



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 213452 - 2770918 - v1.0

28/05/2024

Campagne de mesures de substances à l'état nanoparticulaire à l'émission d'une UIDD

Programme d'Appui MIV23 - Opération 3

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : **DIRECTION MILIEUX ET IMPACTS SUR LE VIVANT**

Rédaction : CEA Benjamin ; FRABOULET Isaline

Vérification : FRABOULET ISALINE; PAPIN ARNAUD

Approbation : Document approuvé le 28/05/2024 par BOUDET CELINE

Liste des personnes ayant participé à l'étude : A. Dermigny, N. Karoski, F. Ait Ben Ahmad, Y. Baillon

Table des matières

1	GLOSSAIRE	7
2	Introduction	8
2.1	Contexte et objectifs	8
3	Description du site d'intervention	8
3.1	Unité d'Incinération de Déchets Dangereux (UIDD)	8
4	Matériels et Méthodes	9
4.1	Paramètres mesurés	9
4.2	Méthodes de mesurages mises en œuvre	9
4.2.1	Détermination de la granulométrie en nombre et analyse MET/EDS des grilles MPS	9
4.2.2	Caractérisation massique des fractions granulométriques par impaction manuelle et analyse quantitative élémentaire sur les fractions prélevées	10
	Qualité de l'air - Emissions de sources fixes - Exigences spécifiques de mesurage (ressources, processus de mise en œuvre, rapportage)	12
4.3	Planning de la campagne de mesures sur site	12
5	Résultats	13
5.1	Résultats des mesures périphériques	13
6	Caractérisation de l'aérosol	14
6.1	Résultats des analyses par microscopie et analyse élémentaire	14
6.1.1	Observation des échantillons collectés le 1 ^{er} jour	15
6.1.2	Résultats de caractérisation de la granulométrie en nombre	24
6.2	Granulométrie en masse	25
6.2.1	Valeurs des Blancs de site	25
6.2.2	Granulométrie en masse des échantillons prélevés	26
6.2.3	Analyse quantitative de Br, Al, Ca, Fe, K et Mn dans les échantillons prélevés par impaction	28
7	Synthèse observations faites au rejet de l'UIDD et mise en perspective vis-à-vis des résultats obtenus à l'émission des UIOM	31
8	Conclusions	31

Table des illustrations

Tableau 1 : Limite de détection et de quantification pour la pesée des filtres Dekati 4 étages et DGI	12
Tableau 2 : Mesures réalisées à l'émission du Four 3 sur le site UIDD	12
Tableau 3 : Caractéristiques physiques et chimiques des fumées, Jours 1, 2 et 3	13
Tableau 4 : Valeurs des blancs de site des filtres Quartz impacteur DGI	25
Tableau 5 : Valeurs des blancs de site des filtres Quartz impacteur Dekati 4 étages	25
Tableau 6 : Tranches granulométriques Jours 1, 2 et 3	26
Tableau 7 : Fractions particulaires déterminées Jours 1, 2 et 3	27
Tableau 8 : Analyses quantitatives des éléments Br, Al, Ca, Fe, K et Mn dans les filtres impacteurs DGI et Dekati 4 étages (Essai 1). Les valeurs de concentrations surlignées en orange sont proches ou inférieures aux blancs	28

Tableau 9 : Analyses quantitatives des éléments Br, Al, Ca, Fe, K et Mn dans les filtres impacteurs Dekati 4 étages (Essai 2). Les valeurs de concentrations surlignées en orange sont proches ou inférieures aux blancs.	29
Figure 1 : Système de dilution à chaud eDiluteur Pro (A) en amont d'un compteur granulométrique ELPI+ (B) et de préleveurs manuels MPS (C)	9
Figure 2 : Schéma descriptif et photo de l'impacteur Dekati	10
Figure 3 : Schéma descriptif de l'impacteur DGI	11
Figure 4 : Images de plusieurs ouvertures de grilles MET collectées par MPS sur les effluents du four 3	14
Figure 5 : Prise de vue particule de suie jour 1 échantillon jour 1 avec image, cartographie STEM et spectre d'analyse EDS	15
Figure 6 : Prise de vue d'un amas de particules jour 1 échantillon 1 avec image, cartographie STEM et spectre d'analyse EDS	16
Figure 7 : Images d'un agrégat de suie et de deux particules d'oxyde de fer	17
Figure 8 : Prises de vue, jour 1 échantillon 2 avec image, cartographie STEM et spectre d'analyse EDS	18
Figure 9 : Images d'agrégats de suie enchevêtrés avec des grosses particules métalliques, image, cartographie STEM et spectre EDS, échantillon 3 jour 1	19
Figure 10 : Observations d'un agrégat de suie (a) d'une particule sphérique riche en calcium (b) et d'un amas de particules de fer (c), échantillon 1 jour 2	20
Figure 11 : Agrégat de suie et particules d'oxyde de fer, particule sphérique riche en calcium et amas de particules de fer, images, cartographie STEM et spectre EDS, échantillon 1 jour 2	21
Figure 12 : Particule composée de calcium et un amas de particules composé essentiellement d'oxydes de Mn, K et Br, images, cartographie STEM et spectre EDS, échantillon 2 jour 2	22
Figure 13 : Particules composées majoritairement de sels (Ca, K, Br ...) et d'oxyde de fer, images, cartographie STEM et spectre EDS, échantillon 2 jour 2	23
Figure 14 : Résultats des comptages granulométriques à l'ELPI+ illustrés par étage/plateau.	24

Résumé

Les nanomatériaux, du fait de leurs propriétés spécifiques, trouvent aujourd'hui des applications étendues dans de nombreux secteurs industriels et produits à destination du grand public. Ces nouveaux matériaux peuvent cependant comporter des risques pour les populations et l'environnement, qu'il est souhaitable d'apprécier et de maîtriser tout au long du cycle de vie et notamment en fin de vie lors de leur destruction par incinération.

Dans ce contexte, l'opération 3 « substances à enjeux techniques » du programme d'appui MIV23 s'intéresse à la caractérisation de l'imprégnation environnementale à proximité de sites potentiellement émetteurs de nanoparticules. Une première étape visait à évaluer si des traceurs de substances à l'état nanoparticulaire, spécifiques des sites étudiés peuvent être identifiés dans les rejets atmosphériques d'incinérateurs. Les incinérateurs sont en effet susceptibles d'émettre des substances à l'état nanoparticulaire au cours de leur fonctionnement, soit par transfert direct à l'émission d'une nanostructure préexistante, soit, par transformation thermique des matériaux en cours de combustion¹.

Une première étude portant sur trois campagnes de mesures sur site réalisée en 2017 afin de caractériser les rejets atmosphériques canalisés et dans l'air ambiant autour de trois unités d'incinération d'ordures ménagères (UIOM)² a recommandé de poursuivre les investigations sur les substances à l'état nanoparticulaire présentes à l'émission d'autres sources. L'objectif de la présente étude a donc été d'acquérir de nouvelles connaissances sur les substances à l'état nanoparticulaire présentes à l'émission d'une unité d'incinération de déchets dangereux (UIDD). Pour ce faire, une campagne de caractérisation à l'émission (canalisée) a été menée en décembre 2022.

De manière générale, les résultats de cette campagne de terrain montrent que :

- que les émissions particulaires mesurées au rejet de l'UIDD étudiée sont faibles, de niveaux inférieurs à 1 mg/ m³₀ et majoritairement constituées de PM₁ ;
- qu'une partie de ces émissions est constituée d'éléments quasi-sphériques ou d'agrégats/agglomérats de suie de taille submicronique à micronique contenant des métaux (Al, Br, Fe et Mn) et de cristaux de sels (Ca et K), espèces ubiquitaires émises en trop faible quantité pour être utilisées en tant que traceur de l'activité UIDD dans l'air à proximité des sites.

Ces observations viennent compléter celles faites précédemment dans le rapport Ineris² au rejet atmosphérique et dans l'air à proximité d'UIOM qui faisaient état d'émissions particulaires faibles, dont environ la moitié constituée de métaux, majoritairement du fer, émis sous forme de particules sphériques de taille submicronique, voire nanométrique pour une minorité d'entre elles. Ces particules n'avaient pas pu être mises en évidence dans l'air autour des sites.

Les résultats obtenus au cours de ces deux études nous permettent de conclure :

- qu'il n'a pas été possible de détecter de nanoparticules manufacturées dans les émissions des unités d'incinérations testées ;
- que les particules submicroniques émises sont trop peu nombreuses et pas suffisamment spécifiques pour être utilisées en tant que traceur de l'activité UIOM/UIDD dans l'air à proximité des sites,
- qu'en l'état actuel des connaissances, il n'apparaît pas pertinent de réaliser des campagnes de prélèvements dans l'air autour des incinérateurs visant à évaluer l'empreinte de particules nanométriques manufacturées.

¹ Rapport Nanofluegas « Caractérisation et réduction des émissions particulaires issues de l'incinération des déchets contenant des nanomatériaux manufacturés » : O. Le Bihan, A. Joubert, D. Vendetti, T. Tran, G. Ounoughene, B. Debray, S. Durécu, L. Le Coq. », juillet 2014)

² Rapport Ineris DRC-19-180746-04536B. Campagnes de mesures dans l'air de substances à l'état nanoparticulaire à l'émission et autour d'incinérateurs (12/12/2020).

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Campagne de mesures de substances à l'état nanoparticulaire à l'émission d'une UIDD, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 213452 - v1.0, 28/05/2024.

Mots-clés :

nanoparticules manufacturées, UIDD, UIOM, rejets atmosphériques, PM, Veuillez saisir les mots-clés

1 GLOSSAIRE

Aérosol	ensemble de fines particules, solides ou liquides, d'une substance chimique ou d'un mélange de substances chimiques, en suspension dans un milieu gazeux
ICP	spectroscopie d'émission à plasma induit
MET	microscopie électronique en transmission
STEM	scanning transmission electron microscopy ou microscopie électronique en transmission à balayage
EDS	spectroscopie à dispersion d'énergie
MPS	Mini Particle Sampler, préleveur d'aérosols pour grilles MET
Nm ³ = m ³ ₀	volume ramené aux conditions normales de température (0°C) et de pression (1013 mbars)
PM	Particulate matter
PM ₁₀	particules en suspension de diamètre médian inférieur à 10 µm
PM _{2,5}	particules en suspension de diamètre médian inférieur à 2,5 µm
PM ₁	particules en suspension de diamètre médian inférieur à 1 µm
PM _{0,5}	particules en suspension de diamètre médian inférieur à 0,5 µm
PM _{0,2}	particules en suspension de diamètre médian inférieur à 0,2 µm
UIDD	unité d'incinération de déchets dangereux

2 Introduction

2.1 Contexte et objectifs

Les nanomatériaux, du fait de leurs propriétés spécifiques, trouvent aujourd'hui des applications étendues dans de nombreux secteurs industriels (renforcement mécanique de polymères, électronique, cosmétique, pharmacie, catalyse, etc.) et produits à destination du grand public. Ces nouveaux matériaux peuvent cependant comporter des risques pour les populations et l'environnement, qu'il est souhaitable d'apprécier et de maîtriser tout au long du cycle de vie et notamment en fin de vie lors de leur destruction dans les différentes filières d'incinération.

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude réalisée dans le cadre de l'opération 3 « substances à enjeux techniques » du programme d'appui MIV23. Cette opération s'intéresse à la caractérisation de l'imprégnation environnementale à proximité de sites potentiellement émetteurs de nanoparticules manufacturées et aux développements techniques et méthodologiques qui y sont associées. Cette première étape visait à évaluer si des traceurs de substances à l'état nanoparticulaire, spécifiques des sites étudiés pouvaient être identifiés dans les rejets atmosphériques d'incinérateurs.

