité. Dans certains cas, les cassettes devront être en téflon ou protégées contre les températures élevées (entre 70 et 100 °C);

Buses : les buses sont droites, en aluminium, en acier inoxydable ou tout autre métal adéquat, à bords tranchants et à pointe effilée. L'intérieur des buses peut être recouvert en téflon. Les buses qui permettent le rebond des particules à leur entrée ne sont pas acceptées. Le diamètre d'entrée de chaque buse est exactement mesuré à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision minimale de 0,02 mm. Chaque buse doit comporter un numéro unique gravé à même le métal. Les numéros des buses avec le diamètre correspondant sont inscrits dans un registre d'étalonnage des buses;

Anémomètres à hélice ou à fil chaud : les anémomètres sont adéquats pour les plages de vitesses du point d'émission et possèdent un certificat d'étalonnage valide de moins de 12 mois. Les anémomètres peuvent servir à la lecture des températures des gaz, s'ils sont munis de cette option. L'anémomètre à fil chaud n'est pas recommandé dans un espace clos ou lorsque la température des gaz est élevée;

Débitmètre volumétrique électronique : le débitmètre possède un certificat d'étalonnage valide de moins de 12 mois;

Débitmètres à billes (rotamètres) : les débitmètres à billes sont en nombre suffisant de telle sorte que chaque cassette soit munie d'un débitmètre à bille qui permet de visualiser et d'ajuster le débit d'échantillonnage. Les débitmètres à billes sont utilisés à titre indicatif et ne peuvent pas servir pour la mesure exacte des débits d'échantillonnage. Ils sont utilisés uniquement pour l'ajustement des débits;

Thermocouples et lecteurs de températures : ces dispositifs doivent être correctement étalonnés;

Baromètre : le baromètre doit être correctement étalonné. En l'absence de baromètre, les mesures de la station météorologique la plus proche du site peuvent être utilisées;

Tubulure en polyéthylène : la tubulure a environ 7 mm de diamètre intérieur. Un autre type de matériau adéquat pour les conditions des gaz peut être utilisé;

Boîte ou coffre : la boîte ou le coffre comporte, par exemple, plusieurs rotamètres reliés chacun à une cassette. Les cassettes sont reliées à un collecteur et une pompe;

Pompes : les pompes sont en nombre suffisant et de puissance adéquate pour maintenir les débits d'échantillonnage ciblés. Chaque pompe est capable d'assurer l'échantillonnage simultané de plusieurs cassettes s'il y a lieu.

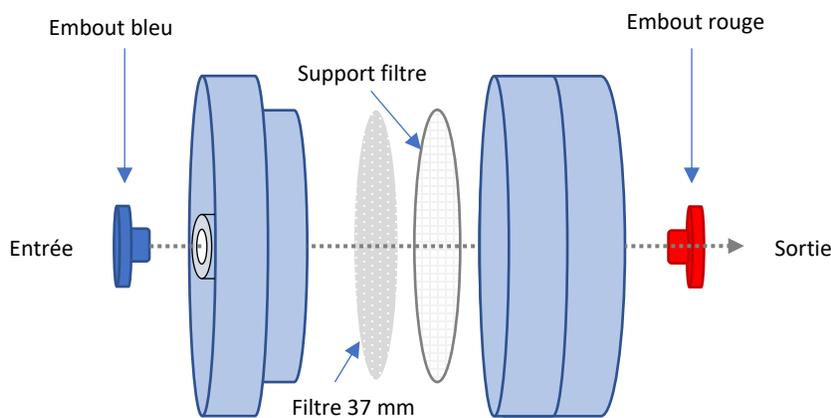
7.2 Préparation des cassettes

Le filtre est mis au dessiccateur pendant 24 heures et pesé à l'aide d'une balance analytique au dixième de milligramme près jusqu'à l'obtention d'une masse constante. La masse du filtre est inscrite dans un registre avec un numéro séquentiel unique. Le filtre est ensuite placé entre les deux compartiments d'une cassette en polystyrène que l'on refermera soigneusement, de façon étanche (avec un maillet de caoutchouc ou en utilisant une presse à cassettes). Les orifices d'entrée et de sortie de la cassette sont fermés à l'aide de bouchons protecteurs de couleurs différentes, l'un pour l'entrée et l'autre pour la sortie. En général, le bleu et le rouge sont les couleurs rencontrées. Chaque cassette est identifiée par le numéro séquentiel unique à l'aide d'étiquettes autocollantes. La masse et le numéro du filtre y sont indiqués. Le montage filtre-cassette est entouré d'une bande autoscellante afin d'assurer l'étanchéité.

Chaque cassette doit être soumise à un test d'étanchéité en bouchant l'entrée de la buse et en maintenant un vide de 380 mm de mercure pendant une minute. Le débit de fuite doit être inférieur à 0,57 L/min.

Lorsque les métaux sont visés en même temps que les particules, des blancs de filtres sont analysés pour les métaux et les résultats des échantillons pourront être corrigés par rapport à ceux des blancs selon les exigences de la méthode 29 EPA (section 7.2.1).

La figure 2 présente les différents éléments qui composent l'assemblage filtre-cassette et leur agencement.



Source : Casella Air Sampling Handbook

Figure 2. Schéma d'une cassette

7.3 Nombre de cassettes par point d'émission

Les points d'émission visés et leurs types sont répertoriés suffisamment à l'avance afin de planifier efficacement les travaux d'échantillonnage. Leur localisation exacte, en général sur le toit des bâtiments ou au niveau des ouvertures dans les murs, ainsi que le chemin pour y accéder sont des éléments à prendre en considération afin de prévoir les équipements nécessaires, en dresser une liste détaillée et établir un plan de travail efficace.

