

Rapport d'études

Campagne 2025 d'étalonnage et comparaison inter-laboratoires (CIL) des ACSM

Décembre 2025



Groupement d'intérêt scientifique

Travaux réalisés par
Ineris
dans le cadre du

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air

Campagne 2025 d’étalonnage et de comparaison inter-laboratoire (CIL) des ACSMs

Hasna Chebaicheb - Ineris

Vérification : MARCHAND-MARQUIS CAROLINE

Approbation : Document approuvé le 17/08/2026 par LEOZ-GARZIANDIA EVA

Liste des personnes ayant participé à l’étude

Laurent Meunier, Amandine Fievet, Laurent Spinelle, Antonin Bergé (LSCE), Jean-Eudes Petit (LSCE), Hasna Chebaicheb, Olivier Favez

Table des matières

1	CONTEXTE D'UTILISATION DES ACSM ET RAPPEL DE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.....	9
2	APERÇU DE LA CONFIGURATION INSTRUMENTALE ET DU PROGRAMME DE LA CIL.....	10
2.1	Programme de la campagne	10
2.2	Emplacement des instruments dans le laboratoire	11
3	METHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES DONNEES ET D'EVALUATION DES PERFORMANCES	13
4	PROTOCOLE D'ETALONNAGE ACSM.....	13
5	CONTROLES PREALABLES A L'ETALONNAGE	15
5.1	Vérification du CPC et du DMA.....	15
5.2	Test d'étanchéité du dispositif expérimental	15
5.3	Vérification des paramètres techniques de l'ACSM	15
5.4	Optimisation du signal d'Airbeam	15
5.5	Vérification des débits.....	15
6	RESULTATS DES ETALONNAGES	16
6.1	Méthode d'étalonnage expérimentale.....	16
6.2	Méthode d'étalonnage alternative pour évaluer les RIE NH ₄ et SO ₄	17
6.3	Analyse des artefacts pendant l'étalonnage	18
7	VERIFICATION DE LA COHERENCE DES PARAMETRES D'ETALONNAGE APPLIQUES AUX MESURES DE L'AIR AMBIANT	19
8	RESULTATS DE LA CIL (AIR AMBIANT)	21
9	RESULTATS DE L'EXERCICE DE DOPAGE	24
10	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	26
11	REFERENCES.....	27
12	GLOSSAIRE	29
13	LISTE DES ANNEXES.....	31
	ANNEXE 1 : MESURES DES BLANCS ET CALCUL DES LIMITES DE DETECTION	32
	ANNEXE 2 : RESULTATS DE LA CIL.....	34

Résumé

Ce rapport présente les résultats de la campagne d'étalonnage et de comparaison inter-laboratoires (CIL) des ACSM (Aerosol Chemical Speciation Monitor), organisée par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) à destination des Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Cette campagne s'est tenue du 5 mai au 3 juin 2025 sur la plateforme technique de l'ACMCC (Aerosol Chemical Monitor Calibration Center) dans les locaux du Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE, plateau de Saclay, Essonne). Elle a réuni 16 ACSM du programme CARA : 11 appartenant aux AASQA et 4 fournis par l'ACMCC (Ineris et LSCE). Compte tenu du nombre d'ACSM, certains ont été installés dans le laboratoire du LSCE et d'autres dans la remorque de l'INERIS, qui est équipée d'un système de dopage de l'air ambiant, utilisé pour les CIL des analyseurs automatiques de particules (PM) ([Amélioration du système de dopage PM matrice réelle | LCSQA](#)) et les tests de performance des instruments de mesure.

Le rapport est structuré en huit sections principales :

- Section 1 : configuration des instruments et programme de la CIL ;
- Section 2 : méthodologies de traitement des données et méthode d'évaluation des performances ;
- Sections 3 à 6 : protocole d'étalonnage, vérifications préalables et résultats ;
- Section 7 : cohérence des paramètres d'étalonnage appliqués aux mesures d'air ambiant ;
- Section 8 : résultats de la CIL, incluant les Z-scores
- Section 9 : tests de dopage

Les ACSM ont été réceptionnés à partir du 5 mai, installés par les AASQA et le LCSQA-Ineris avec le soutien logistique du LSCE. Après mise en service, les instruments ont été configurés avec leurs paramètres d'étalonnage habituels (déterminés en station) et des premières mesures ont permis de vérifier leur bon fonctionnement. Certaines opérations de maintenance ont été assurées par le distributeur Addair, sollicité en début de campagne pour résoudre des problèmes techniques. Un instrument (ACSM 3) a nécessité des investigations supplémentaires par Addair et Aerodyne.

Après les opérations de contrôles assurance/qualité (QA/QC) et les mesures de blanc, les efficacités d'ionisation (IE et RIE) ont été calibrées. Des mesures d'air ambiant ont ensuite été réalisées pour comparer les performances des instruments sur les cinq principales espèces chimiques (nitrate, ammonium, sulfate, chlorure et matière organique) et évaluer les incertitudes de mesure. Nouveauté pour cette édition, des tests de dopage avec différents niveaux de concentration ont également été effectués pour les ACSM installés dans la remorque, afin de vérifier les paramètres de calibration. Des perspectives d'utilisation de ce système pour des tests supplémentaires sont envisagées.

Les tests effectués à l'ACMCC confirment le bon fonctionnement des instruments et leur cohérence avec les autres ACSM participants pour les mesures en air ambiant.

Enfin, cet exercice, réunissant tous les ACSM des AASQAs, a permis de mettre en place sur chacun d'entre eux des procédures d'export en temps réel des matrices organiques destinées aux études de source, dans le cadre des objectifs du programme CARA (<https://www.lcsqa.org/fr/le-dispositif-cara>).

Abstract

This report presents the results of the intercomparison campaign for ACSM (Aerosol Chemical Speciation Monitor) instruments, organized by the Central Laboratory for Air Quality Monitoring (LCSQA) for the benefit of the regional Air Quality Monitoring Associations (AASQA). The campaign took place from May 5 to June 3, 2025, at the ACMCC (Aerosol Chemical Monitor Calibration Center) and brought together 16 ACSMs from the CARA program: 11 provided by AASQA and 4 by ACMCC (Ineris & LSCE). Given the number of ACSMs, some were installed in the LCSE laboratory and others in the INERIS trailer, which is equipped with a doping system, used primarily for the CILs of automatic particulate matter (PM) analyzers ([Amélioration du système de dopage PM matrice réelle LCSQA](#)), as well as performance tests of instruments.

The report is structured into eight main sections:

- Section 1: Instrument configuration and CIL program
- Section 2: Data processing methodologies and performance evaluation methods
- Sections 3 to 6: Calibration protocol, preliminary checks, and results
- Section 7: Consistency of calibration parameters applied to ambient air measurements
- Section 8: Results of the intercomparison campaign, including Z-scores
- Section 9: Doping tests

The ACSMs were received starting May 5 and installed by AASQA and LCSQA-Ineris with logistical support from LSCE. After commissioning, the instruments were configured with their usual calibration parameters (determined at their respective stations), and initial measurements were performed to verify proper operation. Some maintenance operations were carried out by the distributor Addair, which was called upon at the beginning of the campaign to resolve technical issues. One instrument (ACSM 3) required further investigation by Addair and Aerodyne.

After quality assurance/control (QA/QC) checks and blank measurements, ionization efficiencies (IE and RIE) were calibrated. Ambient air measurements were then performed to compare instrument performance for the five main chemical species (nitrate, ammonium, sulfate, chloride, and organic matter) and to assess measurement uncertainties. New for this edition, doping tests with different concentration levels were also conducted on the ACSMs installed in the trailer in order to verify the calibration parameters. The possibility of using this system for additional tests is being considered.

Tests carried out at ACMCC confirmed the proper functioning of the instruments and their consistency with other ACSM participants for ambient air measurements.

Finally, this CIL exercise, which involved all the ACSMs from the AASQAs, made it possible to implement, at each site, the real-time export procedures of organic matrices intended for source apportionment studies, in line with the objectives of the CARA program (<https://www.lcsqa.org/fr/le-dispositif-cara>).



Remerciements et collaborations

Nos remerciements à toutes les AASQAs participantes à cette campagne interlaboratoires : AirParif, AtmoSud, Atmo Occitanie, Atmo Nouvelle-Aquitaine, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, Atmo Normandie, et Atmo Grand-Est. Nos remerciements également à Addair (Vincent Crenn et Xavier Colas) et Aerodyne (Phil Croteau) pour leur aide précieuse pendant cette campagne. Nos remerciements aussi au personnel LSCE (Antonin Bergé, Lorna Foliot, Nicolas Bonnaire et Jean-Eudes Petit) pour leur support logistique pour l'organisation de cette campagne.

1 Contexte d'utilisation des ACSM et rappel de principe de fonctionnement

L'ACSM (Aerosol Chemical Speciation Monitor) est conçu pour surveiller les aérosols présents dans l'air ambiant. Il fournit en continu et en temps réel la composition chimique des principales espèces (sulfate, nitrate, chlorure, ammonium et fraction organique) des aérosols submicroniques non réfractaires (NR-PM₁) dans l'atmosphère, ainsi que leur concentration massique. De plus, l'ACSM permet d'identifier les sources d'émission des espèces organiques, telles que les chaînes carbonées associées aux combustions primaires et les aérosols organiques oxygénés liés aux aérosols secondaires. Une photo de l'analyseur est présentée ci-dessous (Figure 1).

La conception de l'ACSM est basée sur celle de l'AMS (Aerosol Mass Spectrometer), tous deux développés par Aerodyne Research, Inc. (Billerica, USA). Le principe repose sur la combinaison de la vaporisation thermique des aérosols (~600 °C), de l'ionisation par impact électronique et de la détection par spectrométrie de masse (quadripôle « Q-ACSM » ou temps de vol « ToF-ACSM »).

Pour plus de détails, consulter le site web d'Aerodyne, les directives ACTRIS, les directives nationales, ainsi que les articles scientifiques (e.g., Ng et al., 2011 ; Fröhlich et al., 2013).

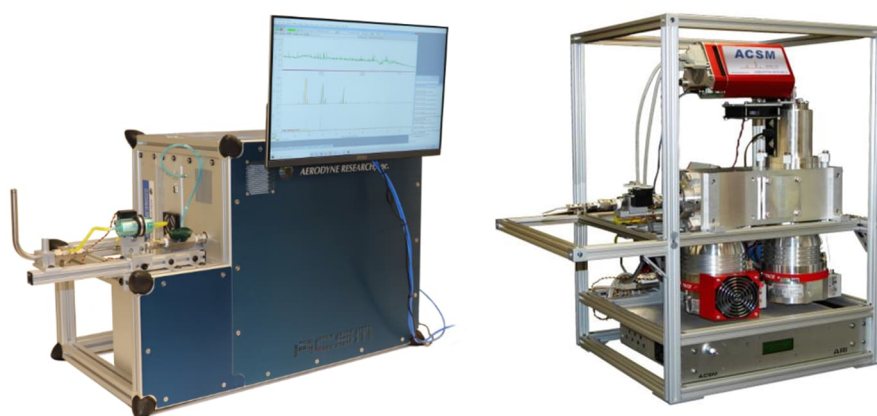


Figure 1 : ToF-ACSM (à gauche) et Q-ACSM (à droite)

Ces différents instruments de mesure sont utilisés dans le cadre du dispositif CARA de surveillance opérationnelle (<https://www.lcsqa.org/fr/le-dispositif-cara>) afin de suivre la caractérisation chimique des particules. Ces analyseurs sont principalement exploités par les AASQA sur les sites multi-instrumentés du réseau national. Ces mesures automatiques permettent notamment d'identifier les principales sources de particules et de mettre en œuvre des méthodologies d'attribution des sources. À cette fin, des procédures d'export de données en temps réel ont été mises en place sur les ordinateurs des ACSM des AASQA.