Les incinérateurs sont en effet susceptibles d'émettre des substances à l'état nanoparticulaire au cours de leur fonctionnement, soit par transfert direct à l'émission d'une nanostructure préexistante, soit, par transformation thermique des matériaux en cours de combustion³.

Une première étude portant sur trois campagnes de mesures sur site a été réalisée afin de caractériser les rejets atmosphériques canalisés et dans l'air ambiant de trois UIOM². Les résultats ont montré des émissions particulaires faibles avec des concentrations inférieures à 1 mg/ m³, dont environ la moitié constituée de métaux, majoritairement du fer, émis sous forme de particules sphériques de taille submicronique, voire nanométrique pour une minorité d'entre elles. Ces particules pouvant potentiellement servir de traceurs de l'activité du site dans l'environnement, n'avaient pas été mises dans les résultats des campagnes réalisées dans l'air autour des sites.

A l'issue de ces campagnes de mesure, il a été recommandé de poursuivre ces investigations, et d'acquérir de nouvelles connaissances sur les substances à l'état nanoparticulaire présentes à l'émission d'autres sources potentielles. Pour ce faire, une campagne de caractérisation des rejets canalisés d'une usine d'incinération de déchets dangereux (UIDD) a été menée en décembre 2022, elle visait à évaluer si des traceurs de substances à l'état nanoparticulaire spécifiques de cette activité, et qui pourraient être suivis dans l'air à proximité de ce type de sites industriels, étaient émis ; et à statuer sur l'intérêt de réaliser des campagnes de prélèvements de ces substances dans l'air autour des incinérateurs.

3 Description du site d'intervention

3.1 Unité d'Incinération de Déchets Dangereux (UIDD)

Cette unité d'incinération traite les déchets industriels spéciaux générés par les activités de production, les opérations de maintenance et la dépollution en Ile-de-France.

La ligne de traitement des fumées en sortie de chaudière fait intervenir de la chaux hydratée, deux filtres à manche, de l'urée et de la poudre dediox. Ces procédés visent à respecter les limites d'émissions pour le SO₂, les poussières, les NOx et les dioxines.

Les caractéristiques de l'effluent gazeux et de la cheminée sont les suivantes :

- Température : 165°C
- Humidité relative : 23%
- Vitesse d'éjection en sortie de cheminée : 23 m/s
- Hauteur de la cheminée : 60 m

³ Rapport Nanofluegas « Caractérisation et réduction des émissions particulaires issues de l'incinération des déchets contenant des nanomatériaux manufacturés » : O. Le Bihan, A. Joubert, D. Vendetti, T. Tran, G. Ounoughene, B. Debray, S. Durécu, L. Le Coq. », juillet 2014)
Ineris - 213452 - 2770918 - v1.0

- Diamètre de la cheminée : 1,50 m

Le site a fait l'objet d'une campagne de caractérisation des émissions atmosphériques en décembre 2022.

4 Matériels et Méthodes

L'ensemble des prélèvements et mesurages réalisés sur site ont été mis en œuvre par l'Ineris.

4.1 Paramètres mesurés

Les mesurages effectués sur les rejets atmosphériques étaient les suivants :

- mesurages périphériques de vitesse/débit gaz et température des gaz, pression atmosphérique, concentrations en CO/CO₂/O₂, et humidité ;
- caractérisation par microscopie à transmission électronique et analyse EDS des PM_{2,5} prélevées sur grilles MET par préleveur MPS mis en œuvre après dilution de l'effluent ;
- granulométrie en nombre entre 6 nm et 10 µm, répartition en 14 tranches après dilution de l'effluent par ELPI+ ;
- concentration massique des fractions particules PM_{2,5}, PM₁, PM_{0,5} et PM_{0,2} par prélèvements manuels à l'aide d'un impacteur Dekati DGI ;
- concentration massique des fractions particules PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁ par prélèvements manuels à l'aide d'un impacteur Dekati 4 étages.

Les espèces identifiées en microscopie électronique à transmission (MET) ont été par la suite quantifiées par ICP/OES et ICP/MS dans les prélèvements sur filtres réalisés par impaction manuelle.

4.2 Méthodes de mesurages mises en œuvre

4.2.1 Détermination de la granulométrie en nombre et analyse MET/EDS des grilles MPS

Les mesurages ELPI+ et prélèvements MPS ont été réalisés au moyen d'un système de dilution portable, le eDilutor Pro (Figure 1). Ce système de dilution possède deux étapes de dilution avec un taux de dilution ajustable de 1:5 à 1:225.

Afin d'éviter toute condensation de l'aérosol, la première étape de dilution est réalisée à haute température, la seconde étape de dilution réalisée à température ambiante permet de ramener les conditions de température, d'humidité et de concentrations à un niveau compatible avec les gammes d'utilisation des systèmes de mesure et de prélèvement.

En aval du eDilutor Pro, des mesurages en continu au moyen d'un ELPI+ et des prélèvements manuels sur préleveur MPS ont été réalisés (figure 3). Le taux de dilution est fixé au niveau de l'appareil de dilution pendant les essais. Il était fixé au minimum de 1:25 pour cette campagne de mesures.



Figure 1 : Système de dilution à chaud eDilutor Pro (A) en amont d'un compteur granulométrique ELPI+ (B) et de préleveurs manuels MPS (C)

• Microscopie des PM2,5

Les prélèvements réalisés à l'émission par MPS (Mini Particle Sampler) sont analysés en MET (Microscopie Electronique en Transmission). Cette analyse permet de classifier les différentes particules prélevées selon des critères de taille, morphologie et composition chimique. Les nanoparticules émises, peuvent être caractérisées qualitativement en fonction de leurs caractéristiques morphologiques de leur état d'aggrégation/agglomération et leur composition chimique élémentaire. Cette technique a déjà été mise en œuvre sur des matrices atmosphériques concentrées⁴.

• Mesurage en continu par ELPI+

L'impacteur ELPI+ (*Electrical Low Pressure Impactor*) combine le prélèvement par impaction à la détection électrique des particules, qui sont chargées par effet Corona avant d'entrer dans l'impacteur. Il permet de déterminer en temps réel la granulométrie de l'aérosol sur un large spectre de tailles (14 étages entre 6 nm et 10 µm) à une fréquence ajustable jusqu'à 10 Hz. La sélection des particules les plus fines (< 0,1 µm) est réalisée en atmosphère basse pression.

4.2.2 Caractérisation massique des fractions granulométriques par impaction manuelle et analyse quantitative élémentaire sur les fractions prélevées.

4.2.2.1 Prélèvement

- Fractions PM10/PM2,5/PM1

La détermination des fractions PM10/PM2,5/PM1 a été effectuée au moyen d'un impacteur Dekati 4 étages (Figure 2). L'aérosol est prélevé de manière isocinétique « in situ » à l'aide d'une pompe équipée d'un compteur à gaz sec en plaçant l'impacteur dans le conduit. Le débit de prélèvement est de 20L/min. L'impacteur Dekati 4 étages permet la caractérisation en masse des PM10/2,5/1 en fractionnant l'aérosol en 4 tranches et par pesée. La séparation par impaction est basée sur les propriétés aérodynamiques des particules. Il est équipé de filtres de quartz.

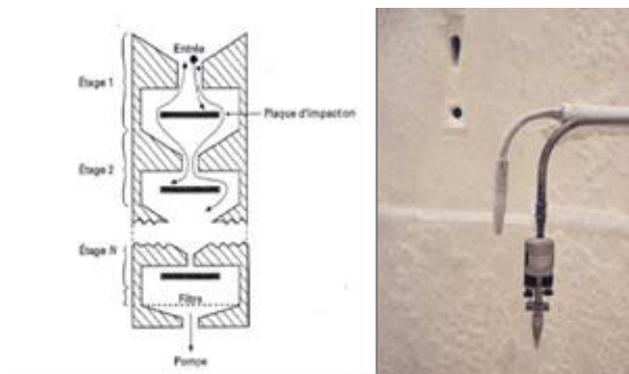


Figure 2 : Schéma descriptif et photo de l'impacteur Dekati

- Fractions PM2,5/PM1/PM0,5/PM0,5

L'impacteur Dekati DGI (figure 2) permet la caractérisation en masse des PM2,5, PM1, PM0,5 et PM0,2 en fractionnant l'aérosol en 5 tranches. Le débit de prélèvement est compris entre 70 l/min et 90 l/min. Comme pour l'impacteur Dekati 4 étages, la séparation par impaction est basée sur les propriétés aérodynamiques des particules. Il est équipé de filtres de quartz. L'Impacteur DGI est conçu pour être utilisé hors conduit (car il a un format trop important pour être inséré dans le conduit) et en aval d'une étape de dilution de l'aérosol. Cependant le débit du diluteur eDilutor Pro utilisé au cours de ces essais n'est pas suffisant pour alimenter l'impacteur DGI. L'impacteur DGI a donc dû

⁴ Ounoughene G, Le Bihan O, Chivas-Joly C, et al. Behavior and fate of halloysite nanotubes (HNTs) when incinerating pa6/HNTs nanocomposite. *Environ Sci Technol*. 2015;49(9):5450-5457. doi:10.1021/es505674j
Ineris - 213452 - 2770918 - v1.0

être utilisé hors conduit sans étape préalable de dilution ce qui n'avait pas été fait précédemment. L'utilisation du DGI sans étape de dilution permet d'abaisser les limites de quantification, mais elle peut engendrer des pertes par condensation de l'aérosol avant prélèvement dans l'impacteur, il convient de prendre des précautions particulières en termes de maintien de la température pour éviter ces phénomènes.

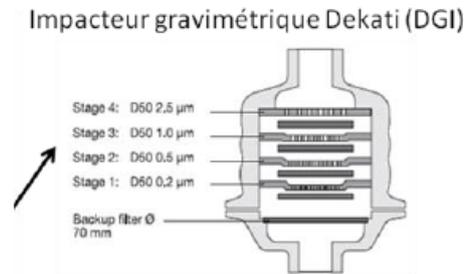


Figure 3 : Schéma descriptif de l'impacteur DGI

- Comparaison des approches

Les prélèvements Dekati 4 étages et DGI ayant été réalisés dans des conditions de matrices différentes et à des débits de prélèvements différents (20 l/min contre 70l/min, respectivement), ils ne peuvent être considérés comme équivalents.

En effet, les prélèvements Dekati 4 étages ont été réalisés en insérant l'impacteur dans le conduit (prélèvement « in-situ »), l'aérosol a donc été prélevé à la température et à l'humidité des fumées. Ce mode de prélèvement permet de collecter les espèces présentes à l'état solide à la température du flux, et de limiter l'impact des conditions de prélèvement sur l'aérosol.

Les prélèvements DGI ont été effectués en dehors du conduit de fumées (prélèvement « hors-conduit »), en plaçant l'impacteur en aval d'une sonde d'1m50 et dans un porte filtre. Pour éviter les phénomènes de condensation pouvant engendrer des pertes en amont du prélèvement dans l'impacteur, la sonde et le porte filtre étaient tous les deux chauffés à la température de 160°C.

4.2.2.2 Détermination des concentrations en masse

Les faibles niveaux d'émission de particules attendus (1 mg/m³) d'après le retour d'expérience issu des précédentes campagnes en UIOM, ont nécessité l'application de durées d'échantillonnage importantes (de 7h à 15h) et l'utilisation d'une balance de précision à 1µg, afin d'espérer atteindre les limites de quantification (LQ) les plus faibles possibles (voir §4.2.2.4).