Puisque le nombre et l'emplacement des cassettes sont variables selon la configuration du point d'émission, il est recommandé de faire approuver le devis d'échantillonnage par les autorités concernées dans le cas de la vérification de la conformité environnementale.

Pour connaître le nombre exact de cassettes, il faut d'abord mesurer les dimensions de chacun des points d'émission (diamètre ou longueur et largeur), en calculer la surface au besoin, puis se référer au tableau 2.

Tableau 2. Nombre minimal de cassettes par unité de surface ou par unité de longueur

Type de point d'émission	Nombre minimal de cassettes
Sortie de ventilateur de toit (nombre de cassettes)	2 si $S^* \leq 2 \text{ m}^2$ 4 si $S > 2 \text{ m}^2$
Évent de toit de type lanterneau (nombre de cassettes par mètre linéaire)	0,18
Évent de toit de type plénum (nombre de cassettes par mètre linéaire)	0,16
Autres	2

*S : Surface totale à la sortie du ventilateur

En fonction du type de point d'émission (sortie de ventilateur, lanterneau ou plénum), les cassettes seront installées selon les schémas des figures 3, 4 et 5.

Le nombre minimal de cassettes à installer par point d'émission est toujours égal à 2. Il faut éviter d'installer des cassettes au-dessus d'une poutre ou de tout autre obstacle physique.

Exemple : lanterneau de 18 m de longueur et de 3 m de largeur

Le nombre de cassettes sera égal à : $18 \times 0,18 = 3,24$ (arrondir à l'unité supérieure), ce qui donne quatre cassettes.

Donc, il faut quatre cassettes qui seront installées au-dessus du lanterneau selon les dispositions de la figure 4.

7.4 Disposition des cassettes en fonction des types de points d'émission

Les cassettes sont toujours positionnées de telle sorte que le sens du flux gazeux soit perpendiculaire au plan de la section d'entrée de la buse. Elles seront généralement supportées par des traverses horizontales munies de tiges métalliques ou de fers d'angle.

Dans certains cas, la température des gaz peut être de l'ordre de 70 à 100 °C et ainsi altérer les cassettes et les lignes d'échantillonnage. Des précautions doivent être prises en utilisant les matériaux adéquats qui résistent à ces températures. Par exemple, les supports de cassettes et les lignes d'échantillonnage seront en téflon ou protégées adéquatement contre la chaleur, s'il y a lieu.

Les exemples suivants illustrent les points d'émission fréquemment rencontrés dans les industries.

7.4.1 Sortie de ventilateur de toit

Les cassettes seront installées au-dessus du ventilateur. Elles seront généralement supportées par des traverses horizontales munies de tiges métalliques ou de fers d'angle. Le dispositif sera tel que chaque cassette sera située à une distance minimale de la paroi interne de la sortie du ventilateur égale à 15 % du diamètre interne du conduit. S'il s'avère impossible de remplir cette condition, la cassette sera alors placée à un endroit dont la vitesse mesurée permet un échantillonnage isocinétique. Un minimum de deux cassettes par ventilateur est requis. La décision finale pour l'emplacement exact de chaque cassette sera prise lors de la visite préliminaire de l'usine, en tenant compte de l'état physique de chaque point d'émission, par exemple la présence de volets, de poutres ou de grilles encrassées.

Le nombre de cassettes à installer est aussi déterminé à partir du tableau 2, en fonction de la dimension du ventilateur.

La figure 3 présente un exemple de disposition des cassettes au-dessus d'un ventilateur.

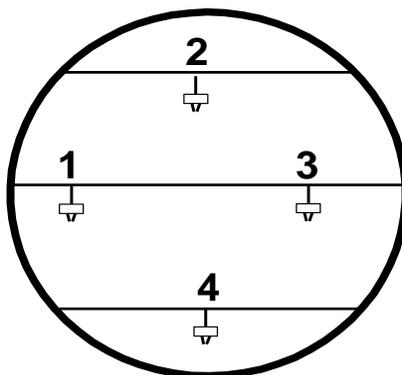


Figure 3. Exemples de l'emplacement des cassettes au-dessus d'un ventilateur

NOTE : Lorsqu'il est impossible de placer les cassettes au-dessus du ventilateur, on peut alors les positionner en dessous du ventilateur en perçant des trous dans les parois du conduit. Dans ce cas, les vitesses mesurées près des buses servent à ajuster le débit d'échantillonnage et les vitesses mesurées au-dessus du ventilateur, selon les recommandations de la méthode SPE 1/RM/8 A et B, servent pour le calcul des débits volumétriques d'émission des ventilateurs.

7.4.2 Événement de toit de type lanterneau

Il est recommandé d'installer sur chaque événement de toit un minimum de deux traverses horizontales dans le sens de la largeur, chacune à une distance égale au quart de la longueur totale de l'événement à partir de la paroi la plus proche. Le nombre minimal de traverses doit être déterminé de façon à bien couvrir uniformément la surface de l'événement de toit et à permettre d'attribuer la même surface à chacune des cassettes (figure 4). Le nombre de cassettes à installer est aussi déterminé à partir du tableau 2, en fonction de la dimension du lanterneau. Il faut prendre garde de ne pas positionner la cassette au-dessus d'une poutre ou de tout autre obstacle physique.