2 Aperçu de la configuration instrumentale et du programme de la CIL

Les instruments ont été réceptionnés à l'ACMCC le 5 mai 2025. Ils ont été installés et mis en service par le personnel des AASQA et de l'ACMCC au cours de la semaine (voir programme ci-dessous). Certains ACSMs ont été installés dans la station SIRTA, d'autres dans la remorque de l'Ineris, permettant le dopage d'air ambiant avec différentes natures de particules ([Amélioration du système de dopage PM matrice réelle | LCSQA](#)). L'ajout de la remorque dans la configuration de la CIL était une première, afin de tester l'intérêt du dopage dans le déroulé d'un exercice dédié aux ACSM.

Les instruments étaient équipés de leur sécheur individuel. Chaque instrument prélevait 3 lpm à partir de la ligne d'entrée principale, ce débit étant contrôlé par des pompes externes dédiées aux lignes d'échantillonnage.

Pour les Q-ACSM, l'analyse des données a été effectuée à l'aide de la procédure `acsm_local` (v1.6.1.6) du logiciel Igor Pro (Wavemetrics, v6.3.7). Pour le ToF-ACSM, Tofware v4.0.3 a été utilisé pour l'analyse des données. Une efficacité de collecte dépendante de la composition a été appliquée à tous les ensembles de données, conformément aux recommandations de Middlebrook et al. (2012).

2.1 Programme de la campagne

- Semaine du 05/05 : Installation ACSM, ateliers et discussions (GU ACSM le 07/05)
- Semaine du 12/05 : Etalonnage de tous les ACSM
- Semaine du 19/05 : Tests de dopage dans la remorque
- Semaine du 26/05 : Mesures en air ambiant
- Semaine du 02/06 : Désinstallation des ACSM



Figure 2 : photo de groupe de la CIL ACSM 2025

2.2 Emplacement des instruments dans le laboratoire

Huits Q-ACSMs des AASQAs ont été installés dans la station, comme le montre la Figure 3. La station disposait de deux tables distinctes ; la disposition des instruments est illustrée ci-dessous. Chaque table disposait de sa propre entrée, équipée d'une tête d'échantillonnage commune. Toutes les lignes d'échantillonnage étaient constituées de tubes en cuivre de ½ pouce, de longueur identique pour chaque instrument, représentés ici en pieuvres violettes.

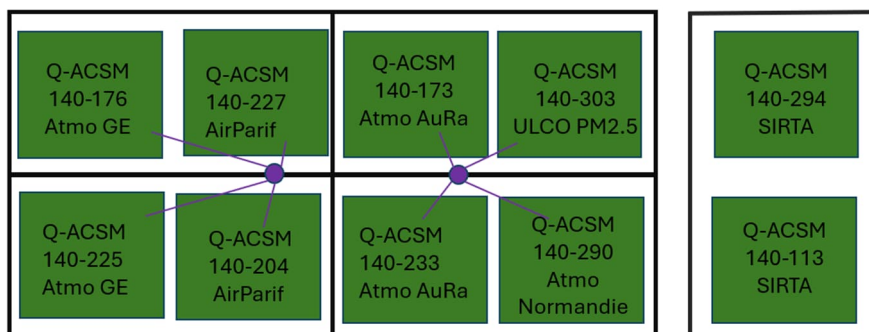


Figure 3 : Emplacement des ACSM dans la station SIRTa

Dans la remorque, trois Q-ACSMs et un ToF-ACSM des AASQA ont été installés, comme présenté sur la Figure 4. Le dispositif de dopage de l'air ambiant se compose d'une turbine qui canalise un flux constant et réglable d'air ambiant vers un distributeur, lequel divise et redistribue l'air dans huit cloches de dopage où sont installées les têtes de prélèvement des ACSM. Un générateur de particules est situé en amont du distributeur afin d'enrichir l'air ambiant avec des niveaux de concentration prédéfinis. Pour plus de détails, ce système est décrit dans plusieurs rapports du LCSQA (LCSQA, 2012 ; LCSQA, 2016 ; LCSQA, 2020).

Q-ACSM
140-234
Atmo Occitanie

Q-ACSM
140-202
Atmo NA

Q-ACSM
140-200
Atmo NA

Q-ACSM
140-142
SIRTA

ToF-ACSM
010
SIRTA

ToF-ACSM
027
Atmo Sud



Figure 4 : Emplacement de la remorque à côté de la station SIRTA et emplacement des ACSM

3 Méthodologie de traitement des données et d'évaluation des performances

L'évaluation des étalonnages effectués pour chaque ACSM comprend :

- La comparaison entre les valeurs mesurées de NH_4 et les valeurs prédites de NH_4
- La comparaison des PM_{10} reconstituées (ACSM + eBC) par rapport aux PM_{10} Fidas

Les performances des instruments sont considérées comme satisfaisantes lorsque les résultats des instruments participants se situent dans une marge d'incertitude bien caractérisée pour les spectromètres de masse d'aérosols, fixée ici à $\pm 30\%$ (Bahreini et al., 2009 ; Middlebrook et al., 2012 ; Crenn et al., 2015). Pour cela, les séries temporelles de chaque ACSM ont été comparées à la médiane de l'ensemble des ACSM participant à la CIL.

De plus, les instruments ont été comparés à la médiane robuste de l'ensemble des instruments à l'aide d'une analyse par Z-score. L'analyse du Z-score a été appliquée conformément aux normes définies par l'Organisation internationale de normalisation (ISO). Cette méthode, évaluée selon la norme ISO 5725-2, permet d'apprécier les performances d'un instrument par rapport à celles des autres instruments participant à la comparaison interlaboratoire. Elle a déjà été utilisée dans le cadre d'autres exercices d'intercomparaison européens (rapports techniques) et validée lors des première et deuxième CILs ACTRIS ACSM (Crenn et al., 2015 ; Freney et al., 2019). Le Z-score est exprimé comme suit (Eq. 1) :

$$Z_i = \frac{X_i - X^*}{\sigma^*} \quad (\text{Eq. 1})$$

Où X_i est la médiane de l'instrument, X^* est la médiane robuste des instruments participants et σ^* est l'écart type de ces derniers instruments. Selon ce test, les performances de l'instrument sont jugées acceptables lorsque les valeurs sont $|Z| \leq 2$.

4 Protocole d'étalonnage ACSM

Le dispositif utilisé pour l'étalonnage est illustré ci-dessous (Figure 5). Le dispositif et le protocole expérimental sont brièvement décrits ci-après.

Le système repose sur un générateur TSI (également appelé atomiseur ou nébuliseur), modèle 3076, qui produit un aérosol submicronique en nébulisant une solution aqueuse de nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) ou de sulfate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). De nouvelles solutions ont été préparées avant chaque étalonnage à partir de sels dilués dans de l'eau déionisée ultrapure afin d'obtenir la concentration souhaitée.

Le flux d'aérosol à la sortie du générateur est séché par un sécheur monté en sortie, maintenant une humidité relative comprise entre 20 % et 40 %. Ensuite, le dispositif comprend un analyseur de mobilité différentielle (DMA, TSI) pour sélectionner des particules de 300 nm de diamètre. Ce DMA a été étalonné avant utilisation à l'aide de sphères de latex de polystyrène de 300 nm.

Les particules sont ensuite dirigées vers un analyseur centrifuge de masse des particules (CPMA), qui sépare les particules en fonction de leur masse réelle et élimine celles à double charge. Elles sont ensuite acheminées simultanément vers l'ACSM et vers un compteur de particules à condensation (CPC). Ce CPC a été étalonné avant l'atelier par comparaison avec un électromètre.

Une boucle de dilution et un tube de mélange permettent d'ajuster les niveaux de concentration des aérosols pendant l'étalonnage. Le tube de mélange assure l'homogénéisation du flux de particules. Ce système vise à maintenir un niveau stable et constant de concentration.

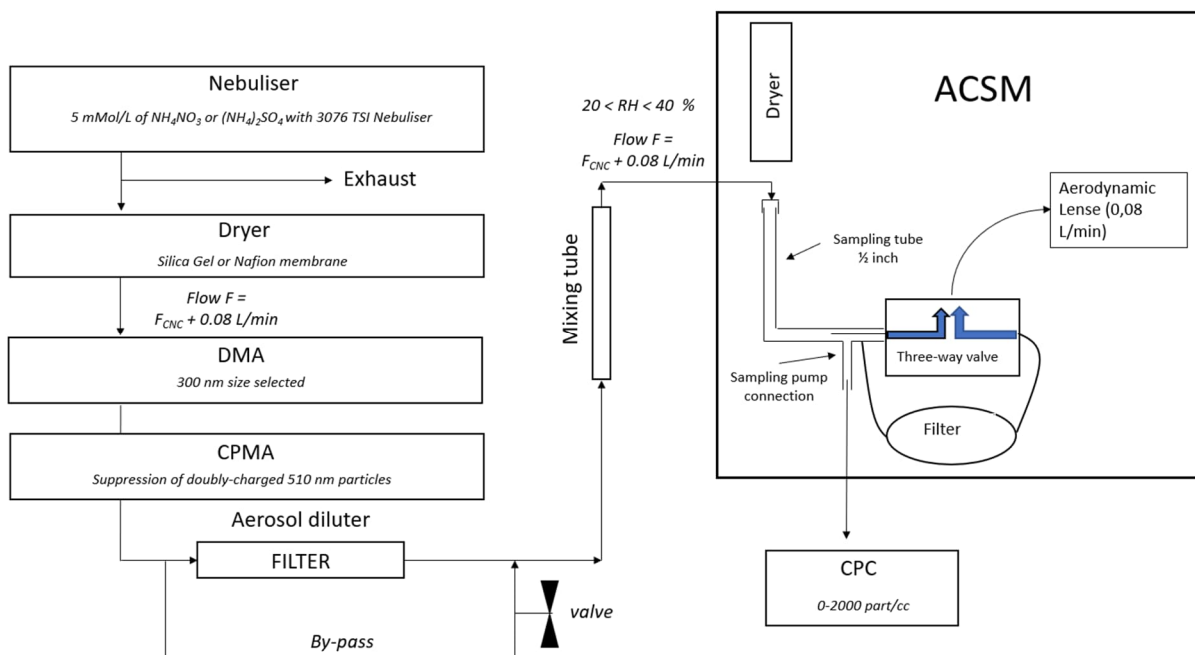


Figure 2: Schéma du dispositif expérimental d'étalonnage

La Figure 3 présente le dispositif d'étalonnage expérimental de l'ACMCC.



Figure 3: Dispositif d'étalonnage expérimental de l'ACMCC

5 Contrôles préalables à l'étalonnage

5.1 Vérification du CPC et du DMA

Le bon fonctionnement des instruments utilisés sur le banc d'étalonnage (CPC et DMA) a été vérifié conformément aux recommandations de la norme ISO 15900. Cette vérification permet de valider le système d'étalonnage, qui consiste à sélectionner les particules (DMA) puis à les compter (CPC) pour un diamètre de 300 nm.

Conformément à la norme ISO 15900, la procédure a consisté à générer des aérosols monodispersés à partir de billes de latex certifiées par le NIST. Pour les billes de latex de 300 nm, une fonction log-normale a été ajustée aux données expérimentales. Le diamètre correspondant au pic de distribution mesuré par le SMPS a ensuite été comparé à la taille théorique des aérosols générés. L'écart entre la valeur mesurée et la valeur théorique est inférieur à la tolérance standard de 3 %.