4.2.2.3 Analyses quantitatives de Br, Al, Ca, Fe, K et Mn

Six éléments identifiés par microscopie électronique à transmission (cf. paragraphe 6.2.3), Br, Al, Ca, Fe, K et Mn ont été recherchés dans les échantillons prélevés par impaction manuelle. Les filtres ont été découpés et pesés de la manière suivante : ¾ des filtres pour le dosage de Al, Ca, Fe, K et Mn et ¼ des filtres pour le dosage de Br. Après minéralisation (NF-EN-14385 du 05/2004) de ¾ des filtres le dosage de Al, Ca, Fe, K et Mn a été effectué par ICP-OES (NF-EN-11885 du 11/2009). Le dosage de Br a été effectué par ICP-MS/MS (NF-EN-17294-2 du 10/2016) après minéralisation de ¼ des filtres à l'acide nitrique selon un protocole interne de l'Ineris.

4.2.2.4 Limites de quantification et blancs de site

- **Blancs de site**

Un blanc de site a été réalisé chaque jour de prélèvement afin de vérifier la qualité des supports de prélèvements et la propreté du matériel de prélèvement. Les blancs de prélèvement sont réalisés en suivant le mode opératoire pour échantillonner, sans étape d'aspiration, ni introduction de la sonde dans le conduit.

• Limite de détection (LD) et de quantification (LQ)

Les LD et LQ des pesées et des analyses réalisées sur les prélèvements manuels Dekati 4 étages et DGI sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 1 : Limite de détection et de quantification pour la pesée des filtres Dekati 4 étages et DGI

Limites de quantification Prélèvements par Dekati 4 étages et DGI						
Masse (µg/filtre)	Br (µg/filtre)	Al (µg/filtre)	Ca (µg/filtre)	Fe (µg/filtre)	K (µg/filtre)	Mn (µg/filtre)
30	0,80	0,67	1,67	0,67	3,33	0,67

• Règles de prises en compte des LD et LQ

La règle de prise en compte des LD et LQ appliquée dans cette étude est issue de la norme NX F 43 551⁵ qui définit des règles pour calculer et exprimer les résultats de mesurage pour les paramètres réglementés à l'émission atmosphérique de sources fixes.

Dans le cas des paramètres dont la détermination résulte d'une somme de pesées de plusieurs supports de prélèvements, la somme est calculée en prenant en compte pour chaque support :

- La valeur de la concentration si elle est supérieure à la LQ ;
- La valeur correspondant à LQ/2 si la concentration est comprise entre la LQ/3 et la LQ ;
- 0 si la concentration est inférieure à LQ/3.

Ce calcul s'applique aux mesures et aux blancs de site.

4.3 Planning de la campagne de mesures sur site

Le Tableau 2 décrit les mesures mises en œuvre sur le Four 3 de l'UIDD.

Tableau 2 : Mesures réalisées à l'émission du Four 3 sur le site UIDD

Point de mesure	Jour	Période de prélèvement	Méthode de mesures
Plateforme Four 3	7/12/2022	10:25 à 17:32	<ul style="list-style-type: none">• Mesures périphériques : Tube de Pitot, mesure de vitesse, analyseurs de gaz, CO/CO2/O2, mesure d'humidité• Prélèvement Impacteur Dekati 4 étages (ISO 23210) : Granulométrie en masse et teneur en métaux dans les fractions granulométriques PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁• Impacteur ELPI+ : granulométrie en nombre• Prélèvement MPS pour observation MET
Plateforme Four 3	8/12/2022	09:19 à 16:44	<ul style="list-style-type: none">• Mesures périphériques : Tube de Pitot, mesure de vitesse, analyseurs de gaz, CO/CO2/O2, mesure d'humidité• Prélèvement Impacteur Dekati 4 étages (ISO 23210) : Granulométrie en masse et teneur en

⁵ Qualité de l'air - Emissions de sources fixes - Exigences spécifiques de mesurage (ressources, processus de mise en œuvre, rapportage)

Point de mesure	Jour	Période de prélèvement	Méthode de mesures
			métaux dans les fractions granulométriques PM ₁₀ , PM _{2,5} et PM ₁ <ul style="list-style-type: none"> • Prélèvement Impacteur DGI : Granulométrie en masse et métaux dans les fractions granulométriques PM_{2,5}, PM₁ et PM_{0,5} et PM_{0,2} • Impacteur ELPI+ : granulométrie en nombre • Prélèvement MPS pour observation MET
Plateforme Four 3	Nuit du 8 au 9/12/2022	17:00 à 08:09	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvement Impacteur DGI : Granulométrie en masse et métaux dans les fractions granulométriques PM_{2,5}, PM₁ et PM_{0,5} et PM_{0,2}
Plateforme Four 3	9/12/2022	8:47 à 13:10	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures périphériques : Tube de Pitot, mesure de vitesse, analyseurs de gaz CO/CO₂/O₂, mesure d'humidité • Prélèvement Impacteur DGI : Granulométrie en masse et teneur en métaux dans les fractions granulométriques PM_{2,5}, PM₁ et PM_{0,5} et PM_{0,2}

5 Résultats

5.1 Résultats des mesures périphériques

Le Tableau 3 ci-dessous rassemble les caractéristiques physiques et chimiques mesurées sur l'effluent.

Tableau 3 : Caractéristiques physiques et chimiques des fumées, Jours 1, 2 et 3.

	CO	CO ₂	O ₂	H ₂ O	Température	Débit
	mg/m ³ ₀ (sec)	(%)	(%)	(%)	(°C)	(Nm ³ /h)
Jour 1 7/12/2022 10 :25 – 17 :35	40,4	7,3	11,5	22,7	165	60242
Jour 2 8/12/2022 9 :15 – 16 :45	47,5	7,1	11,7	22,3	165	58438
Jour 2 – 3 8-9/12/2022 17 :00 – 8 :10	27,1	7,2	11,6	23,4	166	60600
Jour 3 9/12/2022 8 :45 – 13 :10	12,1	7,4	11,2	23,9	166	59954

6 Caractérisation de l'aérosol

6.1 Résultats des analyses par microscopie et analyse élémentaire

Les observations MET, les cartographies STEM et les microanalyses EDS des prélèvements MPS permettant d'évaluer la taille et la composition chimique élémentaire des différents objets sont présentées et commentées ci-après. Le dispositif de balayage en mode STEM du MET permet d'obtenir une cartographie chimique de l'image balayée.

Parmi les sept grilles collectées sur les effluents du four 3, deux grilles étaient non exploitables car déformées ou trop peu chargées, trois échantillons étaient donc exploitables le jour 1 et 2 échantillons le jour 2. Globalement l'ensemble des grilles étudiées étaient peu chargées avec une répartition des particules homogène, ce qui représente des conditions adéquates d'observation (Figure 4).

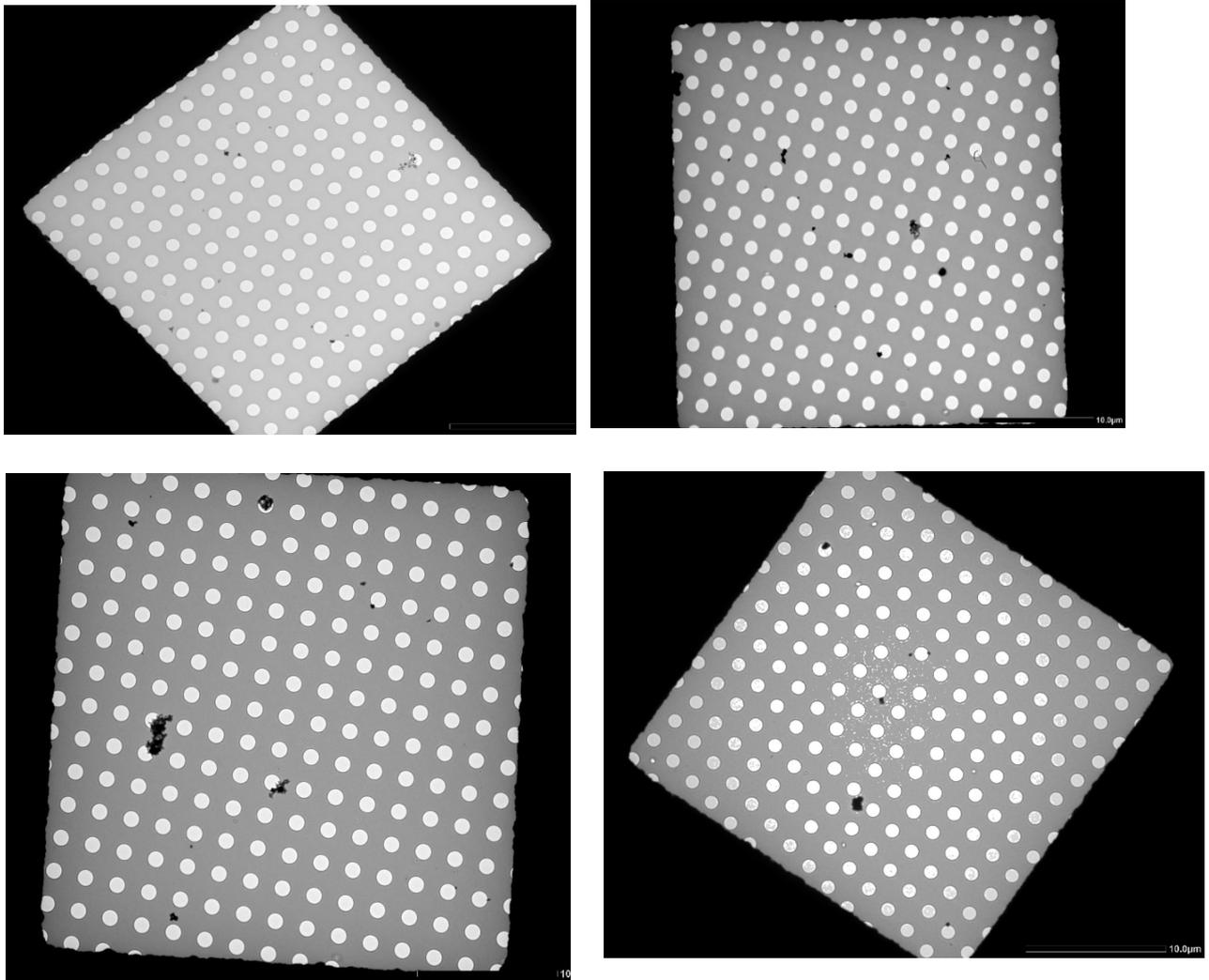


Figure 4 : Images de plusieurs ouvertures de grilles MET collectées par MPS sur les effluents du four 3

6.1.1 Observation des échantillons collectés le 1^{er} jour

- Echantillon 1

L'image ci-dessous correspondant à l'échantillon 1 jour 1, montre la présence d'agrégats de particules (probablement des suies) constitués de particules primaires de tailles de l'ordre de 10 à 50 nm enchevêtrées avec des particules beaucoup plus grosses. Cet agrégat de particules est composé essentiellement de potassium et de carbone.