Figure 4. Exemples de l'emplacement des cassettes pour un événement de toit de type lanterneau

7.4.3 Événement de toit de type plénum

Les événements de toit de type plénum se rencontrent généralement avec les dépoussiéreurs à manches filtrantes. Les cassettes seront introduites par les ouvertures pratiquées à la base du plénum. Elles seront supportées par des perches comportant à leurs extrémités une tige métallique qui permettra de positionner la cassette au centre de la section constituant l'étranglement du conduit. La figure 5 représente une vue en élévation de la position des cassettes.

Le nombre de cassettes sera fixé selon le tableau 2, en fonction de la longueur de l'événement.

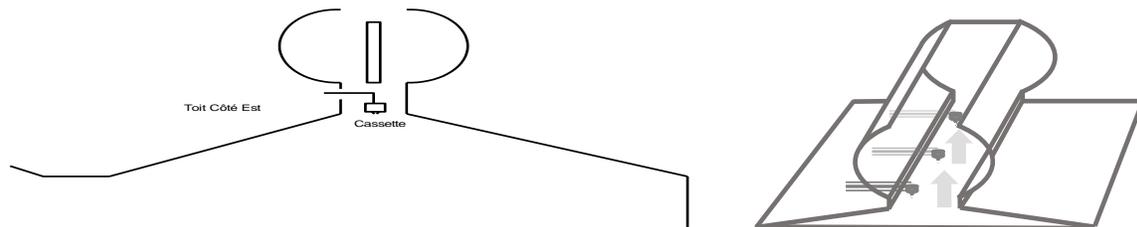


Figure 5. Exemple d'emplacement d'une cassette pour un événement de toit de type plénum

Lorsqu'il est impossible d'atteindre le centre du plénum, la cassette sera placée le plus loin possible de la paroi du conduit.

7.4.4 Autres types de points d'émission

De nombreux autres points d'émission peuvent être rencontrés, comme des ouvertures dans les murs et la toiture, des portes, des fenêtres ou des cyclones. Certains d'entre eux sont difficilement accessibles, ce qui rend l'installation des équipements d'échantillonnage difficile. Dans ces conditions, ces points d'émissions devront être colmatés, du moins pendant la campagne d'échantillonnage. Lorsque des ouvertures ne peuvent être fermées ou colmatées, elles doivent être échantillonnées. La procédure d'échantillonnage de ces points d'émission devra donc faire l'objet de discussions préalables avec les autorités afin d'approuver la méthodologie à employer.

7.5 Fonctionnement du procédé industriel

Il est important de connaître le fonctionnement du procédé industriel avant la campagne d'échantillonnage et de s'assurer que les conditions d'opération sont normales et représentatives afin d'obtenir les données pertinentes, telles que l'alimentation des intrants et le type de produit fini. Ces informations sont obtenues avec la collaboration des représentants de l'usine et plus particulièrement auprès des opérateurs de la salle de contrôle.

Les émissions des différentes phases du procédé déterminent la durée de l'essai (un ou plusieurs cycles) et devront être considérées pour obtenir un échantillonnage représentatif.

La durée d'un essai peut englober un ou plusieurs cycles de fonctionnement. Cet aspect est spécifié dans les documents fournis pour l'obtention d'autorisation ou sera déterminé conjointement avec les représentants de l'autorité concernée, avant le début de la campagne d'échantillonnage.

Les intrants au procédé (les matériaux nécessaires à l'élaboration du produit et les combustibles) de tous les équipements en fonction (p. ex., les fours) doivent être considérés durant la période de l'essai pour établir les taux d'alimentation et de production lors de l'échantillonnage.

Les données d'opération et les différents événements observés lors de l'échantillonnage doivent être notés afin de consigner l'information nécessaire pour mettre en contexte les conditions d'opération durant chacun des essais que comporte la campagne d'échantillonnage. Cette information sera utilisée au moment de la rédaction du rapport d'échantillonnage et devra être présentée dans celui-ci.

NOTE : Le temps d'échantillonnage est choisi afin de couvrir un nombre entier de cycles de procédé, soit le temps nécessaire à partir de l'alimentation des intrants au procédé jusqu'à l'obtention du produit final. Le nombre de cycles de procédé est fixé par les autorités et est habituellement spécifié dans les autorisations. Pour les industries sidérurgiques ou de ferroalliage qui comportent plusieurs fours, la coordination de l'échantillonnage s'effectue en fonction d'un seul four pour établir la durée de l'essai. Généralement, on utilisera le four dont le cycle est le plus long comme référence. Les autres fours devront aussi être en marche en mode de production normale afin que l'échantillonnage puisse tenir compte de toutes les émissions de l'ensemble des fours qui sont en marche. Le temps d'échantillonnage doit être minimalement supérieur à la durée du cycle du procédé industriel le plus long.

8. Échantillonnage

L'échantillonnage consiste à installer à chaque point d'émission des cassettes en nombre suffisant, tel qu'il est indiqué à la section 7, et à prélever des échantillons représentatifs pendant un temps suffisant pour couvrir minimalement le nombre de cycles complets de procédés. Un volume de 1,5 m³ par cassette est visé comme objectif.

L'échantillonnage d'un point d'émission devra être repris s'il y a perte d'un nombre de cassettes supérieur à 50 % du nombre de cassettes requis pour le point d'émission considéré; la reprise devra avoir lieu avant la fin de la campagne d'échantillonnage. Rappel : un minimum de deux cassettes est requis pour effectuer l'échantillonnage d'un point d'émission.