5.2 Test d'étanchéité du dispositif expérimental

Les tests d'étanchéité sont généralement réalisés en plaçant un filtre absolu (HEPA) à différents points de l'appareil (entrée du CPC, entrée du DMA, assemblage complet). Ce contrôle permet non seulement de confirmer l'étanchéité du banc d'étalonnage, mais aussi, dans certains cas, de détecter d'éventuelles fuites dans la ligne d'échantillonnage, juste en amont de l'orifice critique à l'entrée de l'instrument.

Le test d'étanchéité a été effectué en déplaçant la position du filtre absolu à plusieurs endroits de l'appareil. Aucune fuite n'a été détectée, avec un nombre de particules mesuré égal à 0 particule/cm³, ce qui confirme que le dispositif expérimental était parfaitement étanche.

5.3 Vérification des paramètres techniques de l'ACSM

Avant l'étalonnage, tous les paramètres techniques (température du vaporisateur, tension du détecteur, courant d'émission du filament, etc.) ont été vérifiés afin de garantir le bon fonctionnement de l'ACSM. De même, la calibration en masse de l'instrument a été contrôlée. Cela consiste à s'assurer que les signaux des principaux composants de l'air (m/z 28) et du naphthalène (m/z 128) sont centrés sur leurs valeurs théoriques. Si ce n'est pas le cas, l'offset et/ou la pente des courbes d'étalonnage proposées par l'analyseur doivent être ajustés.

5.4 Optimisation du signal d'Airbeam

Cette optimisation est réalisée en ajustant les tensions « Heater Bias » et « SEM » à l'aide de la procédure de réglage. Les tensions du détecteur (Heater Bias et SEM) ont été optimisées avant l'étalonnage afin d'obtenir un signal Airbeam égal à 1×10^{-7} . Les nouvelles valeurs d'ajustement ont été enregistrées dans le système d'acquisition (DAQ).

5.5 Vérification des débits

Les débits suivants ont été vérifiés :

- Débit CPC : Ce débit a été contrôlé à l'aide du débitmètre à piston Defender 520-M (S/N 122836). Il est essentiel de vérifier ce paramètre, car il peut avoir un impact significatif sur la mesure de la concentration en nombre des particules générées et, par conséquent, sur la détermination des valeurs IE et RIE de l'ACSM.

- Débits ACSM : Ces débits ont été mesurés en trois exemplaires, chaque exemplaire correspondant à une moyenne de 10 mesures effectuées dans l'air ambiant, puis dans l'air filtré, sélectionnées manuellement via l'interface DAQ. La vérification de ce débit est également cruciale, car il influence directement la mesure de la concentration en nombre des particules générées et, par conséquent, la détermination des paramètres IE et RIE de l'ACSM.

6 Résultats des étalonnages

L'étalonnage a été réalisé sur sept points de mesure (y compris le point zéro), chaque point correspondant à une moyenne de dix cycles alternant air ambiant et air filtré, pour une période d'acquisition de dix minutes. Le mode « Full Scan » a été utilisé.

6.1 Méthode d'étalonnage expérimentale

Le facteur de réponse au nitrate (RF) a été calculé pour chaque instrument et appliqué au signal brut de l'ACSM afin d'obtenir des informations quantitatives. Cette valeur est déterminée à partir d'une quantité connue d'une espèce chimique introduite dans l'instrument. L'efficacité d'ionisation relative (RIE) est une valeur spécifique à chaque substance chimique, généralement déterminée expérimentalement pour les espèces ammonium et sulfate.

Les résultats des paramètres d'étalonnage ont été enregistrés dans le DAQ de chaque instrument. Les paramètres d'étalonnage pris en compte sont répertoriés dans le Tableau 1.

Tableau 1: Valeurs d'étalonnage obtenues pour l'ensemble des instruments

	IE NO3	RIE NH4	RIE SO4	ABref	Pref
ACSM#1	6.96E-11	3.81	0.6	9.79E-08	1.312
ACSM#2	3.88E-11	4.51	0.55	1.01E-07	1.337
ACSM#3	2.82E-11	5.43	0.6	9.69E-08	1.321
ACSM#4	3.26E-11	4.86	0.43	9.37E-08	1.27
ACSM#5	6.23E-11	6.14	0.46	9.44E-08	1.312
ACSM#6	3.97E-11	5.34	0.55	9.69E-08	1.43
ACSM#7	1.09E-11	5.59	1.03	9.93E-08	1.34
ACSM#8	3.77E-11	6.92	0.64	9.07E-08	1.312
ACSM#9	6.67E-11	4.47	0.41	9.50E-08	1.304
ACSM#10	3.45E-11	4.94	0.54	9.92E-08	1.318
ACSM#11	7.10E-11	3.62	0.79	1.06E-07	1.279
ACSM#12	51.8 ions/pg	3.76	0.76	95277 ions/s	1.337

L'ensemble des calibrations effectuées sur les ACSMs des AASQA est consigné dans un tableau Excel historique, géré par le LCSQA.

6.2 Méthode d'étalonnage alternative pour évaluer les RIE NH₄ et SO₄

Cette approche est complémentaire à la méthode d'étalonnage classique (voir §6.1). Elle repose uniquement sur les rapports stœchiométriques des espèces chimiques et est indépendante des mesures CPC, qui peuvent constituer une source d'incertitude. Cette méthode permet de vérifier la cohérence des résultats obtenus avec ceux issus de la méthode décrite précédemment.

Ainsi, les RIE pour NH₄ et SO₄ peuvent être évaluées à partir d'une analyse relative des signaux bruts de l'ACSM (en ampères) acquis pendant les opérations d'étalonnage, sans application de facteurs de correction tels que CE, IE et RIE. Les calculs sont effectués à partir des données issues des mesures de nitrate d'ammonium et de sulfate d'ammonium, selon les deux équations suivantes :

$$\text{NH}_4 \text{ from NO}_3 / \text{M}_{\text{NH}_4} = \text{RIE NH}_4 \times (\text{NO}_3 / \text{M}_{\text{NO}_3}) / \text{RIE NO}_3$$

$$2.\text{SO}_4 / \text{M}_{\text{SO}_4} = \text{RIE SO}_4 \times (\text{NH}_4 \text{ from SO}_4 / \text{M}_{\text{NH}_4}) / \text{RIE NH}_4$$

Les RIE correspondent aux coefficients de pente des régressions linéaires.

Les valeurs de RIE pour NH₄ et SO₄ déterminées par cette approche sont présentées dans le Tableau 2 , ainsi que la différence entre les deux méthodes. Toutefois, les valeurs expérimentales ont été conservées pour tous les sites, car elles garantissent la neutralisation chimique des espèces (voir section 7).

Tableau 2 : RIE NH₄ et SO₄ déterminés par la méthode alternative

	RIE NH ₄	RIE SO ₄	Différence entre les deux approches pour RIE NH ₄	Différence entre les deux approches pour RIE SO ₄
ACSM#1	3.84	0.56	1%	6%
ACSM#2	4.46	0.47	1%	14%
ACSM#3	4.89	0.075	10%	87%
ACSM#4	4.21	0.31	13%	28%
ACSM#5	5.36	0.34	13%	26%
ACSM#6	4.97	0.47	7%	14%
ACSM#7	4.81	0.51	14%	50%
ACSM#8	6.23	0.46	10%	29%
ACSM#9	3.76	0.23	16%	43%
ACSM#10	5.06	0.52	2%	4%
ACSM#11	2.62	0.38	28%	51%

6.3 Analyse des artefacts pendant l'étalonnage

Les artefacts possibles liés à la mesure ACSM ont été analysés :

- **Signal m/z 44 sur le nitrate d'ammonium** : la présence d'espèces carbonées sur le vaporiseur peut affecter le processus de désorption et de décomposition du NO_3 , ainsi que les réactions à la surface des vaporiseurs et des ioniseurs (Pieber et al., 2016 ; Freney et al., 2019). Ces réactions peuvent produire du CO_2 et augmenter le signal m/z 44, attribué à la mesure de l'aérosol organique. Cet artefact est exprimé sous forme de rapport m/z 44 / NO_3 .
- **Signal m/z 30 sur le sulfate d'ammonium** : cet artefact est lié au signal sulfate. Lors des étalonnages avec du sulfate d'ammonium pur, un signal inattendu à m/z 30 peut être détecté sur certains instruments. Cet artefact pourrait être dû à des réactions à la surface des vaporiseurs induites par le SO_4 , produisant du NO^+ et/ou des fragments organiques. Cet artefact est exprimé sous forme de rapport m/z 30 / SO_4 .

Dans l'état actuel des connaissances, aucune correction n'est appliquée à ces artefacts. Ils sont fournis à titre informatif, l'objectif étant d'en assurer la traçabilité. Lors de la CIL ACTRIS (infrastructure de recherche européenne <https://www.actris-ecac.eu/>) 2016 (Freney et al., 2019), le rapport m/z 44 / NO_3 a été quantifié et évalué sur 15 instruments ACSM, avec des valeurs comprises entre 0,01 et 0,26, tandis que le rapport m/z 30 / SO_4 variait de 0,01 à 0,173 (et était inversement proportionnel au RIE SO_4). Les résultats obtenus lors de cet exercice se situent dans ces plages de valeurs (Tableau 3). Néanmoins, l'artefact de Pieber est important et plus élevé sur les ACSM 4 et 5 que sur les autres instruments.

Tableau 3 : Analyse des artefacts lors des calibrations de tous les ACSMs pour cette CIL

	m/z 44 / NO_3	m/z 30 / SO_4
ACSM#1	0.0049	0.0096
ACSM#2	0.0067	0.0065
ACSM#3	0.022	-0.0037
ACSM#4	0.12008	0.0147
ACSM#5	0.1189	0.0588
ACSM#6	0.0262	0.0029
ACSM#7	0.0334	0.0067
ACSM#8	0.0625	-0.0012
ACSM#9	0.00041	0.0076
ACSM#10	0.0147	0.0048
ACSM#11	0.0077	0.00041

Le suivi dans le temps de ces deux artefacts, pour l'ensemble des ACSM des AASQA, est assuré par le LCSQA et a été présenté dans une note technique¹ du LCSQA.

¹ [Synthèse des opérations d'assurance qualité des spectromètres de masse pour aérosols du programme CARA | LCSQA](#)

7 Vérification de la cohérence des paramètres d'étalonnage appliqués aux mesures de l'air ambiant

La cohérence des résultats d'étalonnage obtenus a été vérifiée en appliquant les nouveaux paramètres IE et RIE déterminés aux données ACSM, durant la CIL 2025.

La Figure 3 présente les séries temporelles des concentrations médianes de tous les ACSMs pour les principales espèces (OA, NO₃, SO₄, NH₄, Cl) présentes dans les aérosols submicroniques non réfractaires, ainsi que de l'eBC (PM₁ reconstitué = OA + SO₄ + NO₃ + NH₄ + Cl + eBC).