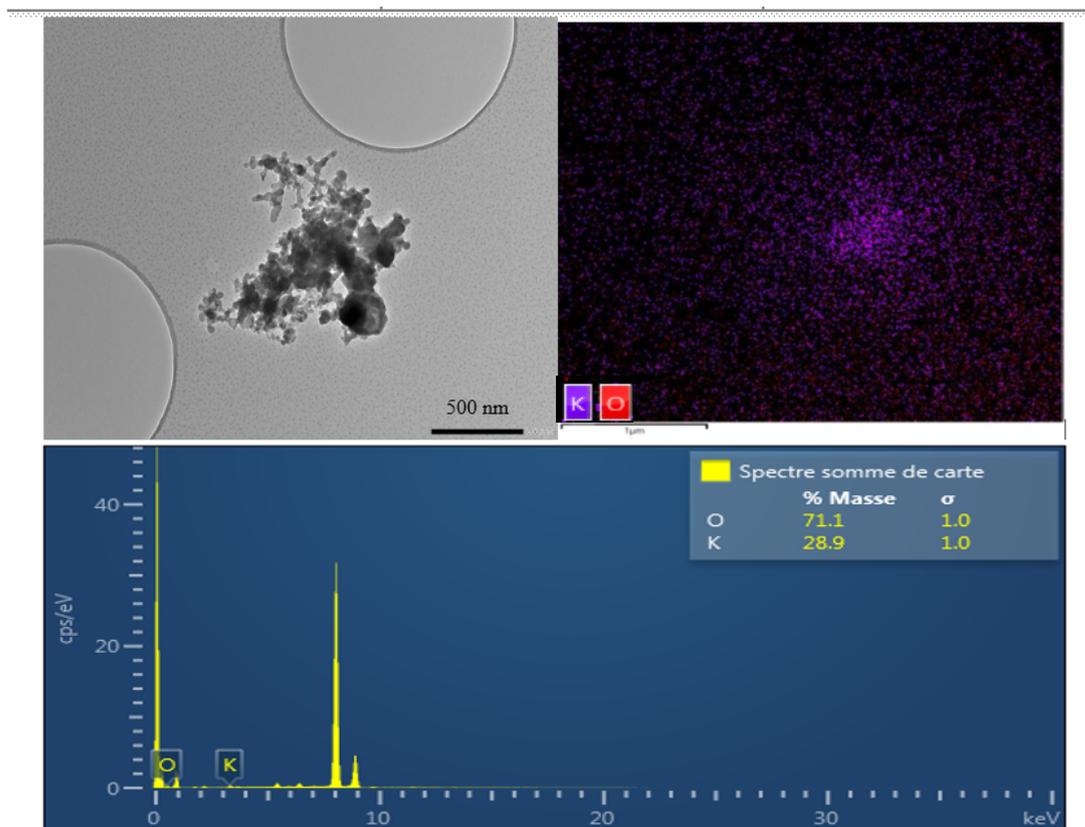


Figure 5 : Prise de vue particule de suie jour 1 échantillon jour 1 avec image, cartographie STEM et spectre d'analyse EDS

La prise de vue ci-après, montre un amas de particules de plusieurs microns, probablement un mélange de carbonate de calcium et d'oxyde de fer représentatif de ce que l'on peut retrouver sur cette grille.

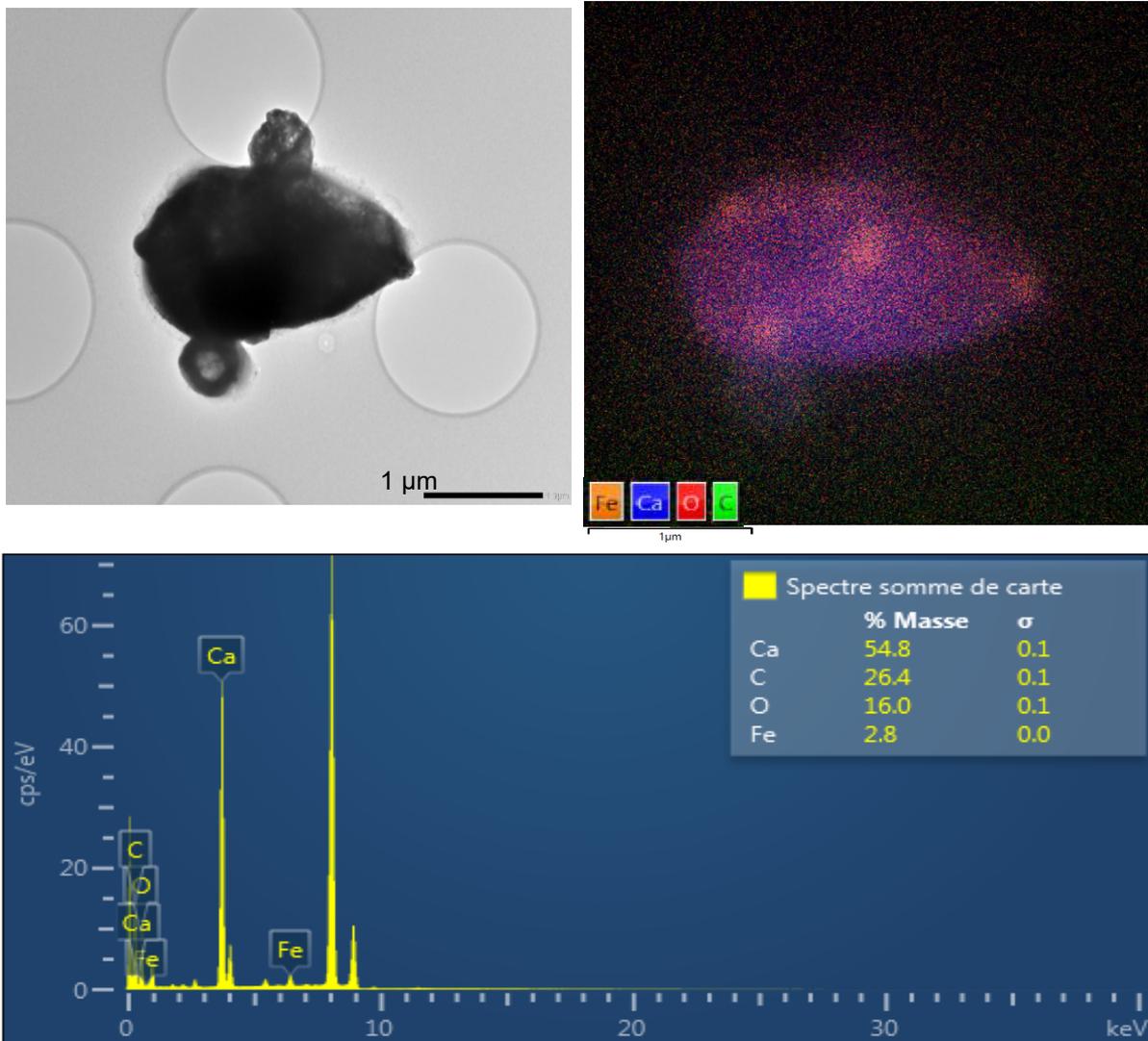


Figure 6 : Prise de vue d'un amas de particules jour 1 échantillon 1 avec image, cartographie STEM et spectre d'analyse EDS

- Echantillon 2

La Figure 7 correspondant à l'échantillon 2 du jour 1 montre un agrégat de suie d'environ 2 microns (a), et deux particules d'oxyde de fer (b et c) d'environ 300 – 400nm.

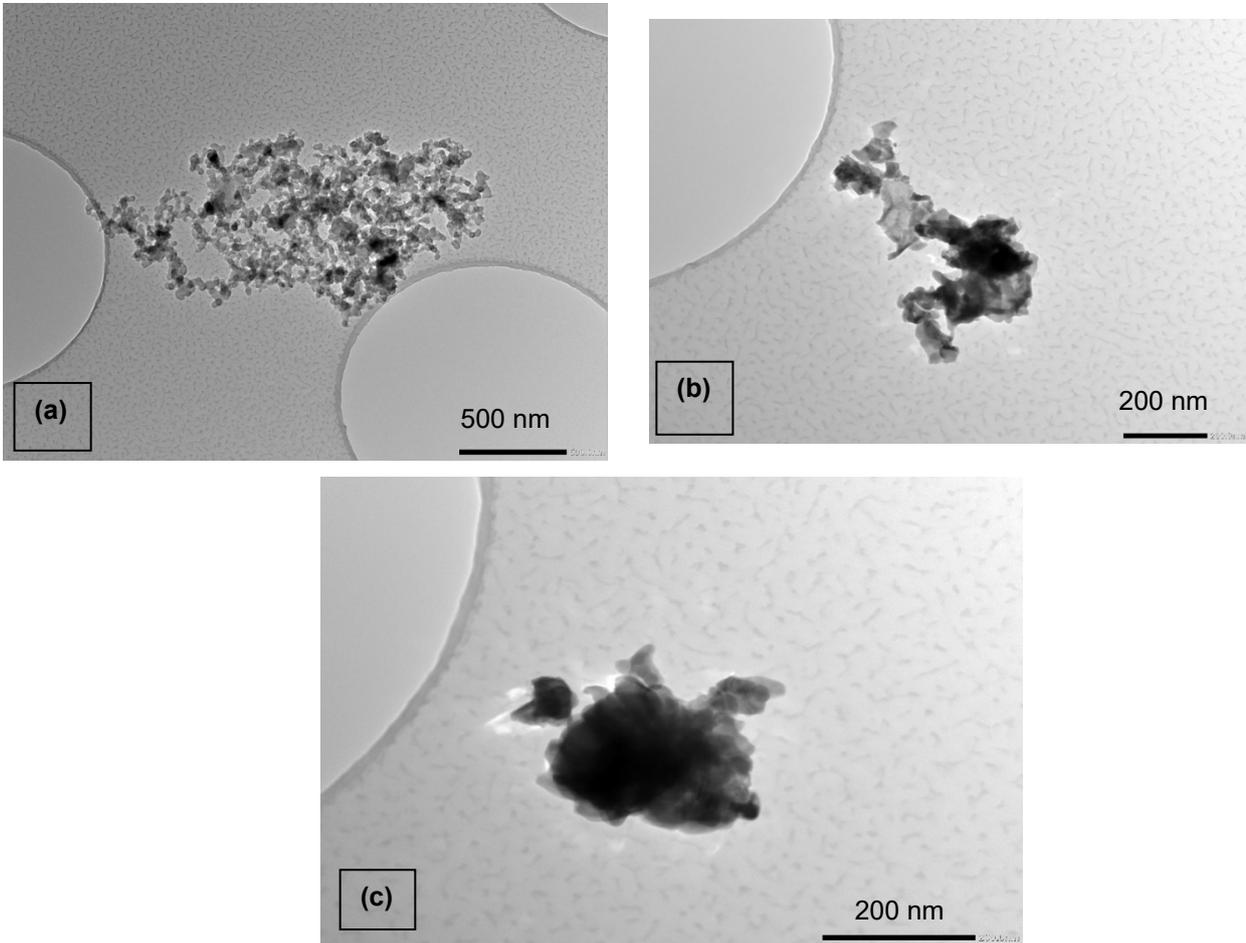


Figure 7 : Images d'un agrégat de suie et de deux particules d'oxyde de fer

La Figure 8 issue du même échantillon présente d'autres particules de taille similaire mais de composition différente (Ca, K, Fe ...). Les particules de calcium en bleu et de fer en orange semblent peu oxydées, contrairement au potassium, ici en rose, associé à des éléments apparaissant en rouge qui représentent l'oxygène, et donc probablement présent sous forme K_2O ou KOH .