8.1 Installation des cassettes et mesures

Les cassettes sont installées en nombre suffisant aux emplacements définis à la section 7. Elles sont munies de buses dont le diamètre d'entrée est sélectionné de façon à permettre le maintien des conditions isocinétiques pendant le prélèvement des échantillons et à atteindre le volume visé de 1,5 m³ par cassette.

Le diamètre des buses à utiliser est calculé suivant la relation exprimant l'isocinétisme du prélèvement par l'égalité des vitesses d'échantillonnage et des gaz émis à l'atmosphère. Il est important de s'assurer, préalablement à l'échantillonnage, que des buses ayant le diamètre approprié seront disponibles pour réaliser celui-ci. Certains points d'émission peuvent présenter de faibles vitesses de l'ordre de 1 m/s. Dans ce cas, des buses de plus gros diamètre sont recommandées pour atteindre les débits d'échantillonnage désirés et maintenir les conditions isocinétiques pendant la durée des essais.

Pour une vitesse des gaz mesurée au voisinage de la buse, le diamètre de la buse et le débit d'échantillonnage sont choisis judicieusement de telle sorte que l'essai envisagé soit réalisé dans les délais prévus au devis d'échantillonnage et que le volume visé de gaz prélevé de 1,5 m³ par cassette soit atteint. L'annexe A présente des exemples de diamètres des buses en fonction de la vitesse des gaz.

Le diamètre de buse qui permet de maintenir les conditions isocinétiques peut être calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$D_n = 4,6066 * \left[\frac{\varphi}{v_0} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Où

D_n : diamètre de buse envisagé (mm);

φ : débit d'échantillonnage envisagé (L/min);

v_0 : vitesse d'évacuation des gaz au voisinage de la buse (m/s);

4,6066 : constante de conversion $\left[\frac{4*10^{-3}}{60\pi} \right]^{\frac{1}{2}} * 1000$

Le temps d'échantillonnage qui permet d'obtenir le volume minimal de gaz fixé comme objectif est obtenu de la façon suivante :

$$t_{éch} = \frac{V}{\varphi} \quad (6)$$

Où

$t_{éch}$: temps d'échantillonnage estimé ou durée de l'essai (min);

V : volume minimal de gaz fixé comme objectif (L);

φ : débit d'échantillonnage envisagé (L/min).

NOTE : Par mesure de précaution, le débit d'échantillonnage et le diamètre de la buse seront sélectionnés pour des valeurs légèrement supérieures aux valeurs théoriques. Ce choix permet de compenser les fluctuations du fonctionnement du procédé ainsi que les temps d'arrêt pendant les rondes de vérification et de se prémunir d'éventuels incidents pouvant empêcher l'atteinte du volume de gaz de 1,5 m³ par cassette fixé comme objectif.

Le tableau de l'annexe A présente des exemples de valeurs des vitesses des points d'émission en fonction des diamètres de buses à différents débits d'échantillonnage.

Exemple : Il s'agit d'échantillonner pendant six heures un évent de toit de manière à couvrir minimalement deux cycles consécutifs du procédé. La vitesse d'évacuation des gaz a été mesurée et la moyenne obtenue est égale à 4 m/s. De plus, un volume de gaz à prélever de 1,5 m³ par cassette est fixé comme objectif.

Question :

Quel serait, en millimètre, le diamètre de buse pour réaliser cet essai?

Réponse :

Le débit d'échantillonnage minimal qui permet d'atteindre 1,5 m³ pendant six heures est égal à :

$$\varphi = \frac{1500}{360} = 4,17 \text{ L/min}$$

Par mesure de précaution, le débit d'échantillonnage choisi sera arrondi à l'entier supérieur et sera donc fixé à 5 L/min.

Le diamètre de buse envisagé sera égal à :

$$D_n = 4,6066 * \left[\frac{5}{4} \right]^{\frac{1}{2}} = 5,15 \text{ mm}$$

Toujours par mesure de précaution, le diamètre d'entrée visé sera arrondi à l'entier supérieur, de sorte qu'on ciblera une buse de diamètre d'entrée de 6 mm.

En définitive, le choix optimal pour réaliser l'essai dans les bonnes conditions sera voisin des valeurs suivantes :

$$\varphi = 5 \text{ L/min} \quad \text{et} \quad D_n = 6 \text{ mm}$$

Il s'agit maintenant de choisir parmi les buses disponibles celles dont le diamètre exactement mesuré est d'environ 6 mm et d'ajuster le débit d'échantillonnage autour d'une valeur de 5 L/min en fonction du diamètre réel de la buse choisie.

Lorsque les cassettes ont été installées aux emplacements désignés, les vitesses doivent être mesurées encore une fois le plus près possible de l'entrée de chaque cassette, puis le débit d'échantillonnage devant être maintenu pendant les prélèvements est ajusté à l'aide de l'équation suivante :

$$\varphi = 0,04712 * D_n^2 v_0 * \frac{(T_d+273)}{(T_{\text{évent}}+273)} \quad (7)$$

Où

φ : débit d'échantillonnage ajusté à la buse à l'aide d'un débitmètre électronique (L/min);

D_n : diamètre de la buse choisie (mm);

v_0 : vitesse des gaz mesurée près de la buse (m/s)

T_d : température mesurée à l'endroit où le débitmètre électronique a été placé (°C);

$T_{\text{évent}}$: température mesurée à l'emplacement de la cassette pendant l'échantillonnage (°C);

0,04712 : constante de conversion $\frac{\pi}{4 \times 1000} * 60$

Il convient de noter sur une feuille de données de terrain (exemple à l'annexe B) :

- La valeur du débit d'échantillonnage mesuré à la buse et l'heure de début de l'échantillonnage, pour chaque cassette;
- Les valeurs des différents paramètres.