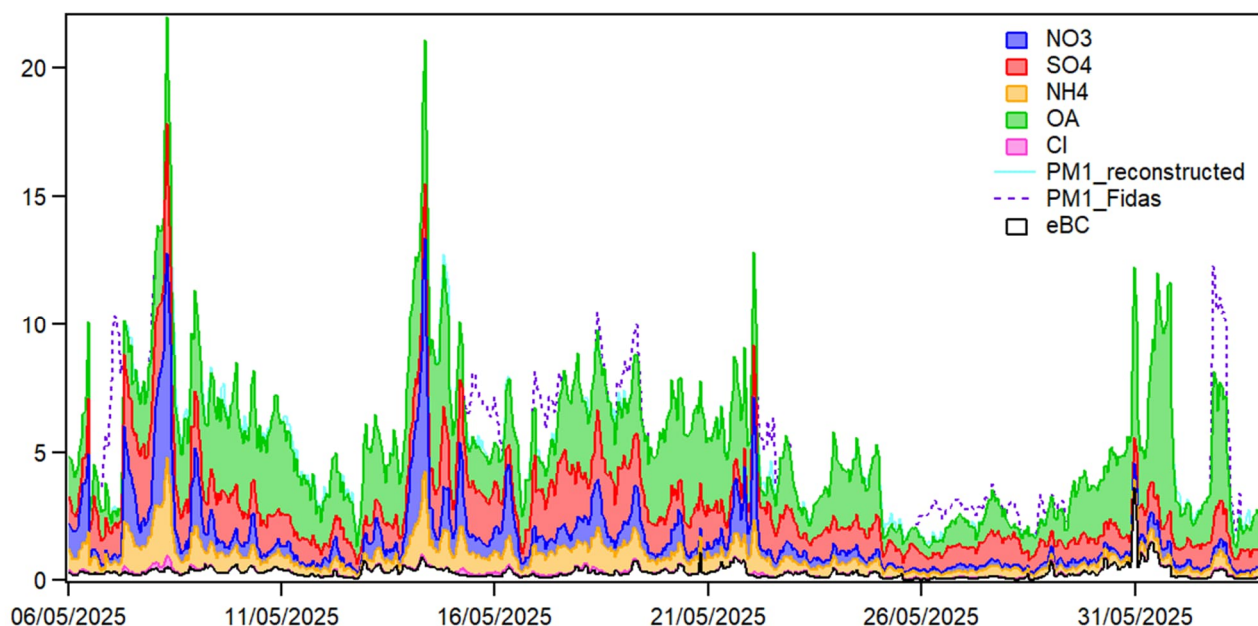


Figure 4 : Évolution temporelle des concentrations médianes de tous les ACSMs pour les principales espèces d'aérosols submicroniques non réfractaires (NR-PM₁) et d'eBC

Il est important de noter que l'utilisation de paramètres d'étalonnage déterminés expérimentalement (Tableau 1) a permis la neutralisation des espèces chimiques, avec des pentes comprises entre 0,74 et 1,08 entre l'ammonium mesuré et l'ammonium prévu (Tableau 4).

Les données PM₁ reconstituées ont été comparées aux mesures PM₁ du FIDAS. Pour les 12 ACSMs, les pentes variaient entre 0,7 et 1,12 (Tableau 4) (à l'exception de l'ACSM 3, qui a rencontré des problèmes techniques pendant la CIL), avec de bons coefficients de détermination (R²).

Tableau 4 : Pentes de la balance ionique et de la fermeture chimique pour les 12 ACSMs

	NH ₄ _mesuré vs NH ₄ _prédit	PM ₁ _reconstitué vs PM ₁ _Fidas
ACSM#1	1.03	0.72
ACSM#2	0.98	0.95
ACSM#3	1.02	0.47
ACSM#4	0.93	1.12
ACSM#5	0.9	0.81
ACSM#6	0.995	0.86
ACSM#7	0.88	0.9
ACSM#8	0.81	1.07
ACSM#9	1.01	0.86
ACSM#10	0.9	1.12
ACSM#11	1.08	1.10
ACSM#12	0.8	0.85

Les résultats obtenus entre le PM₁ reconstitué et le PM₁ mesuré par le FIDAS se situent dans les limites de tolérance, en tenant compte des incertitudes de mesure des instruments tels que le Q-ACSM, pour lequel une incertitude de 9 % sur la mesure du NR-PM₁ a été déterminée (Crenn et al., 2015). Les résultats sont donc considérés comme validés pour l'ACSM, sous réserve d'une incertitude élargie incluant la propagation des incertitudes du Q-ACSM, de l'AE33 et du FIDAS.

Pour rappel, l'incertitude de mesure du FIDAS est de l'ordre de 8 %. Il convient également de souligner que cet instrument n'est sensible qu'aux particules dont le diamètre optique est supérieur à 180 nm, ce qui peut entraîner des incertitudes supplémentaires lors de l'estimation de la fraction massique des PM₁.

De plus, la spéciation chimique de l'ACSM est limitée aux espèces non réfractaires et ne prend donc pas en compte les métaux ou les sels marins (bien que leur contribution à la masse des PM₁ soit probablement faible). Enfin, le système de lentilles aérodynamiques de l'ACSM est considéré comme pleinement efficace pour les particules de 40 à 600 nm (Liu et al., 2007) ; cependant, des études récentes suggèrent que la plage de collecte pourrait varier selon les spécificités instrumentales (Poulain et al., 2020)

8 Résultats de la CIL (air ambiant)

Les performances de chaque ACSM participant à la CIL ont été évaluées par comparaison des Z-scores. Comme indiqué dans la section 2, les performances des instruments sont considérées comme acceptables lorsque les valeurs du Z-score sont $|z| \leq 2$ (lignes grises dans la Figure 9). La Figure 9 présente les Z-scores calculés pour chaque instrument en utilisant la médiane robuste comme référence, celle-ci étant définie comme la médiane de l'ensemble des instruments. Tous les instruments se situent bien dans les limites acceptables de ce test statistique, avec la plupart des Z-scores sont autour de 0 pour toutes les variables, à l'exception de l'ACSM 3.

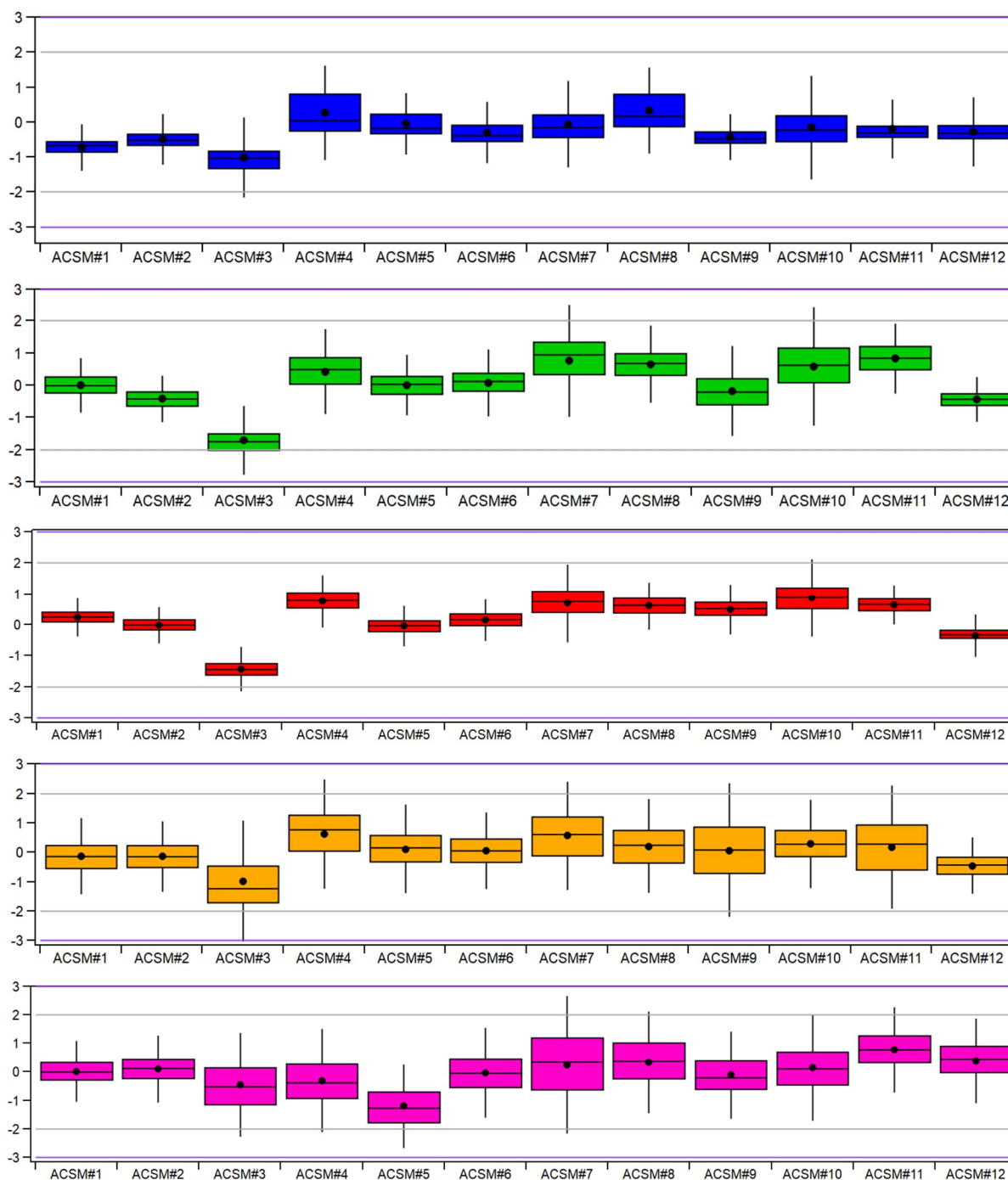


Figure 5 : Z-scores pour chaque espèce mesurée par l'ACSM, pour chaque instrument participant à la CIL. Les boxplots présentent la médiane, les quartiles Q25 et Q75. Les moustaches correspondent à la moyenne ± 2 écarts-types (mean ± 2 SD), tandis que la moyenne est représentée par un point.

La deuxième méthode d'évaluation consistait à comparer chaque ACSM participant à la médiane des 12 instruments participants (figures A3 à A6, annexe 2). Le tableau 5 présente les pentes obtenues à partir de cette comparaison. D'une manière générale, tous les ACSM se situent dans une fourchette de $\pm 20\text{-}25\%$ par rapport à cette médiane. Cette valeur se situe dans les limites de l'incertitude de l'instrument et des étalonnages. À l'exception de l'instrument n° 3, qui a connu des problèmes techniques.

Tableau 5 : Comparaison de chaque ACSM avec la médiane de l'ensemble des ACSM.

ACSM vs médiane ACSM	NO3	SO4	NH4	OA
ACSM#1	0.76	0.96	0.91	0.98
ACSM#2	0.87	0.9	0.94	0.83
ACSM#3	0.65	0.32	0.58	0.38
ACSM#4	1.19	1.21	1.19	1.12
ACSM#5	1.03	0.9	0.99	1
ACSM#6	0.97	0.96	1.01	1.02
ACSM#7	1.15	1.17	1.21	1.23
ACSM#8	1.23	1.15	1.06	1.16
ACSM#9	0.96	1.07	1.03	0.89
ACSM#10	1.03	1.21	1.08	1.12
ACSM#11	1.16	1.15	1.18	1.23
ACSM#12	0.97	0.77	0.81	0.89

La figure 8 présente la médiane ainsi que les quartiles Q25 et Q75 de toutes les mesures ACSM relatives aux espèces chimiques présentes dans les NR-PM₁ au cours de cette campagne. On constate que l'intervalle Q25–Q75 est très étroit, ce qui témoigne de la cohérence entre les différents instruments. De plus, la teneur en matière organique mesurée est comparable à celle obtenue avec le TCA08 (analyseur de carbone total qui mesure en temps réel la teneur en carbone total (TC) des particules), avec un rapport OA (aérosol organique) = 2*OC (carbone organique).