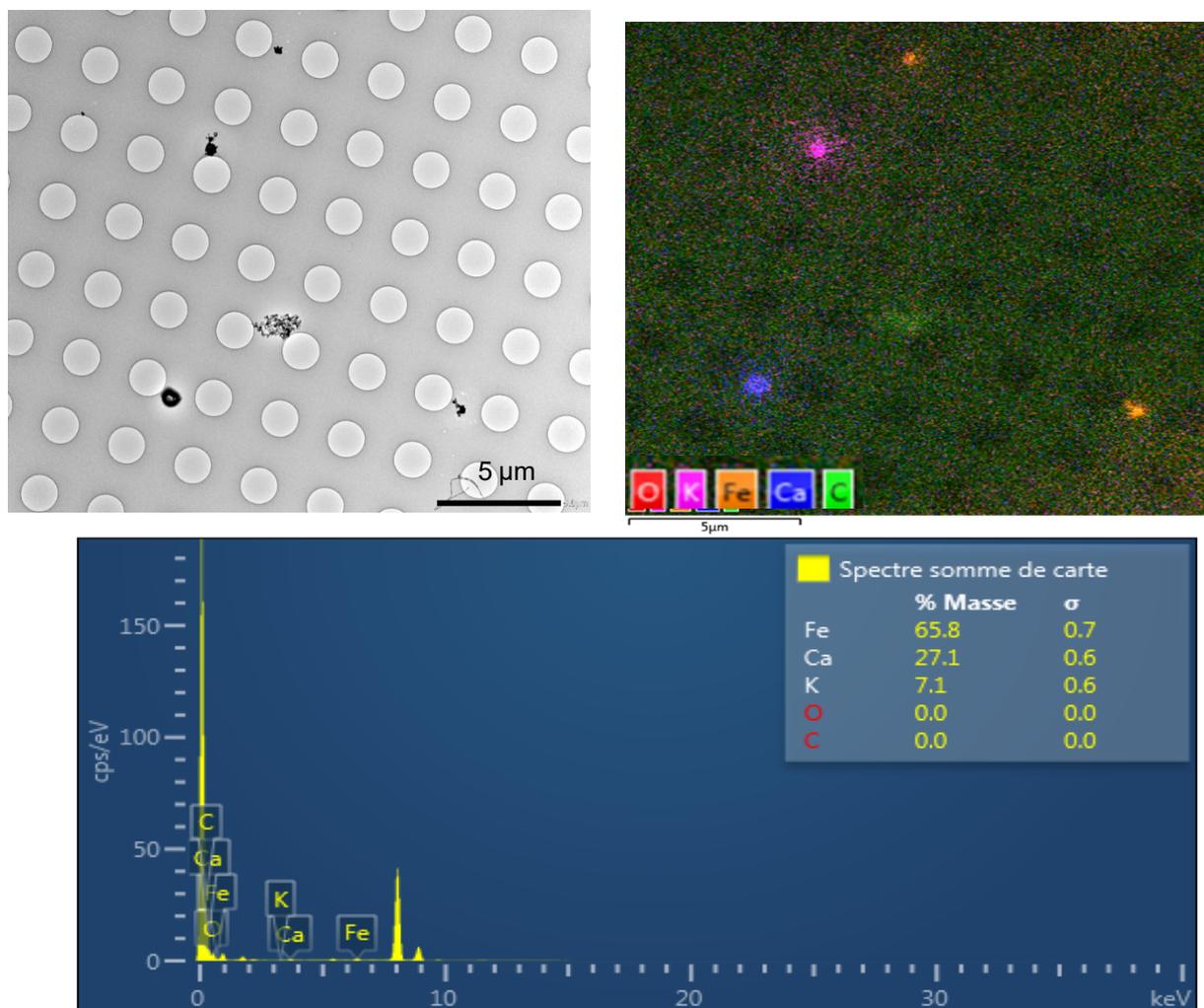


Figure 8 : Prises de vue, jour 1 échantillon 2 avec image, cartographie STEM et spectre d'analyse EDS

- Echantillon 3

Les images et analyses EDS de l'échantillon 3 collectées le jour 1 présentées ci-dessous montrent de nouveau des agrégats de suie enchevêtrés avec des grosses particules ayant une taille de l'ordre du micron. L'analyse EDS montre que ces grosses particules ont une composition multi élémentaire, probablement un mélange de divers sels ou de silicates de Ca, K.

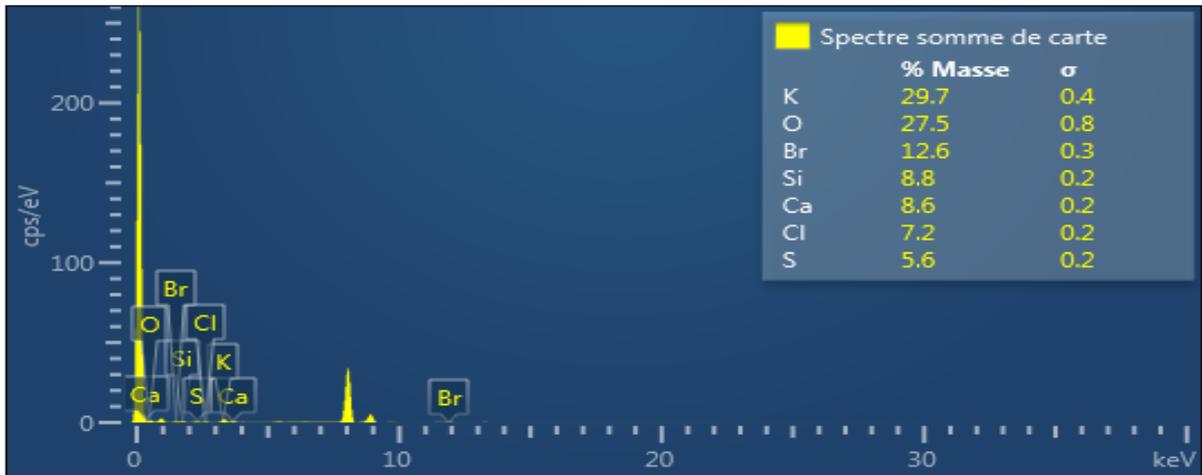
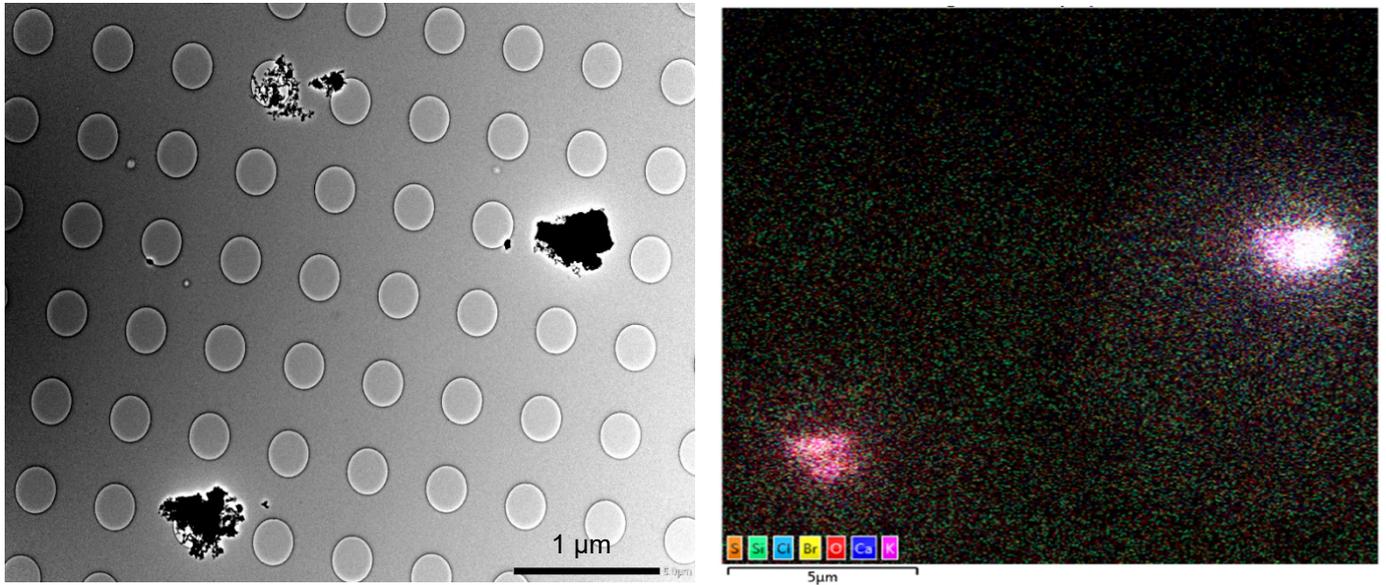


Figure 9 : Images d'agrégats de suie enchevêtrés avec des grosses particules métalliques, image, cartographie STEM et spectre EDS, échantillon 3 jour 1

6.1.1.1 Observation des échantillons collectés le 2^{ème} jour

- Echantillon 1

La Figure 10 correspondant à l'observation 1 du jour 2 montre un agrégat de suie d'environ 1 μm (a), une particule sphérique riche en calcium d'environ 500 nm (b) et un amas de particules de fer d'environ 1 μm (c).

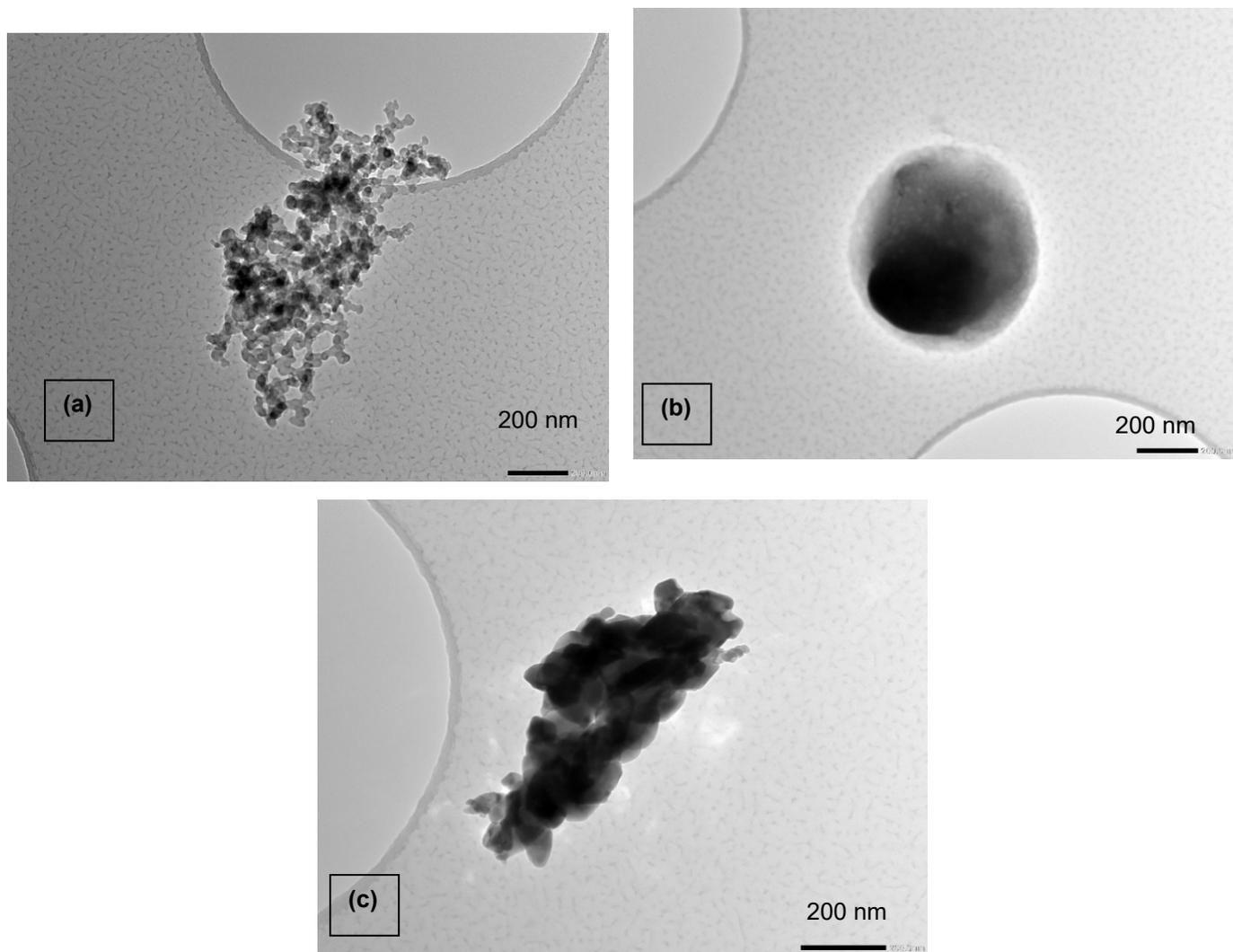


Figure 10 : Observations d'un agrégat de suie (a) d'une particule sphérique riche en calcium (b) et d'un amas de particules de fer (c), échantillon 1 jour 2

L'analyse EDS et la cartographie STEM montrent que la particule de fer est sous forme oxydée (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , en rouge orangé), contrairement à la bille de calcium (bleue).