Durant l'échantillonnage, il faut faire des rondes de vérification minimalement toutes les deux heures pour mesurer la vitesse des gaz le plus près possible de chaque buse et ajuster le débit d'échantillonnage en fonction de cette nouvelle valeur, le cas échéant, de façon à respecter les conditions isocinétiques.

NOTE : Lorsque la cassette n'est pas accessible pour la mesure du débit d'échantillonnage, retirer la tige qui sert de support à la cassette et noter l'heure du retrait. Mesurer le débit à la buse. Ajuster le nouveau débit calculé puis remettre la cassette à sa place et noter l'heure de remise de la cassette à son emplacement. La différence de temps entre le retrait de la cassette et sa remise en place n'est pas prise en considération dans le calcul du volume total de gaz prélevé par la cassette pendant la durée de l'essai.

Lorsque des impératifs de santé et de sécurité limitent le temps d'accès au point de prélèvement, les rondes de vérification peuvent être diminuées de moitié. Par exemple, il est possible d'effectuer une seule ronde de vérification au lieu des deux rondes initialement prévues à l'intérieur d'une période d'échantillonnage de six heures. Les vérifications et les mesures des paramètres d'échantillonnage au début et à la fin de l'essai demeurent obligatoires.

Au dernier passage, retirer la tige qui supporte les cassettes et noter l'heure de fin de l'essai. Mesurer le débit d'échantillonnage final et noter sa valeur puis arrêter la pompe.

8.2 Évaluation des débits volumétriques

Afin d'évaluer les débits volumétriques, il faut :

- Mesurer exactement les dimensions du point d'émission. Pour une sortie de ventilateur circulaire, il s'agit de mesurer le diamètre, tandis que pour un évent de toit rectangulaire, il faut mesurer la longueur et la largeur;
- Diviser l'aire du point d'émission en s'inspirant de la méthode SPE 1/RM/8 pour sélectionner les points de mesure;
- Mesurer les vitesses aux différents points à l'aide d'un anémomètre à hélice ou à fil chaud;
- Faire la moyenne des vitesses ainsi mesurées pour l'obtention du profil de vitesse du point d'émission.

Le débit volumétrique du point d'émission est obtenu en calculant le produit de la surface du point d'émission par la vitesse moyenne.

8.3 Récupération des cassettes

À la fin des essais, chaque cassette est détachée de son support et de la tubulure en polyéthylène qui la relie au dispositif d'échantillonnage. La buse est enlevée et rangée. L'intégrité de la cassette est vérifiée et les anomalies sont notées sur la feuille de données de terrain. Les deux orifices de la cassette sont protégés à l'aide du bouchon rouge et du bouchon bleu puis elle est entreposée dans une boîte rigide de telle sorte que l'orifice d'entrée soit dirigé vers le haut. Les cassettes sont ensuite acheminées vers un laboratoire d'analyse accrédité, lorsque requis.

8.4 Traçabilité

Des feuilles de données de terrain individuelles (exemple à l'annexe B) sont correctement remplies pour chaque cassette et devront être intégrées au rapport de la campagne d'échantillonnage. Il faut s'assurer que le nombre de cassettes récupérées correspond bien au nombre de feuilles de données de terrain. Enfin, il convient de remplir la demande d'analyse en mentionnant le contaminant visé.

9. Assurance qualité et contrôle qualité

Avant la campagne d'échantillonnage, les principaux éléments de contrôle de la qualité à vérifier sont les suivants :

1. Les cassettes sont bien montées avec le filtre adéquat, elles sont bien identifiées et leur étanchéité est vérifiée. L'identification comprend un numéro séquentiel unique;
2. Les filtres sont pesés par le laboratoire d'analyse, accrédité lorsque requis, et les masses sont notées dans un registre. Des cassettes avec des filtres prépesés disponibles auprès de fournisseurs spécialisés sont acceptées;
3. Le diamètre des buses utilisées est exactement mesuré avec une précision de 0,02 mm. Chaque buse comporte un numéro séquentiel unique gravé à même le métal. Les diamètres des buses sont notés dans un registre;
4. Les anémomètres et les débitmètres électroniques sont correctement étalonnés et les certificats d'étalonnage sont disponibles;
5. Lorsque les métaux sont visés, l'équipe d'échantillonnage doit prévoir une cassette pour le blanc de transport pour chaque essai.

Pendant la campagne d'échantillonnage, une attention particulière doit être portée aux éléments de contrôle suivants :

1. L'étanchéité du dispositif d'échantillonnage est vérifiée avant le début des prélèvements;
2. Des rondes de vérification sont effectuées minimalement toutes les deux heures pour prendre les mesures et s'assurer du bon fonctionnement du dispositif d'échantillonnage;
3. Les informations pertinentes doivent être rigoureusement inscrites sur les feuilles de données de terrain.

Après la campagne d'échantillonnage, il est important de contrôler les éléments suivants :

1. Les cassettes doivent être transportées avec le bouchon d'entrée vers le haut;
2. La correspondance des numéros de cassette sur la demande d'analyse en fonction des numéros réels sur les cassettes doit être vérifiée;
3. Le nombre de feuilles de données de terrain correspond bien au nombre de cassettes;
4. Les cassettes sont analysées par un laboratoire accrédité, lorsque requis.