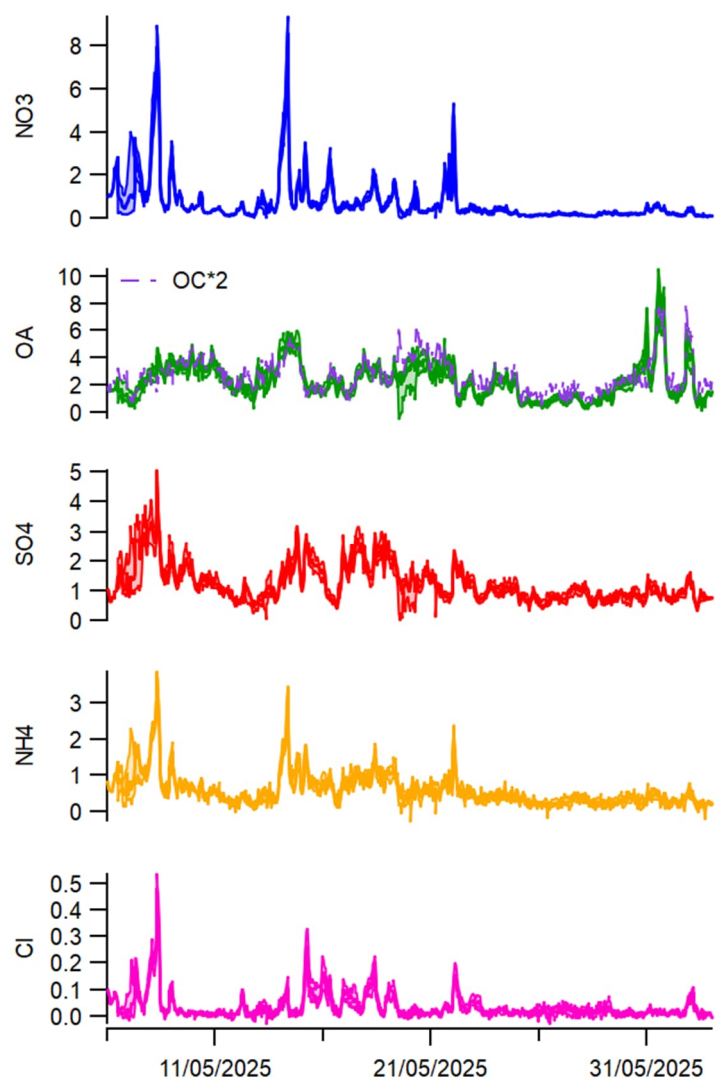


Figure 6 : Médiane, quartiles Q25 et Q75 de l'ensemble des ACSM pour les espèces chimiques NR-PM₁, lors de cette CIL

9 Résultats de l'exercice de dopage

Au cours de cette CIL, plusieurs tests de dopage ont été réalisés pour les ACSM installés dans la remorque. Ce dispositif de dopage est particulièrement important pour comparer des instruments sur des plages de concentration différentes, car ces CIL sont effectuées pendant des périodes/saisons où les concentrations de polluants sont faibles, ce qui complique la comparaison entre les différents instruments pour les différentes espèces chimiques.

Pendant cette CIL, du 20 au 23 mai 2025, des tests de dopage ont été effectués avec des solutions de nitrate d'ammonium et de sulfate d'ammonium en utilisant un nébuliseur TSI modèle 3076 :

- 1^{er} pallier : solution de sulfate d'ammonium
- 2^{ème} pallier : solution de nitrate d'ammonium
- 3^{ème} pallier : solution de nitrate d'ammonium
- 4^{ème} pallier : solution de sulfate d'ammonium
- 5^{ème} pallier : mélange sulfate et nitrate d'ammonium

La Figure 10 présente les niveaux de concentration PM_1 injectés dans les ACSM.

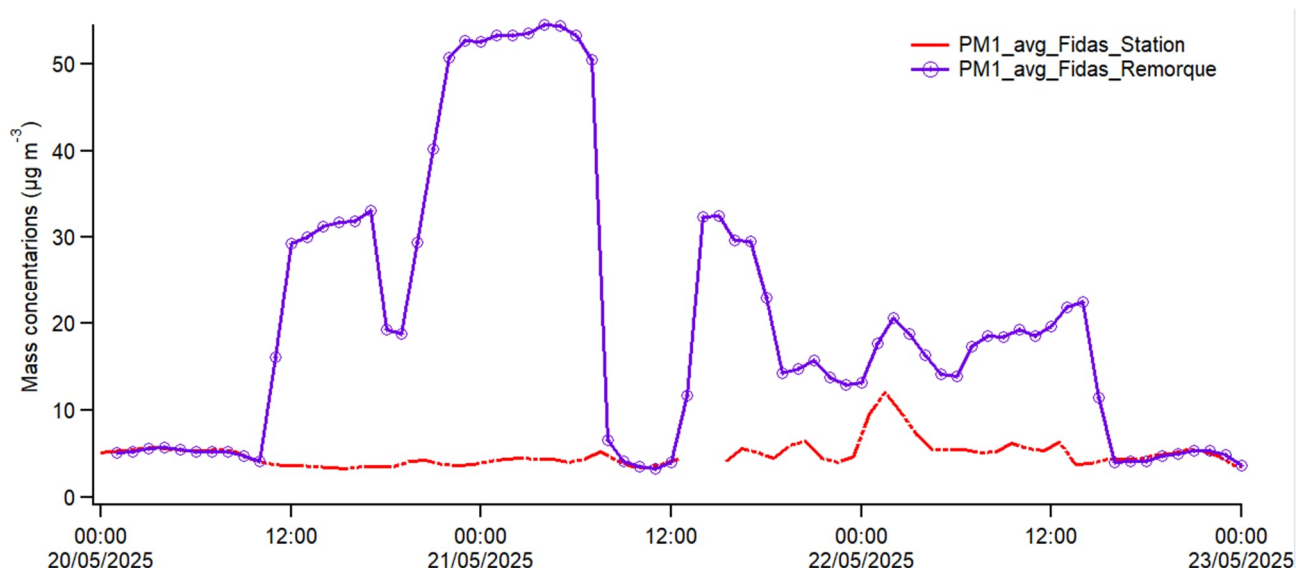


Figure 7 : Évolution temporelle des concentrations massiques de PM_1 mesurées par le FIDAS de la remorque lors de l'exercice de dopage, ainsi que le FIDAS de la station SIRTÀ

La figure 11 représente les mesures de NO_3 , SO_4 , NH_4 et Org réalisées par chaque ACSM lors du dopage avec des particules de sulfate d'ammonium (AS) et de nitrate d'ammonium (AN).

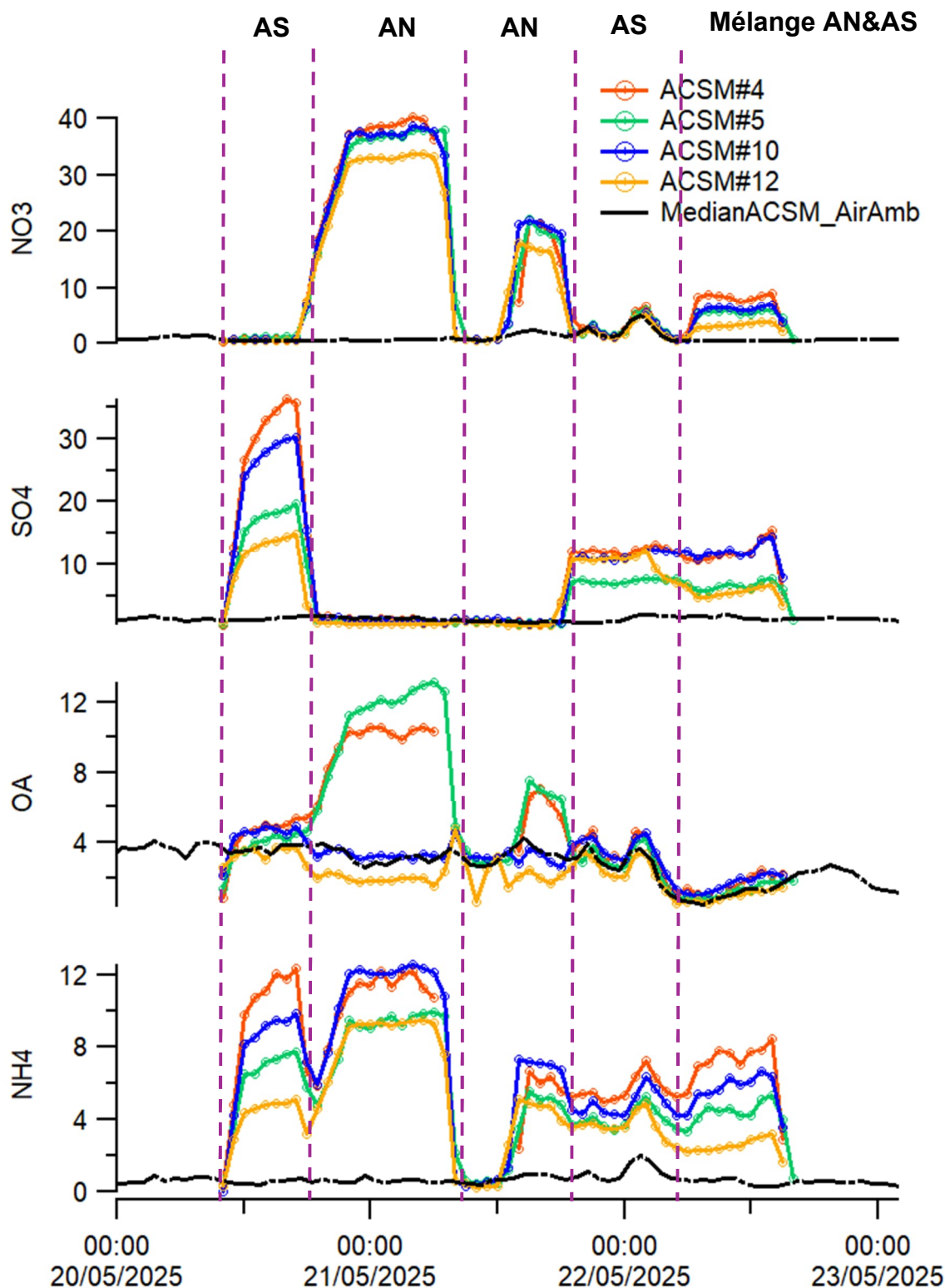


Figure 11 : Évolution temporelle des concentrations des principales espèces d'aérosols submicroniques non réfractaires (NR-PM₁) lors de l'exercice de dopage

Cette figure montre que le premier niveau de sulfate d'ammonium (AS) présente une instabilité au cours du temps, contrairement au deuxième niveau d'AS, et met en évidence des différences significatives entre les instruments. Ces différences dans les niveaux de concentration d'AS entre les quatre instruments pourraient être liées à la détermination du RIE SO₄, qui nécessite une investigation approfondie dans le futur, notamment concernant l'étalonnage du sulfate d'ammonium. En revanche, le niveau de nitrate d'ammonium (AN) apparaît stable et cohérent d'un instrument à l'autre.

On observe toutefois une concentration organique (Org) marquée pour les ACSM 4 et 5, probablement attribuée à l'effet Pieber (cf chapitre 6.3), qui disparaît lorsque les mesures sont réalisées en présence d'un mélange de solutions correspondant à de faibles concentrations d'AN. Ces résultats concernant l'effet Pieber sont cohérents avec les calculs de cet artefact présentés dans le Tableau 3.