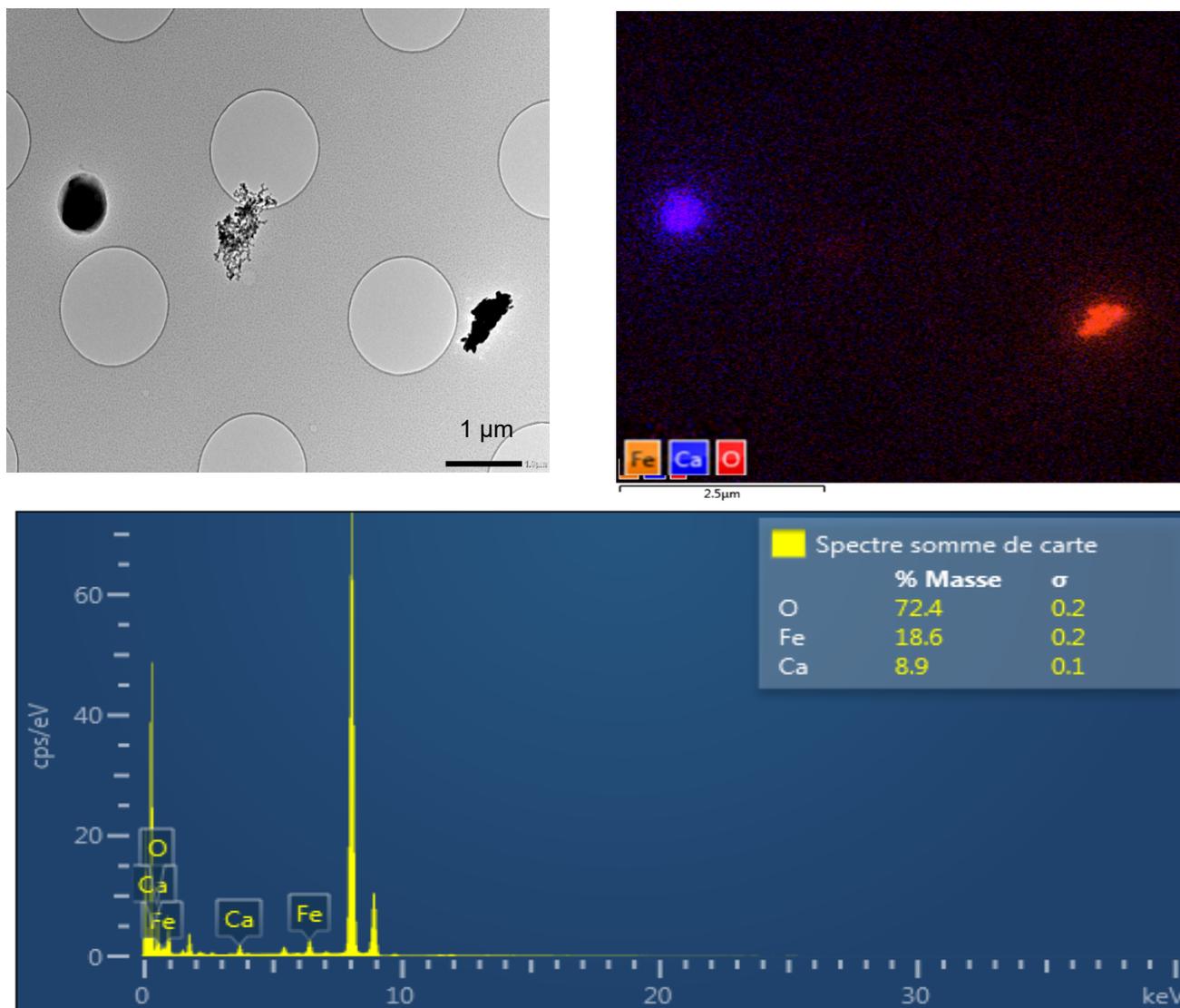


Figure 11 : Agrégat de suie et particules d'oxyde de fer, particule sphérique riche en calcium et amas de particules de fer, images, cartographie STEM et spectre EDS, échantillon 1 jour 2

- Echantillon 2

L'observation faite à partir de l'échantillon 2 jour 2 présentée en Figure 12 montre une grosse particule de 2 μm composée de calcium et un amas de particules d'environ 2 μm composé essentiellement d'oxydes de Mn, K et Br. Une autre observation de cet échantillon présentée en Figure 12 montre des particules de taille de l'ordre du micron composées majoritairement de sels (Ca, K, Br, Al ...) et d'oxyde de fer.

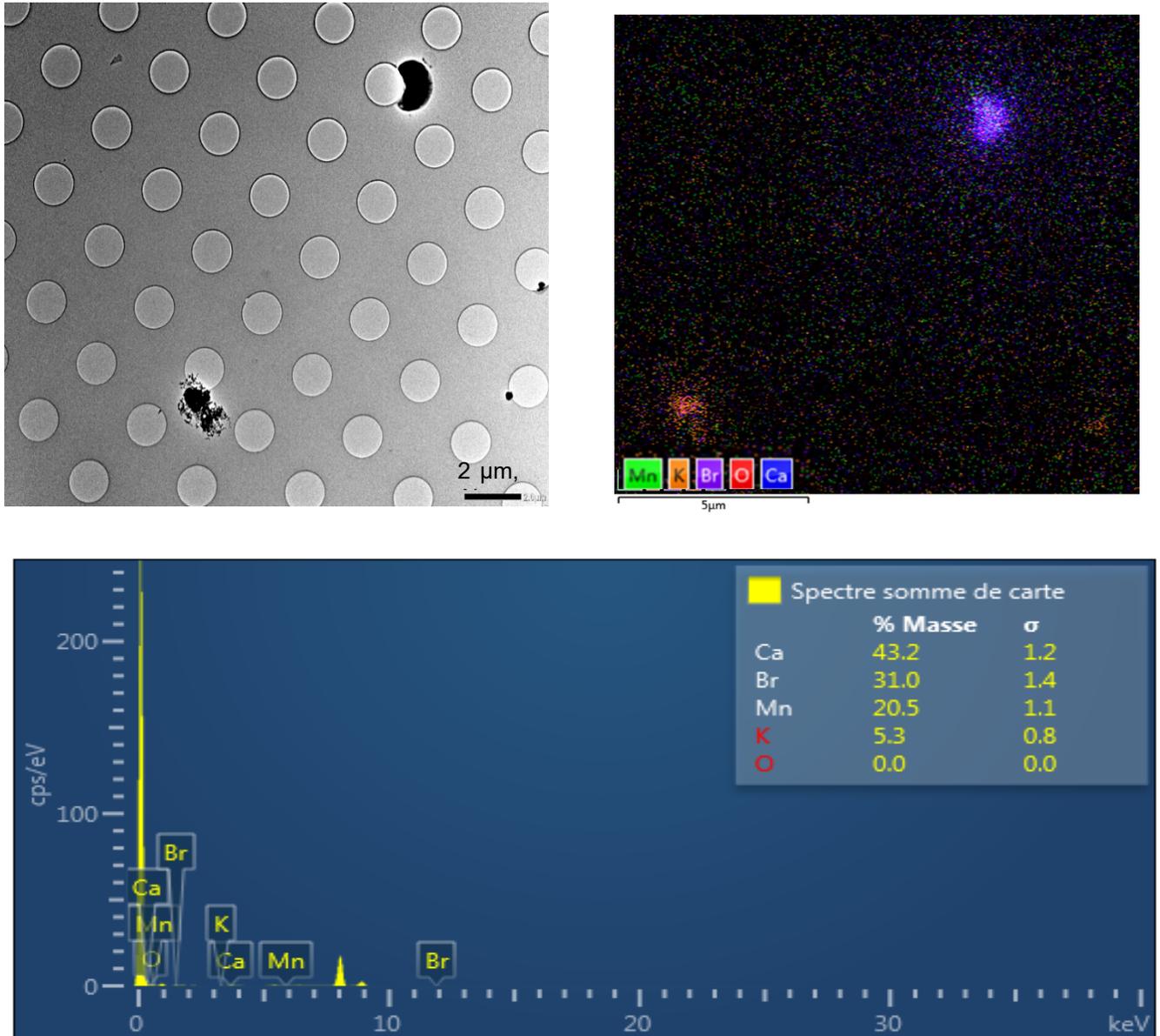


Figure 12 : Particule composée de calcium et un amas de particules composé essentiellement d'oxydes de Mn, K et Br, images, cartographie STEM et spectre EDS, échantillon 2 jour 2

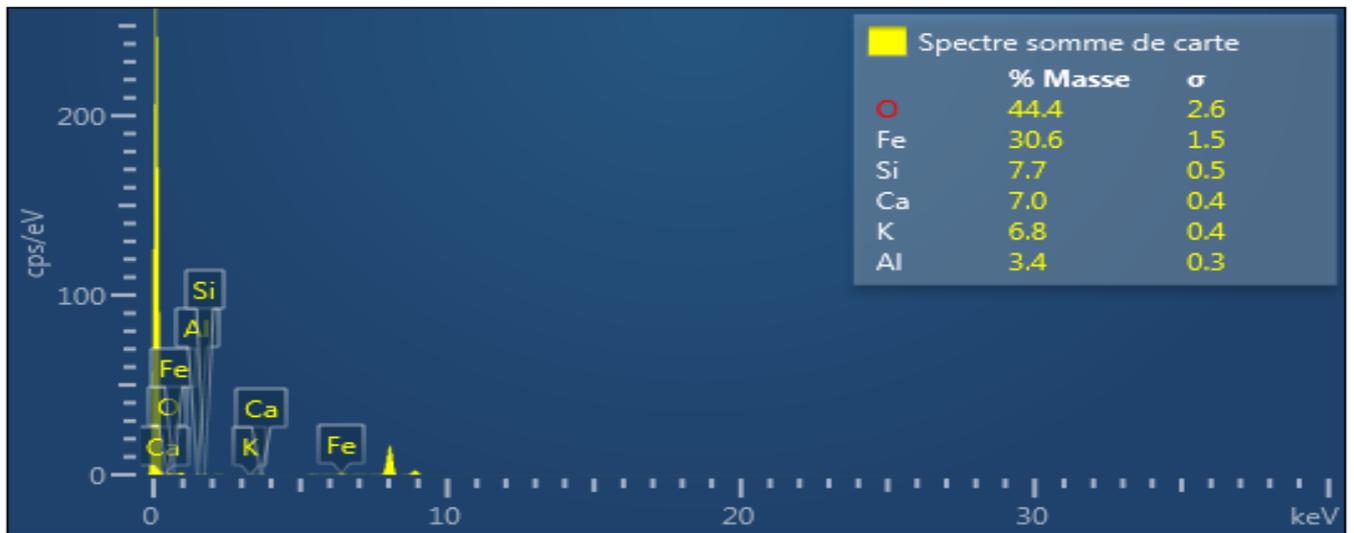
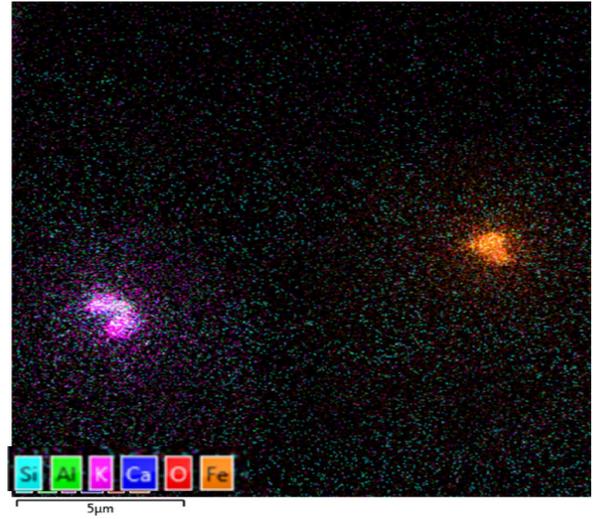
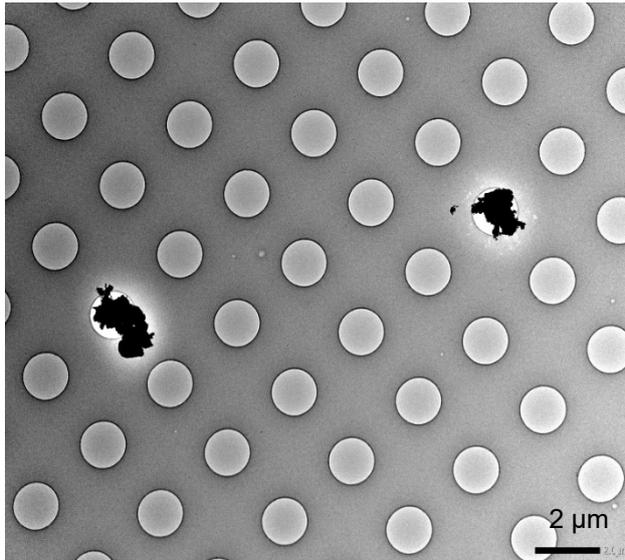