10. Expression des résultats

Lorsqu'il s'agit d'un procédé industriel comportant plusieurs types de points d'émission, les émissions totales, exprimées en kilogramme de contaminant (particules, métaux) par heure ou en kilogramme de contaminant par tonne de produits finis, sont obtenues en calculant d'abord les émissions pour chacun des points pris individuellement, puis en faisant la somme de toutes les émissions ainsi obtenues.

Pour ce faire, il faut procéder en trois étapes, soit :

- 1) Calcul des débits volumétriques des points d'émission;
- 2) Calcul des concentrations;
- 3) Calcul des émissions.

10.1 Débit volumétrique du point d'émission

Les équations utilisées pour déterminer les débits volumétriques aux principaux points d'émission généralement rencontrés sont présentées dans les sections suivantes.

10.1.1 Sortie de ventilateur de toit (section circulaire)

Le débit volumétrique d'un point d'émission i , de section circulaire, correspond au produit de l'aire ou de la section par la vitesse moyenne des gaz.

$$\Phi_i = A_i v_{i(moy)} \quad (8)$$

$$\Phi_i = \pi \frac{D_i^2}{4} v_{i(moy)} * 3600 \quad (9)$$

Où

A_i : aire ou section circulaire du point d'émission i (m^2);

Φ_i : débit volumétrique du point d'émission i (m^3/h);

$v_{i(moy)}$: vitesse moyenne du point d'émission i (m/s);

D_i : diamètre du point d'émission i (m);

3600 : facteur de conversion (seconde en heure).

10.1.2 Évent de toit (section rectangulaire)

Le débit volumétrique d'un point d'émission i de section rectangulaire correspond au produit de l'aire ou de la section rectangulaire par la vitesse moyenne des gaz.

$$\Phi_i = L_i l_i v_{i(moy)} * 3600 \quad (10)$$

Où

Φ_i : débit volumétrique du point d'émission i (m^3/h);

$v_i(moy)$: vitesse moyenne du point d'émission i (m/s);

L_i : longueur du point d'émission i (m);

l_i : largeur du point d'émission i (m);

3600 : facteur de conversion (seconde en heure).

10.2 Débit d'échantillonnage moyen entre deux intervalles de temps

Le débit d'échantillonnage moyen entre deux intervalles de temps est obtenu en faisant la moyenne arithmétique des débits mesurés à la buse entre deux intervalles de temps à l'aide d'un débitmètre électronique.

$$\varphi_{j(moy)} = \frac{\varphi_{t_j} + \varphi_{t_{j-1}}}{2} \quad (11)$$

Où

$\varphi_{j(moy)}$: débit d'échantillonnage moyen entre deux intervalles de temps (L/min);

φ_{t_j} : débit d'échantillonnage mesuré à la buse au temps t pendant le passage j (L/min);

$\varphi_{t_{j-1}}$: débit d'échantillonnage mesuré à la buse au temps t pendant le passage précédent $j-1$ (L/min);

j : numéro de passage pour la vérification et la mesure des paramètres d'échantillonnage.

10.3 Volume de gaz prélevé à chaque cassette

Le volume de gaz prélevé à chaque cassette correspond à la somme des volumes calculés entre deux intervalles de temps (deux passages consécutifs), en faisant le produit du débit d'échantillonnage moyen obtenu entre deux passages par le temps d'échantillonnage effectif.

Premier cas : Le prélèvement n'a pas été interrompu pendant toute la durée de l'essai.

Le volume d'échantillon prélevé est obtenu en faisant le produit du débit d'échantillonnage moyen par le temps d'échantillonnage.

$$V_k = \varphi_{k(moy)} t * 10^{-3} \quad (12)$$

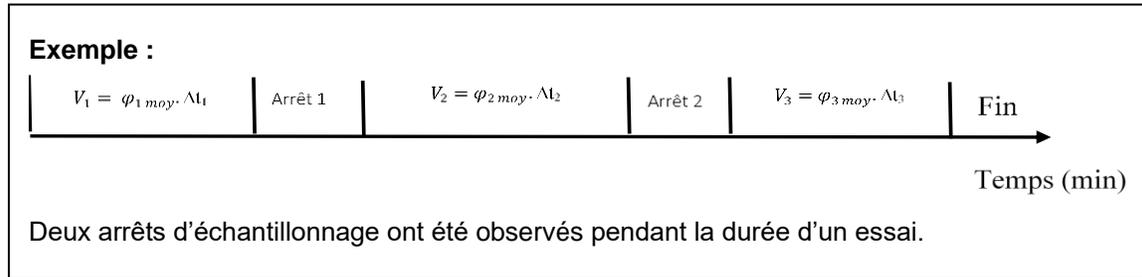
Où

V_k : volume prélevé à la cassette k (m^3);

$\varphi_{k(moy)}$: débit d'échantillonnage moyen à la cassette k , entre le début et la fin de l'essai (L/min);

t : durée totale de l'essai sans interruption (min).

Deuxième cas : Il y a eu des interruptions des prélèvements pendant la durée de l'essai, soit parce que le procédé a été arrêté, soit parce que les cassettes ont été retirées pour ajuster le débit d'échantillonnage. Le volume d'échantillon prélevé est alors obtenu en faisant la somme des volumes recueillis entre chaque début et chaque arrêt du prélèvement. Le temps entre l'arrêt et la reprise d'un essai n'est pas pris en compte pour le calcul du volume de l'échantillon.