En perspective, il est nécessaire de poursuivre les tests de dopage afin de mieux comprendre et valider ces premières observations, de développer les connaissances sur l'effet Pieber ainsi que sur la détermination des paramètres d'étalonnage, en particulier celui du sulfate. D'autres perspectives incluent l'étude de l'influence de la variation de la température de vaporisation (T_{vap}) et la réalisation de l'étalonnage à l'aide de ce système de dopage.

10 Conclusions et perspectives

Ce rapport présente une synthèse des résultats de la campagne d'étalonnage et de comparaison interlaboratoires des 11 ACSM des AASQA, organisée par le LCSQA du 5 mai au 3 juin 2025 au sein de l'ACMCC, sur le site du SIRTÀ.

Cette campagne a permis de vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble des ACSM des AASQA installés en France, de procéder à leur étalonnage et de comparer leurs performances de mesure. À l'issue de cet exercice, les nouveaux paramètres d'étalonnage obtenus ont été configurés sur les instruments.

Cette campagne a également permis, avec l'appui de nos partenaires Aerodyne et Addair, de réaliser des opérations de maintenance sur les instruments. Elle offre l'occasion de vérifier l'harmonisation des procédures d'assurance qualité/contrôle qualité (QA/QC), l'analyse et la validation des données.

Globalement, pour la comparaison en air ambiant, les instruments ont montré une bonne concordance avec la médiane des ACSM participants pour l'ensemble des espèces mesurées (Org, NO_3 , SO_4 , NH_4 et Cl). L'analyse des Z-scores indique des performances satisfaisantes : l'ensemble des Z-scores moyens sont $|z| \leq 2$, témoignant du bon fonctionnement des instruments. À l'exception de l'instrument n°3, ayant présenté des problèmes techniques, et qui est resté à l'ACMCC afin de faire l'objet d'investigations complémentaires menées par Addair et Aerodyne.

De plus, des tests de dopage ont été réalisés sur les ACSM installés dans la remorque afin de vérifier la cohérence des réponses des différents ACSM et de comparer les instruments sur différentes plages de concentration à l'aide de solutions de nitrate d'ammonium et de sulfate d'ammonium. Des différences dans les niveaux de concentration en AS ont été observées, ce qui pourrait être lié à la détermination du RIE SO_4 ; cela nécessite des investigations futures, notamment en ce qui concerne l'étalonnage du sulfate. Des concentrations significatives en matière organique ont été observées pour deux ACSMs, probablement attribuables à l'effet Pieber, ce qui nécessite la poursuite de ces tests afin d'approfondir notre compréhension de cet effet.

Enfin, cette campagne a permis de mettre en œuvre des procédures d'export en temps réel pour les matrices organiques, destinées à identifier les sources d'aérosols organiques sur tous les sites équipés d'ACSM. L'objectif est de suivre les sources de particules fines en temps quasi réel, dans le cadre des objectifs du programme CARA.

11 Références

- Baltzer, S., Onel, S., Weiss, M., & Seipenbusch, M. (2014). Counting efficiency measurements for a new condensation particle counter. *Journal of aerosol science*, 70, 11-14.
- Crenn, V., Sciare, J., Croteau, L., Verlhac, S., Fröhlich, R., Belis, A., ... & Baisnée, D. (2015). ACTRIS ACSM intercomparison–Part 1: Reproducibility of concentration and fragment results from 13 individual Quadrupole Aerosol Chemical Speciation Monitors (Q-ACSM) and consistency with co-located instruments. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2015, 8 (12), pp.5063 - 5087.
- Fernandez-Espinoso, A.J., Rodriguez, M.T., Rosa, F.J.B.d.I, Sanchez, J.C.J., 2001. Size distribution of metals in urban aerosols in Seville (Spain). *Atmos. Environ.* 35, 2595–2601.
- Freney, E., Zhang, Y., Croteau, P., Amodeo, T., Williams, L., Truong, F., ... & Arumae, T. (2019). The second ACTRIS inter-comparison (2016) for Aerosol Chemical Speciation Monitors (ACSM): Calibration protocols and instrument performance evaluations. *Aerosol Science and Technology*, 53(7), 830-842.
- Hieu, N.T., Lee, B.-K., 2010. Characteristics of particulate matter and metals in the ambient air from a residential area in the largest industrial city in Korea. *Atmos. Res.* 98, 526–537.
- LCSQA, 2012 : Rapport Ineris DRC-12-126710-14189A, Système de génération des particules pour les comparaisons inter laboratoires PM, Aujay R., 2012
- LCSQA, 2016 : Rapport Ineris DRC-16-152318-06089A « Développement d'un système de dopage PM pour la réalisation de comparaisons inter laboratoires des analyseurs automatiques des PM », Amodeo T., Aujay R., 2016
- LCSQA, 2020 : Rapport Ineris-201695-2720052, Amélioration du système de dopage de PM en matrice réelle air ambient, Spinelle L, 2020.
- Liu, P. S., Deng, R., Smith, K. A., Williams, L. R., Jayne, J. T., Canagaratna, M. R., Moore, K., Onasch, T. B., Worsnop, D. R., and Deshler, T.: Transmission efficiency of an aerodynamic focusing lens system: comparison of model calculations and laboratory measurements for the Aerodyne Aerosol Mass Spectrometer, *Aerosol Sci. Tech.*, 41, 721–733, 2007.
- Manoli, E., Voutsas, D., Samara, C., 2002. Chemical characterization and source identification/apportionment of fine and coarse air particles in Thessaloniki, Greece. *Atmos. Environ.* 36, 949–961.
- Middlebrook, A. M., Bahreini, R., Jimenez, J. L., and Canagaratna, M. R.: Evaluation of composition-dependent collection efficiencies for the Aerodyne Aerosol Mass Spectrometer using field data, *Aerosol Sci. Tech.*, 46, 258–271, doi:10.1080/02786826.2011.620041, 2012.
- Wiedensohler, A.; Birmili, W.; Nowak, A.; Sonntag, A.; Weinhold, K.; Merkel, M.; Wehner, B.; Tuch, T.; Pfeifer, S.; Fiebig, M.; Fjaraa, A. M.; Asmi, E.; Sellegri, K.; Depuy, R.; Venzac, H.; Villani, P.; Laj, P.; Aalto, P.; Ogren, J. A.; Swietlicki, E.; Williams, P.; Roldin, P.; Quincey, P.; Hüglin, C.; Fierz-Schmidhauser, R.; Gysel, M.; Weingartner, E.; Riccobono, F.; Santos, S.; Gruning, C.; Faloon, K.; Beddows, D.; Harrison, R. M.; Monahan, C.; Jennings, S. G.; O'Dowd, C. D.; Marinoni, A.; Horn, H. G.; Keck, L.; Jiang, J.; Scheckman, J.; McMurry, P. H.; Deng, Z.; Zhao, C. S.; Moerman, M.; Henzing, B.; de Leeuw, G.; Loschau, G.; Bastian, S. Mobility Particle Size Spectrometers: Harmonization of Technical Standards and Data Structure To Facilitate High Quality Long-Term Observations of Atmospheric Particle Number Size Distributions. *Atmos. Meas. Technol.* 2012, 5, 657–685.
- Xu, W., A. Lambe, P. Silva, W. Hu, T. Onasch, L. Williams, P. Croteau, X. Zhang, and L. Renbaum-Wolff. 2018. Laboratory evaluation of species-dependent relative AEROSOL SCIENCE AND TECHNOLOGY 841 ionization efficiencies in the aerodyne aerosol mass spectrometer. *Aerosol. Sci. Technol.* 52:626–41.

- Amodeo, T., 2021. Cahier des charges pour l'étalonnage des ACSM | LCSQA [WWW Document]. URL <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/cahier-des-charges-pour-letalonnage-des-acsm> (accessed 7.22.24).
- Amodeo, T., 2018. Guide méthodologique : mesure de la composition chimique des particules submicroniques non réfractaires par Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) | LCSQA [WWW Document]. URL <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2016/ienris/guide-methodologique-mesure-composition-chimique-particules-submicroniques-non-0> (accessed 3.26.24).
- Favez, O., Weber, S., Petit, J.-E., Alleman, L.Y., Albinet, A., Riffault, V., Chazeau, B., Amodeo, T., Salameh, D., Zhang, Y., Srivastava, D., Samaké, A., Aujay-Plouzeau, R., Papin, A., Bonnaire, N., Boullanger, C., Chatain, M., Chevrier, F., Detournay, A., Dominik-Sègue, M., Falhun, R., Garbin, C., Gherzi, V., Grignion, G., Levigoureux, G., Pontet, S., Rangognio, J., Zhang, S., Besombes, J.-L., Conil, S., Uzu, G., Savarino, J., Marchand, N., Gros, V., Marchand, C., Jaffrezo, J.-L., Leoz-Garziandia, E., 2021. Overview of the French Operational Network for In Situ Observation of PM Chemical Composition and Sources in Urban Environments (CARA Program). *Atmosphere* 12, 207. <https://doi.org/10.3390/atmos12020207>
- Freney, E., Zhang, Y., Croteau, P., Amodeo, T., Williams, L., Truong, F., Petit, J.-E., Sciare, J., Sarda-Esteve, R., Bonnaire, N., Arumae, T., Aurela, M., Bougiatioti, A., Mihalopoulos, N., Coz, E., Artinano, B., Crenn, V., Elste, T., Heikkinen, L., Poulain, L., Wiedensohler, A., Herrmann, H., Priestman, M., Alastuey, A., Stavroulas, I., Tobler, A., Vasilescu, J., Zanca, N., Canagaratna, M., Carbone, C., Flentje, H., Green, D., Maasikmets, M., Marmureanu, L., Minguillon, M.C., Prevot, A.S.H., Gros, V., Jayne, J., Favez, O., 2019. The second ACTRIS inter-comparison (2016) for Aerosol Chemical Speciation Monitors (ACSM): Calibration protocols and instrument performance evaluations. *Aerosol Science and Technology* 53, 830–842. <https://doi.org/10.1080/02786826.2019.1608901>
- Ng, N.L., Herndon, S.C., Trimborn, A., Canagaratna, M.R., Croteau, P.L., Onasch, T.B., Sueper, D., Worsnop, D.R., Zhang, Q., Sun, Y.L., Jayne, J.T., 2011. An Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) for Routine Monitoring of the Composition and Mass Concentrations of Ambient Aerosol. *Aerosol Science and Technology* 45, 780–794. <https://doi.org/10.1080/02786826.2011.560211>
- Pieber, S.M., El Haddad, I., Slowik, J.G., Canagaratna, M.R., Jayne, J.T., Platt, S.M., Bozzetti, C., Daellenbach, K.R., Fröhlich, R., Vlachou, A., Klein, F., Dommen, J., Miljevic, B., Jiménez, J.L., Worsnop, D.R., Baltensperger, U., Prévôt, A.S.H., 2016. Inorganic Salt Interference on CO₂⁺ in Aerodyne AMS and ACSM Organic Aerosol Composition Studies. *Environ. Sci. Technol.* 50, 10494–10503. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01035>
- Ustache, A., 2021. Guide : Guide méthodologique pour la mesure de la concentration en nombre des particules dans l'air ambiant par un compteur à noyaux de condensation | LCSQA [WWW Document]. URL <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/guide-guide-methodologique-pour-la-mesure-de-la-concentration-en-nombre-des-particules-dans> (accessed 7.22.24).
- Xu, W., Lambe, A., Silva, P., Hu, W., Onasch, T., Williams, L., Croteau, P., Zhang, X., Renbaum-Wolff, L., Fortner, E., Jimenez, J.L., Jayne, J., Worsnop, D., Canagaratna, M., 2018. Laboratory evaluation of species-dependent relative ionization efficiencies in the Aerodyne Aerosol Mass Spectrometer. *Aerosol Science and Technology* 52, 626–641. <https://doi.org/10.1080/02786826.2018.1439570>

12 Glossaire

Abréviations	Libellés
Cn	Total particle number concentration (P/cm ³)
IE	Ionization Efficiency
RIE	Relative Ionization Efficiency
Q-ACSM	Quadrupole Aerosol Chemical Speciation Monitor
CV	Coefficient of variation (%)
DAQ	Data acquisition system of Q-ACSM
CPC	Condensation Particle Counter
NR-PM1	Non-Refractory Particulate Matter ($\leq 1\mu\text{m}$)
eBC	equivalent Black Carbon
ACMCC	Aerosol Chemical Monitor Calibration Center
SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer
DMA	Differential Mobility Analyzer
CPMA	Centrifugal Particle Mass Analyser

13 Liste des annexes

Annexes	Titres
Annexe 1	Mesures des blancs et calcul des limites de détection
Annexe 2	Résultats de la CIL

Annexe 1 : Mesures des blancs et calcul des limites de détection

Le bruit de l'instrument a été estimé pour chaque espèce chimique en calculant, pour chaque instrument, l'écart type des mesures pendant la période de blanc. Les limites de détection (LoD) de l'ACSM ont été définies comme étant égales à trois fois l'écart type (3σ).