Figure 13 : Particules composées majoritairement de sels (Ca, K, Br ...) et d'oxyde de fer, images, cartographie STEM et spectre EDS, échantillon 2 jour 2

6.1.1.2 Synthèses des analyses MET/EDS

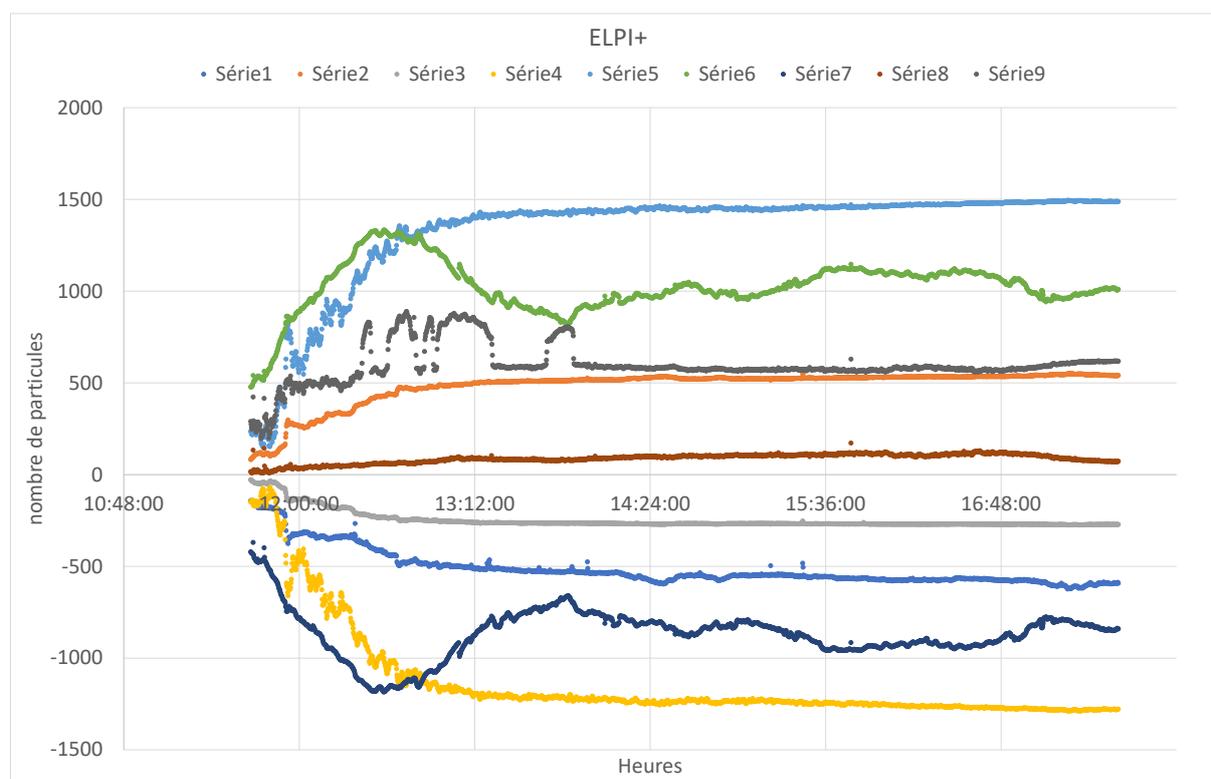
Les grilles MET prélevées par MPS au rejet du four 3 étaient peu chargées mais présentait une répartition homogène des particules prélevées, les observations, cartographie STEM et analyses EDS réalisées sur ces grilles ont montré la présence :

- d'agrégats de suie de taille supérieure ou égal à 1 µm constitués de particules primaires de tailles de l'ordre de 10 à 50 nm associées ou non à des particules beaucoup plus grosses composées essentiellement de métaux et de sels ;
- de particules ou d'amas de particules de tailles comprises entre 300 nm et 1 µm composés d'espèces ubiquitaires telles que Ca, K, Fe, Br, Mn présents purs ou sous forme de sels ou d'oxydes

Ces observations qualitatives nous ont amenés à sélectionner les 6 éléments Fe, Br, Mn, Ca, Al et K pour l'analyse quantitative des filtres impacteurs (détaillée au § 6.2.3).

6.1.2 Résultats de caractérisation de la granulométrie en nombre

Un dysfonctionnement de l'impacteur électrique ELPI+ a été constaté au cours des essais. Celui-ci s'est manifesté par le fait que la moitié des courbes de courant électrique/de nombre de particules détecté sur les plateaux d'impaction affichaient des valeurs négatives symétriques aux courbes de valeurs positives (Figure 14), rendant toute exploitation des résultats impossible.



On peut supposer que ce dysfonctionnement soit lié aux températures extérieures rencontrées pendant l'intervention qui étaient de l'ordre de 3°C alors que la température minimale de fonctionnement du granulomètre ELPI+ est de 5°C. Cette très faible température a pu entraîner des phénomènes de condensation de l'échantillon gazeux sur les plateaux d'impaction qui pourraient être à l'origine de ce dysfonctionnement. Les mesures réalisées avec l'ELPI+ n'ont donc pas pu être exploitées dans ce rapport.

6.2 Granulométrie en masse

6.2.1 Valeurs des Blancs de site

Les valeurs de blancs de site exprimées par tranches granulométriques sont présentées dans les Tableau 4 et Tableau 5. Le Tableau 4 présente les résultats des blancs des filtres utilisés dans l'impacteur DGI, le Tableau 5 ceux des blancs des filtres utilisés dans l'impacteur Dekati 4 étages.

Tableau 4 : Valeurs des blancs de site des filtres Quartz impacteur DGI

Paramètres	Blancs de site						
	Masse (mg/filtre)	Br (µg/filtre)	Al (µg/filtre)	Ca (µg/filtre)	Fe (µg/filtre)	K (µg/filtre)	Mn (µg/filtre)
PM _{0,2}	< LD= LQ/3 (0,03)	1,52	38,80	20,20	16,80	< LQ	< LQ
0,2µm < D < 0,5µm	< LD= LQ/3 (0,03)	0,25	17,00	6,46	10,20	6,11	< LQ
0,5µm < D < 1µm	< LD= LQ/3 (0,03)	0,25	17,00	6,46	10,20	6,11	< LQ
1µm < D < 2,5µm	< LD= LQ/3 (0,03)	0,25	17,00	6,46	10,20	6,11	< LQ

Tableau 5 : Valeurs des blancs de site des filtres Quartz impacteur Dekati 4 étages

Paramètres	Blancs de site						
	Masse (mg/filtre)	Br (µg/filtre)	Al (µg/filtre)	Ca (µg/filtre)	Fe (µg/filtre)	K (µg/filtre)	Mn (µg/filtre)
PM ₁	< LD= LQ/3 (0,03)	0,24	18,90	7,62	10,60	6,28	< LQ
1µm < D < 2,5µm	< LD= LQ/3 (0,03)	0,11	6,24	1,92	2,41	< LQ	< LQ
2,5µm < D < 10µm	< LD= LQ/3 (0,03)	0,11	6,24	1,92	2,41	< LQ	< LQ

6.2.2 Granulométrie en masse des échantillons prélevés

Les tableaux suivants rassemblent les résultats obtenus en termes de masse de particules (données impacteurs DGI et Dekati 4 étages).

Tableau 6 : Tranches granulométriques Jours 1, 2 et 3.

	Prélèvement DGI				Prélèvement Dekati 4 étages		
	2.5 µm <D< 1 µm	1 µm <D< 0.5 µm	0.5 µm <D< 0.2 µm	D< 0.2 µm	2.5 µm <D< 10 µm	1µm <D< 2.5 µm	D< 1µm
Jour 1 10 :35 – 17 :25	Pas de prélèvement				0,06	0,07	0,11
Jour 2 9 :15 – 16 :45	0,024 (<LQ)	0 (<LQ/3)	0 (<LQ/3)	0 (<LQ/3)	0,05	0,05	0,82
Jour 2 – 3 17 :00 – 8 :10	0,007 (<LQ)	0 (<LQ/3)	0 (<LQ/3)	0 (<LQ/3)	Pas de prélèvement		
Jour 3 8 :45 – 13 :10	0 (<LQ/3)	0 (<LQ/3)	0 (<LQ/3)	0 (<LQ/3)			

Tableau 7 : Fractions particulaires déterminées Jours 1, 2 et 3.

	PM2,5	PM1	PM0,5	PM0,2	Total Dekati 4 étages	PM10	PM2,5	PM1
	mg/m ³ (sec) O ₂ ref				mg/ m ³ O ₂ (sec) ref			
Jour 1 10 :35 – 17 :25	Pas de prélèvement				0,25	0,25	0,18	0,11
Flux (g/h)					14,9	14,5	10,9	3,4
Jour 2 9 :15 – 16 :45	0,024	0,92	0	0	0,92	0,92	0,87	0,82
Flux (g/h)	1,4	53,7	0	0	53,7	53,7	50,7	47,9
Jour 2 – 3 17 :00 – 8 :10	0,007	0	0	0	Pas de prélèvement			
Flux (g/h)	0,4	0	0	0				
Jour 3 8 :45 – 13 :10	0	0	0	0				
Flux (g/h)	0	0	0	0				

D'une manière générale, les concentrations en masse des fractions granulométriques sont faibles avec des concentrations totales mesurées par l'impacteur inférieures au mg/m³. Même si ces résultats ne peuvent être utilisés pour évaluer la conformité de l'installation vis-à-vis de la VLE des TSP car ils n'ont pas été obtenus à partir de mesurages réalisés selon la norme NF EN 14381-2, il est intéressant de constater que ces résultats sont très inférieurs à la VLE journalière TSP de 5 mg/m³. Par ailleurs, la plupart des mesures réalisées avec l'impacteur DGI donnent des concentrations inférieures ou de l'ordre des limites de quantification de la méthode et très inférieures à celles mesurées avec l'impacteur Dekati 4 étages. Cet écart pourrait être dû aux différences de mises en œuvre entre les deux méthodes, en effet comme mentionné précédemment, ces deux types de prélèvements ne sont pas équivalents.