Le volume total prélevé par cassette pendant plusieurs périodes est égal à :

$$V_k = (\varphi_{1\text{ moy}} \Delta t_1 + \varphi_{2\text{ moy}} \Delta t_2 + \varphi_{3\text{ moy}} \Delta t_3 + \dots + \varphi_{j\text{ moy}} \Delta t_j) * 10^{-3}$$

$$V_k = 10^{-3} * \sum_{j=1}^p \varphi_{j\text{ moyen}} \Delta t_j \quad (13)$$

Où

V_k : volume prélevé à la cassette k pendant la durée totale et effective de l'essai aux conditions réelles (m^3);

φ_j (moy) : débit d'échantillonnage moyen entre chaque début et chaque arrêt d'échantillonnage (L/min);

Δt_j : temps écoulé entre chaque démarrage et chaque arrêt de l'échantillonnage (min);

j : numéro de passage pour la vérification et la mesure des paramètres d'échantillonnage;

k : numéro de la cassette.

p : nombre de passages pour la vérification et la mesure des paramètres d'échantillonnage.

NOTE : Le temps écoulé entre chaque arrêt de l'échantillonnage et chaque redémarrage ne doit pas être pris en considération pour le calcul du volume prélevé ni pour la durée effective de l'essai.

10.4 Calcul des concentrations

La concentration de contaminants (p. ex., particules, métaux) recueillis sur le filtre de chaque cassette est obtenue en faisant le quotient de la masse de contaminants recueillie par le volume de gaz prélevé à la cassette pendant la durée de l'essai.

$$C_k = \frac{m_k}{V_k} \quad (14)$$

Où

C_k : concentration de contaminants pour la cassette k (mg/m³);

m_k : masse de contaminants recueillie sur le filtre de la cassette k (mg);

V_k : volume de gaz prélevé à la cassette k (m³).

Une fois les concentrations des cassettes compilées, la concentration moyenne pour chacun des points d'émission est établie en faisant la moyenne arithmétique des concentrations de chaque cassette.

$$C_{i_{moy}} = \frac{\sum_{k=1}^m C_k}{m} \quad (15)$$

Où

$C_{i_{moy}}$: concentration moyenne de contaminants pour le point d'émission i (mg/m³);

C_k : concentration de contaminants pour la cassette k (mg/m³);

m : nombre total de cassettes pour le point d'émission i ;

k : nombre entier qui désigne le numéro de la cassette.

10.5 Calcul des émissions

Les émissions de particules et de métaux peuvent être exprimées de trois manières différentes, dépendamment de l'élément de la conformité environnementale à vérifier.

10.5.1 Concentration (mg/m³R de gaz sec)

Lorsque le critère à vérifier est exprimé en milligramme par mètre cube de gaz sec aux conditions de référence, il convient de :

- 1) Calculer d'abord le volume de gaz prélevé à chacune des cassettes aux conditions réelles selon l'équation 12 ou 13;
- 2) Ramener le volume calculé aux conditions de référence d'un gaz sec selon l'équation suivante :

$$V_k^0 = V_k \frac{(T_0+273)P}{P_0(T+273)} * \left(1 - \frac{w}{100}\right) \quad (16)$$

Où

V_k^0 : volume de gaz sec prélevé à la cassette k aux conditions de référence (m^3R);

V_k : volume de gaz prélevé à la cassette k aux conditions réelles (m^3);

W : teneur en humidité des gaz aux conditions de référence (%);

T_0 : température aux conditions de référence (25 °C);

T : température des gaz (°C);

P_0 : pression aux conditions de référence (101,3 kPa);

P : pression absolue des gaz aux conditions réelles (kPa);

k : nombre entier qui désigne le numéro de la cassette.

La concentration de contaminants pour chaque cassette est obtenue par l'équation suivante :

$$C_k^0 = \frac{m_k}{V_k^0} \quad (17)$$

Où

C_k^0 : concentration de contaminants pour la cassette k (mg/m^3R);

m_k : masse de contaminants recueillie sur le filtre de la cassette k (mg);

V_k^0 : volume de gaz sec prélevé à la cassette k aux conditions de référence (m^3R);

k : nombre entier qui désigne le numéro de la cassette.

La concentration moyenne de contaminants émis par le point d'émission i est égale à :

$$C_{i\text{moy}}^0 = \frac{\sum_{k=1}^m C_k^0}{m} \quad (18)$$

Où

$C_{i\text{moy}}^0$: concentration moyenne de contaminants du point d'émission i aux conditions de référence (mg/m^3R);

m : nombre total de cassettes pour le point d'émission i ;

k : nombre entier qui désigne le numéro de la cassette.

La concentration moyenne de contaminants émis par un procédé pour chacun des essais est obtenue en faisant la moyenne des concentrations des points d'émission du procédé.

10.5.2 Taux d'émission horaire

Lorsque les valeurs limites d'émission de contaminants d'un procédé industriel sont exprimées en kilogramme de contaminants par heure (kg/h), il convient tout d'abord de calculer le taux d'émission horaire de chacun des points d'émission i selon l'équation suivante :

$$E_i = C_{i\text{moy}} \phi_i * 10^{-6} \quad (19)$$

Le taux d'émission horaire du procédé (kilogramme de contaminants par heure) est obtenu en faisant la somme du taux d'émission horaire de chaque point d'émission selon l'équation suivante :

$$E_{h(\text{procédé})} = \sum_{i=1}^q E_i \quad (20)$$

Où

$E_{h(\text{procédé})}$: taux d'émission horaire de contaminants du procédé (kg/h);

E_i : taux d'émission horaire de contaminants du point d'émission i (kg/h);

Φ_i : débit volumétrique du point d'émission i aux conditions réelles (m³/h);

$C_{i\text{moy}}$: concentration moyenne de contaminants du point d'émission i aux conditions réelles (mg/m³);

i : nombre entier qui désigne le point d'émission i ;

q : nombre total de points d'émission;

10^{-6} : constante de conversion (milligramme en kilogramme).