Les mesures de blanc pour chaque instrument sont présentées dans la Figure A1.

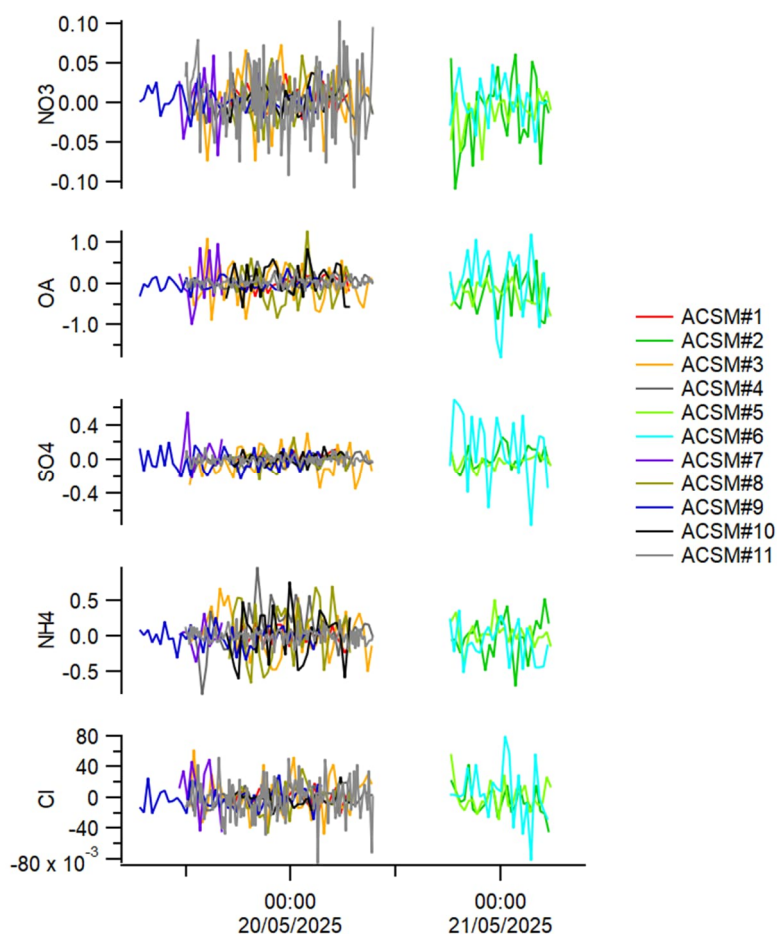


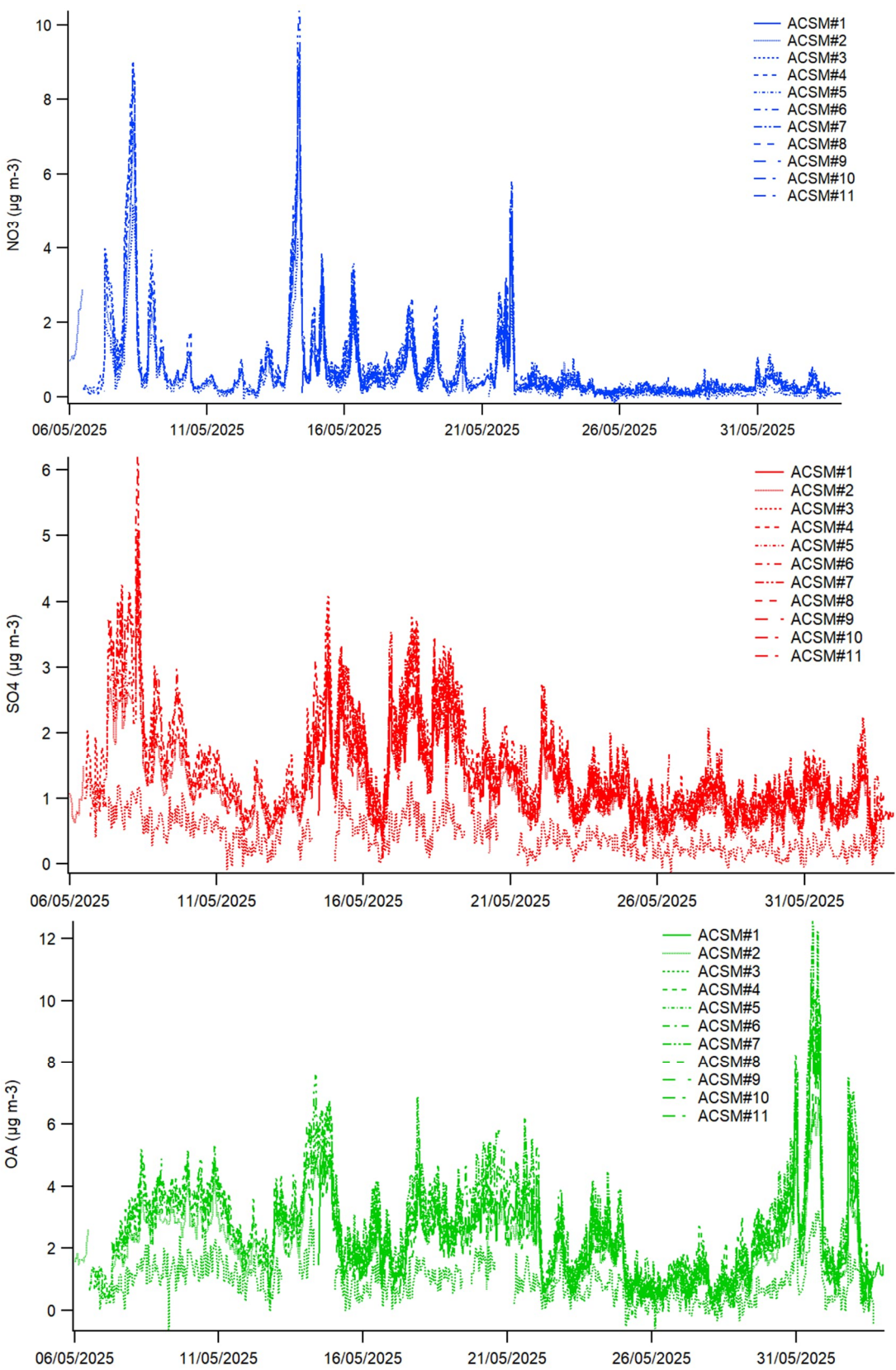
Figure A1 : Mesures de blanc pour chaque espèce chimique.

Le tableau A1 présente les limites de détection (LoD) de chaque ACSM pour chaque espèce chimique.

Tableau A1 : Les limites de détection (LoD), calculées à partir des mesures blancs effectuées pendant la CIL, pour chaque ACSM et chaque espèce chimique.

	OA	SO4	NO3	NH4	Cl
ACSM#1	0.253	0.062	0.021	0.165	0.014
ACSM#2	0.699	0.184	0.071	0.424	0.029
ACSM#3	0.669	0.239	0.051	0.438	0.038
ACSM#4	0.252	0.088	0.021	0.449	0.019
ACSM#5	0.412	0.109	0.035	0.261	0.029
ACSM#6	1.151	0.590	0.039	0.399	0.054
ACSM#7	0.962	0.320	0.058	0.269	0.048
ACSM#8	0.697	0.158	0.045	0.622	0.028
ACSM#9	0.225	0.174	0.024	0.207	0.021
ACSM#10	0.590	0.102	0.025	0.509	0.014
ACSM#11	0.160	0.070	0.061	0.141	0.036

Annexe 2 : Résultats de la CIL



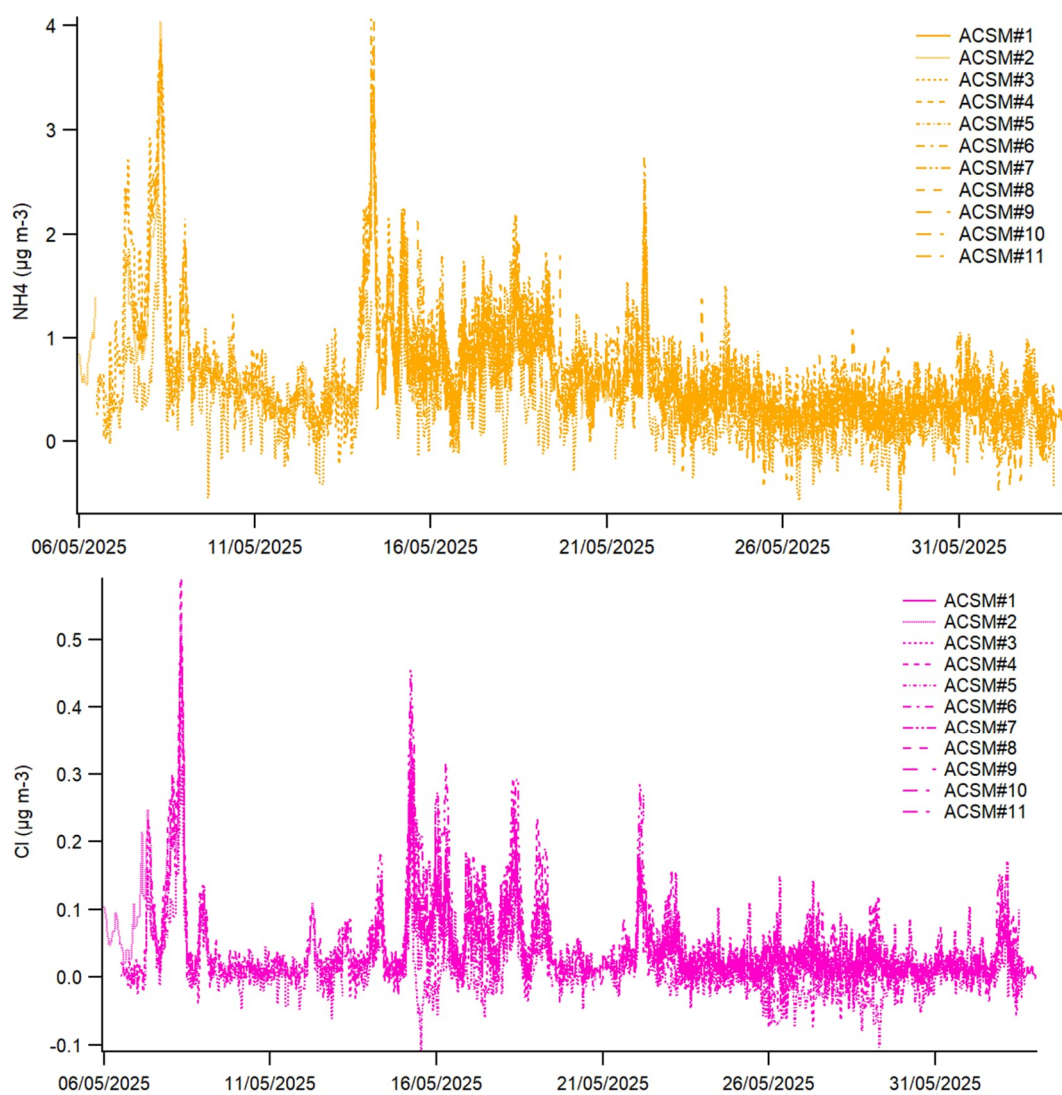


Figure A2 : Evolutions temporelles de chaque ACSM pour chaque espèce chimique lors de la CIL mai 2025