En effet, les prélèvements Dekati 4 étages réalisés « in-situ » permettent de collecter les espèces présentes à l'état solide à la température du flux, et de limiter l'impact des conditions de prélèvement sur l'aérosol ; alors que, les prélèvements DGI ont été effectués « hors conduit » et pour la 1^{ère} fois, sans étape de dilution préalable, ce qui peut engendrer des pertes par condensation de l'aérosol avant prélèvement dans l'impacteur.

Des précautions ont été prises pour maintenir la ligne de prélèvement à 160°C et éviter les phénomènes de condensation, mais il se peut que cela n'ait pas permis d'éviter ces phénomènes.

De plus, les filtres du DGI exposés à un débit de prélèvement de 70l/min pendant plusieurs heures ont pu perdre de la matière, ce qui a pu causer une sous-estimation des résultats de pesée.

Le prélèvement DGI réalisé hors conduit sans dilution ne semble donc pas adapté aux conditions de prélèvement rencontrées. Les résultats en masse à considérer sont donc ceux obtenus avec l'impacteur Dekati 4 étages (en gras dans le tableau).

Les particules prélevées avec l'impacteur Dekati 4 étages sont majoritairement réparties dans la fraction PM1 qui représente respectivement 44% et 90% des PM10 collectées lors des essais 1 et 2.

6.2.3 Analyse quantitative de Br, Al, Ca, Fe, K et Mn dans les échantillons prélevés par impaction

L'examen MET ayant relevé la présence des éléments Al, Ca, Fe, K, Mn et Br, ils ont été analysés de manière quantitative par ICP/OES (Al, Ca, Fe, K, Mn) et ICP-MS (Br). Aucun de ces métaux ne fait l'objet d'une surveillance dans l'air ambiant, et seul le manganèse fait l'objet de surveillance réglementaire au rejet atmosphérique des incinérateurs (VLE journalière pour la somme Sb, As, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, V : 500 µg/m³, mesurage selon la méthode NF EN 14385). Compte tenu des potentielles pertes par condensation avec l'impacteur DGI, seules les analyses réalisées sur les filtres d'impaction du Dekati 4 étages ont été exploitées.

Tableau 8 : Analyses quantitatives des éléments Br, Al, Ca, Fe, K et Mn dans les filtres impacteurs DGI et Dekati 4 étages (Essai 1). Les valeurs de concentrations surlignées en orange sont proches ou inférieures aux blancs.

Essai 1		Total Dekati 4 étages	PM10	PM2,5	PM1
Br	Concentration (µg/m ³)	30,02	29,52	27,19	24,08
	Blanc (µg/m ³)	0,08	0,06	0,05	0,03
	Flux (g/h)	1,81	1,78	1,64	1,45
	Répartition		98%	91%	80%
Al	Concentration (µg/m ³)	5,44	4,70	3,80	3,14
	Blanc (µg/m ³)	5,09	4,25	3,40	2,56
	Flux (g/h)	0,33	-	-	-
	Répartition		-	-	-
Ca	Concentration (µg/m ³)	113,96	112,55	94,16	71,70
	Blanc (µg/m ³)	1,81	1,55	1,29	1,03
	Flux (g/h)	6,87	6,78	5,67	4,32
	Répartition		99%	83%	63%
Fe	Concentration (µg/m ³)	55,75	54,80	49,86	41,53
	Blanc (µg/m ³)	2,41	2,09	1,76	1,43
	Flux (g/h)	3,36	3,30	3,00	2,50
	Répartition		98%	89%	75%
K	Concentration (µg/m ³)	16,82	16,59	16,05	15,02

Essai 1		Total Dekati 4 étages	PM10	PM2,5	PM1
	Blanc ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	1,48	1,27	1,06	0,85
	Flux (g/h)	1,01	1,00	0,97	0,90
	Répartition		99%	95%	89%
	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	0,88	0,84	0,79	0,75
Mn	Blanc ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	0,18	0,14	0,09	0,05
	Flux (g/h)	0,05	0,05	0,05	0,05
	Répartition		95%	90%	85%
	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	0,88	0,84	0,79	0,75

Tableau 9 : Analyses quantitatives des éléments Br, Al, Ca, Fe, K et Mn dans les filtres impacteurs Dekati 4 étages (Essai 2). Les valeurs de concentrations surlignées en orange sont proches ou inférieures aux blancs.

Essai 2		Total Dekati 4 étages	PM10	PM2,5	PM1
Br	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	81,88	81,29	78,44	75,69
	Blanc ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	0,07	0,06	0,04	0,03
	Flux (g/h)	4,79	4,75	4,58	4,42
	Répartition		99%	96%	92%
Al	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	5,14	4,48	3,80	3,14
	Blanc ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	4,73	3,95	3,16	2,38
	Flux (g/h)	0,30	-	-	-
	Répartition		-	-	-
Ca	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	120,23	118,31	104,22	90,39
	Blanc ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	1,68	1,44	1,20	0,96
	Flux (g/h)	7,03	6,91	6,09	5,28
	Répartition		98%	87%	75%
Fe	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	220,91	219,54	214,16	204,93
	Blanc ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	2,24	1,94	1,64	1,33
	Flux (g/h)	12,91	12,83	12,51	11,98
	Répartition		99%	97%	93%
K	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	6,84	6,63	6,16	5,95

Essai 2		Total Dekati 4 étages	PM10	PM2,5	PM1
	Blanc ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	1,10	1,00	0,89	0,79
	Flux (g/h)	0,40	0,39	0,36	0,35
	Répartition		97%	90%	87%
Mn	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	3,19	3,15	3,11	3,07
	Blanc ($\mu\text{g}/\text{m}^3_0$)	0,08	0,06	0,04	0,02
	Flux (g/h)	0,19	0,18	0,18	0,18
	Répartition		99%	97%	96%

Tout d'abord, l'aluminium présente des concentrations très proches du blanc de site, les concentrations mesurées en aluminium sont donc très probablement dues à sa présence dans le support de prélèvement et ne peuvent donc pas être prises en compte. Dans l'échantillon collecté au cours de l'essai 2, le brome, le calcium et le fer sont les éléments majoritaires avec des concentrations de $81 \mu\text{g}/\text{m}^3_0$, $118 \mu\text{g}/\text{m}^3_0$ et $220 \mu\text{g}/\text{m}^3_0$ pour des flux de 5 g/h, 7 g/h et 13 g/h, respectivement. Le potassium et le manganèse sont présents à des niveaux de concentrations plus faibles, de l'ordre de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3_0$ et $3 \mu\text{g}/\text{m}^3_0$, respectivement.

Les observations sont les mêmes pour l'essai 1 mais avec des valeurs mesurées plus faibles pour le fer et le brome. Elles sont cohérentes avec les concentrations en PM déterminées, sur les essais 1 et 2, en effet des concentrations plus faibles de PM ont été observées sur l'essai 1. Même si ces résultats ne peuvent pas être utilisés pour évaluer la conformité de l'installation vis-à-vis de la VLE car obtenus à partir de mesurages non réalisés avec la méthode de référence NF EN 14385, il est intéressant de constater que les concentrations observées en manganèse sont faibles au regard de la VLE associée au manganèse (VLE journalière de $500 \mu\text{g}/\text{m}^3_0$ pour la somme Sb, As, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, V).

Les résultats obtenus sur les deux essais avec l'impacteur Dekati 4 étages indiquent par ailleurs que les métaux quantifiés sont tous très majoritairement répartis dans la fraction PM1 de l'aérosol (> à 60% pour tous les métaux quantifiés).

7 Synthèse observations faites au rejet de l'UIDD et mise en perspective vis-à-vis des résultats obtenus à l'émission des UIOM

Les émissions des particules caractérisées au rejet de l'UIDD au cours des deux jours d'essais sont faibles, les concentrations en PM10 sont inférieures à 1 mg/m³ (respectivement 0,25 et 0,92 mg/m³ pour des flux de 54 et 14,5 g/h les jours 1 et 2) et à titre informatif très inférieures à la VLE journalière de 5 mg/m³ pour les TSP. Elles sont majoritairement constituées de PM1 qui représentent entre 44% et 90% de la masse de PM 10 prélevées, et d'espèces telles que le fer, le calcium et le brome et de carbone suie. Les analyses MET/EDS réalisées sur les grilles prélevées par MPS au rejet du four 3 ont en effet montré la présence :

- d'agrégats de suie de taille supérieure ou égal à 1 µm constitués de particules primaires de tailles de l'ordre de 10 à 50 nm associées ou non à des particules beaucoup plus grosses composées essentiellement de métaux et de sels ;
- de particules ou d'amas de particules de tailles comprises entre 300 nm et 1 µm composés d'espèces ubiquitaires telles que Ca, K, Fe, Br, Mn présents purs ou sous forme de sels ou d'oxydes

Du point de vue qualitatif, les résultats diffèrent de ceux observés au rejet de l'UIOM car au rejet de l'UIDD, il n'a pas été observé de particules métalliques sphériques de taille submicronique, voire nanométrique, ce qui était le cas pour une minorité d'entre elles au rejet de l'UIOM.

D'un point de vue quantitatif, ces résultats sont cohérents avec les observations précédemment faites au rejet d'UIOM qui indiquaient des émissions particulaires relativement faibles avec des flux particulaires totaux de l'ordre de la dizaine de grammes par heure, dont environ la moitié était constituée de métaux, majoritairement du fer.

Ces particules constituées majoritairement de métaux ubiquitaires et de suie, ne sont pas des nanoparticules manufacturées, elles sont communément observées à l'émission de procédés industriels, par ailleurs, elles sont émises en faible quantité ; elles ne peuvent donc pas être utilisées comme traceur de l'activité UIOM/UIDD dans l'environnement autour du site.

8 Conclusions

Les résultats de cette campagne de terrain montrent :

- que les émissions particulaires mesurées au rejet de l'UIDD étudiée sont faibles, de niveaux inférieurs à 1 mg/ m³ et majoritairement constituées de PM1 ;
- qu'une partie de ces émissions est constituée d'éléments quasi-sphériques ou d'agrégats/agglomérats de suie de taille submicronique à micronique contenant des métaux (Al, Br, Fe et Mn) et de cristaux de sels (Ca et K), espèces ubiquitaires émises en trop faible quantité pour être utilisées en tant que traceur de l'activité UIDD dans l'air à proximité des sites.

Ces observations viennent compléter celles faites précédemment dans le rapport Ineris² au rejet atmosphérique et dans l'air à proximité d'UIOM qui faisaient état d'émissions particulaires faibles, dont environ la moitié constituée par de métaux, majoritairement du fer, émis sous forme de particules sphériques de taille submicronique, voire nanométrique pour une minorité d'entre elles. Ces particules n'avaient pas pu être mises en évidence dans l'air autour des sites.

Les résultats obtenus au cours de ces deux campagnes de mesure nous permettent de conclure :

- qu'il n'a pas été possible de détecter de nanoparticules manufacturées dans les émissions des unités d'incinérations testées ;
- que les particules submicroniques émises sont trop peu nombreuses et pas suffisamment spécifiques pour être utilisées en tant que traceur de l'activité UIOM/UIDD dans l'air à proximité des sites,
- qu'en l'état actuel des connaissances, il n'apparaît pas pertinent de réaliser des campagnes de prélèvements dans l'air autour des incinérateurs visant à évaluer l'empreinte de particules nanométriques manufacturées.