10.5.3 Taux d'émission massique

Lorsque les valeurs limites d'émission de contaminants d'un procédé industriel sont exprimées en kilogramme de contaminants par tonne métrique de produits finis (kg/t), il faut calculer les émissions totales de contaminants en kilogramme par heure selon l'équation 20 ci-dessus. Le résultat obtenu est divisé par le taux de production de produit fini exprimé en tonne métrique par heure selon l'équation suivante :

$$E_{m(\text{procédé})} = \frac{\sum_{i=1}^q E_i}{T_{\text{production}}} \quad (21)$$

Où

$E_{m(\text{procédé})}$: taux d'émission massique de contaminants du procédé (kg/t de produit fini);

$T_{\text{production}}$: taux de production de produit fini (t/h);

E_i : taux d'émission horaire de contaminants du point d'émission i (kg/h);

i : nombre entier qui désigne le point d'émission;

q : nombre total de points d'émission.

11. Références bibliographiques

- ASSOCIATION DE L'ALUMINIUM DU CANADA (2015). *Méthode de référence pour l'échantillonnage des particules et des fluorures totaux aux événements de toit pour des salles de cuves des alumineries du Québec*.
- BARONE, T. L., ET COLLAB. (2016). « Sampling and analysis method for measuring airborne coal dust mass in mixtures with limestone (rock) dust », *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 13, n° 4, p. 288-296.
- DROLET, D., ET G. BEAUCHAMP (2012). *Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail, 8^e édition, version 8.1 mise à jour*, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Guide technique T-06. Disponible au <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/pubirsst/t-06.pdf>.
- ENVIRONNEMENT CANADA (1993). *Méthode de référence en vue d'essais aux sources : Mesure des rejets de particules de sources fixes*, Méthode de référence SPE 1/RM/8.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (2023). *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales – Cahier 1 – Généralités*, Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 58 p., 3 annexes. Disponible au <https://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage/generalitesc1.pdf>.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DU QUÉBEC (2016). *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales – Cahier 4 – Échantillonnage des émissions atmosphériques en provenance de sources fixes*, Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 71 p. Disponible au https://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage/emiss_atm_fixesC4.pdf.
- PAIK, S., ET J. H. VINCENT (2002). « Aspiration efficiency for thin-walled nozzles facing the wind and for very high velocity ratios », *Journal of Aerosol Science*, vol. 33, n° 5, p. 705-720.
- RECORD (2011). *Métrieologie des émissions diffuses de poussières et de gaz – flux et composition des centres de traitement ou stockage de déchets et des sites pollués. État des connaissances*, 131 p, n° 08-0137/1A.
- USEPA. CFR 40, Part 63 Method 14 A: *Determination of Total Fluorides Emissions from Selected Sources at Primary Aluminum Production Facilities*, édition courante.

Annexe A : Exemples de diamètres des buses en fonction de la vitesse des gaz et estimation des débits et du temps d'échantillonnage, basés sur un volume de 1,5 m³ par cassette comme objectif

Vitesse (m/s)	Diamètre de buse (mm)	Débit d'échantillonnage (L/min)	Temps d'échantillonnage (h)
15,0	2	2,83	9
	3	6,36	4
	4	11,31	2
12,0	2	2,26	11
	3	5,09	5
	4	9,05	3
10,0	3	4,24	6
	4	7,54	3
	5	11,78	2
8,0	3	3,39	7
	4	6,03	4
	5	9,42	3
6,0	4	4,52	6
	5	7,07	4
	6	10,18	2
4,0	4	3,02	8
	5	4,71	5
	6	6,79	4
2,0	5	2,36	11
	6	3,39	7
	7	4,62	5
1,0	8	3,02	8
	10	4,71	5
	12	6,79	4
0,8	8	2,41	10
	10	3,77	7
	12	5,43	5
0,6	10	2,83	9
	12	4,07	6
	14	5,54	5
0,4	10	1,88	13
	12	2,71	9
	14	3,69	7
0,2	12	1,36	18
	14	1,85	14
	16	2,41	10

Annexe B : Exemple de feuille de données de terrain

Nom de la firme d'échantillonnage :	_____
Adresse de la firme d'échantillonnage :	_____
Usine :	_____
Adresse de l'usine :	_____

	Début	Fin
Technicien		
Date		
Pa (po Hg)		

Point d'émission :			
Dimensions :	Circulaire	Rectangulaire	
	Diamètre (m)	Longueur (m)	Largeur (m)
Diamètre de la buse (mm) :			

Nature de l'essai :	
Numéro de l'essai :	
Numéro du filtre :	
Masse du filtre (g) :	

$$\text{Débit}_{ech} = 0,04712 \cdot D_n^2 \cdot v_s \cdot \frac{(T_d + 273)}{(T_{évent} + 273)}$$

	Échantillonnage							Observations
	Début	Après 2 h	Après 4 h	Après 6 h	Après 8 h	Après 10 h	Fin	
Heure début								
Heure de fin								
Température au débitmètre (°C)								
Température au point de prélèvement (°C)								
Vitesse d'évacuation des gaz (m/s)								
Débit initial (L/min)								
Débit final (L/min)								
Débit au rotamètre (L/min)								



**Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs**

Québec 