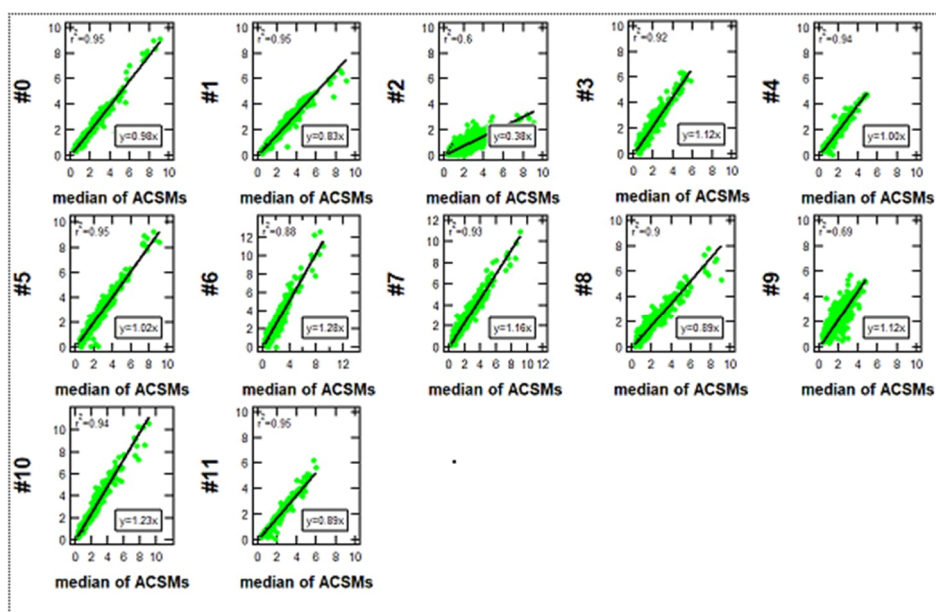


Figure A3 : Concentrations en matière organique mesurées par chaque ACSM participant, comparées à la médiane des instruments. Les lignes pointillées noires représentent la droite $y=x$.

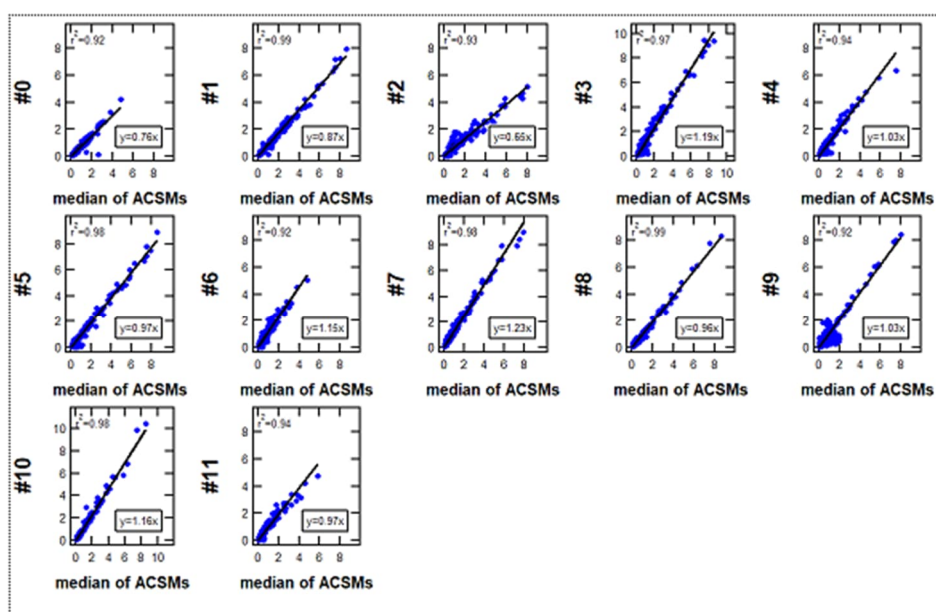


Figure A4 : Concentrations en nitrate mesurées par chaque ACSM participant, comparées à la médiane des instruments. Les lignes pointillées noires représentent la droite $y=x$.

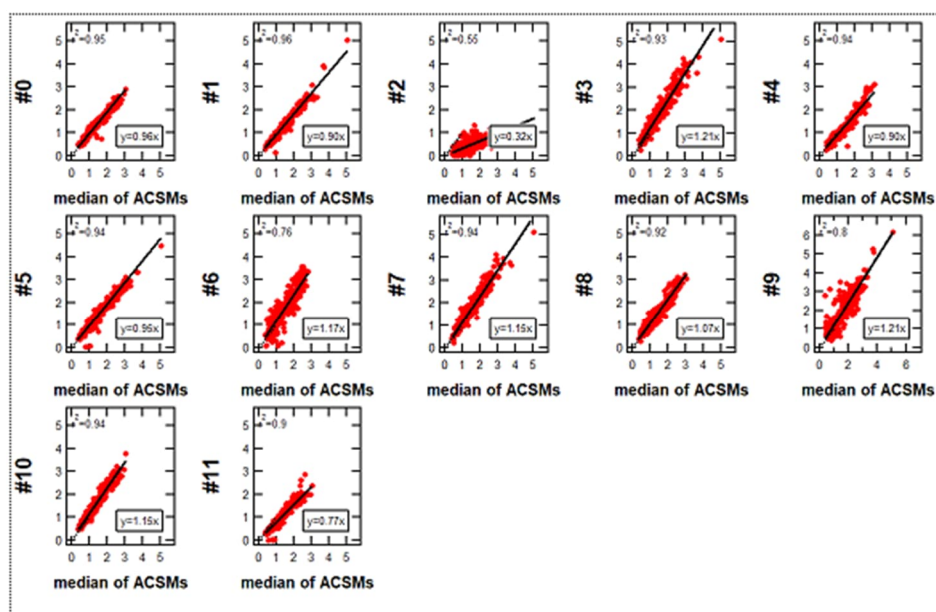


Figure A5 : Concentrations en sulfate mesurées par chaque ACSM participant, comparées à la médiane des instruments. Les lignes pointillées noires représentent la droite $y=x$.

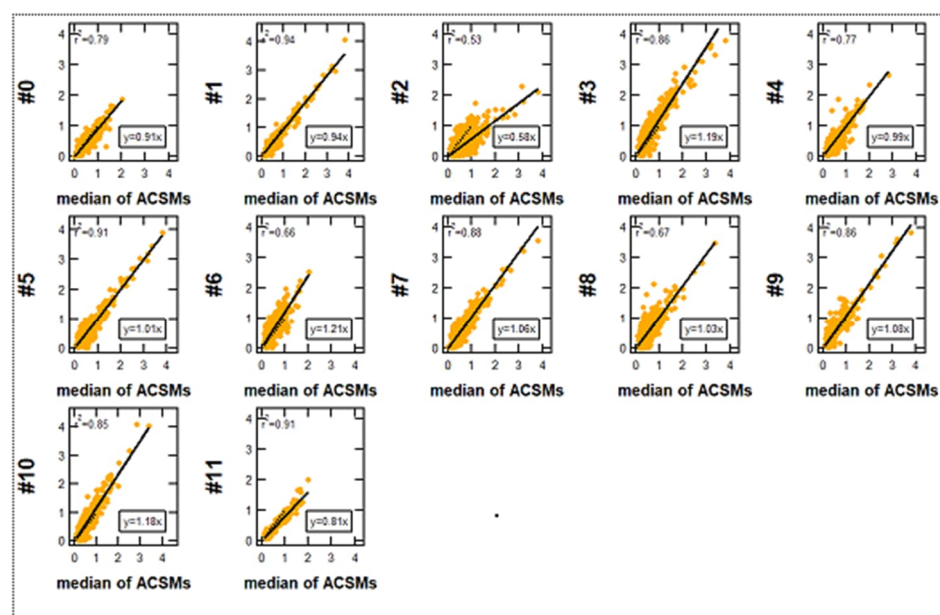


Figure A6 : Concentrations en ammonium mesurées par chaque ACSM participant, comparées à la médiane des instruments. Les lignes pointillées noires représentent la droite $y=x$.

Tableau A2 : Correspondance entre les ACSM, leurs numéros de série et les noms des stations.

	N° série ACSM	Nom site
ACSM#1	140-113	SIRTA
ACSM#2	140-173	Lyon
ACSM#3	140-176	Reims
ACSM#4	140-200	Poitiers
ACSM#5	140-202	Talence
ACSM#6	140-204	Paris les Halles
ACSM#7	140-225	Strasbourg
ACSM#8	140-227	BPEst
ACSM#9	140-233	Grenoble
ACSM#10	140-234	Toulouse
ACSM#11	140-290	Rouen
ACSM#12	027	Marseille

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est un groupement d'intérêt scientifique créé en 2005 et constitué des laboratoires de l'IMT Nord Europe, de l'Ineris et du LNE. Depuis 1991, ses équipes d'experts mènent des études et des recherches sur la qualité de l'air, en appui au ministère chargé de l'environnement, et en étroite collaboration avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Le LCSQA est désigné par le ministère pour assurer la coordination technique nationale du dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France. Il est également l'organisme de référence requis par les directives européennes et ses missions sont définies par l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

L'objectif principal du LCSQA est ainsi de contribuer à l'amélioration continue du dispositif de surveillance en apportant un appui scientifique et technique au ministère et aux AASQA.

Ses travaux portent, d'une part, sur l'ensemble de la chaîne de surveillance : la qualité des mesures en air ambiant (du prélèvement à l'analyse), les inventaires d'émissions, la modélisation des concentrations et leur cartographie, la centralisation ainsi que le traitement et la mise à disposition des données, et d'autre part, sur les méthodes d'évaluation des plans d'actions. Cette action s'inscrit à la fois dans le cadre des réglementations nationales et européennes, et dans une démarche prospective visant à anticiper les besoins de la surveillance de demain.

Direction du LCSQA

Ineris - Parc technologique Alata 2 -
BP2 - F60550 Verneuil-en-Halatte
Tél : 03 44 55 69 16

www.lcsqa.org