



(ID Modèle = 454988)

Ineris - 234217 - 2851678 - v1.0

02/02/2026

**Analyse critique des méthodologies appliquées
pour le contrôle de chrome VI dans un rejet à
l'atmosphère du site de saint Nazaire**

Airbus Atlantic

PRÉAMBULE

Le présent document a été établi sur la base des informations transmises à l'Ineris. 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 fournies.

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 présent document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La prestation ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser le document après cette date.

L'établissement du présent document et la prestation associée sont réalisés dans le cadre d'une obligation de moyens.

Au vu de la mission qui incombe à l'Ineris au titre de l'article R131-36 du Code de l'environnement, celui-ci n'est pas décideur. Ainsi, les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre de cette prestation ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur. 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 présent 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 toute utilisation du document en dehors de son objet.

En cas de contradiction entre les conditions générales de vente et les stipulations du présent préambule, les stipulations du présent préambule prévalent sur les stipulations des conditions générales de vente.

Nom de la Direction en charge du rapport : Milieux et Impacts sur le Vivant

Rédaction : RAVENTOS Cécile

Vérification : FRABOULET Isaline

Approbation : Document approuvé le 02/02/2026 par MORIN ANNE

Table des matières

Glossaire et symboles	6
1 Contexte et objectif	7
2 Eléments examinés.....	7
3 Règlementation applicable à l'installation pour les émissions de chrome VI.....	8
4 Caractéristiques des installations visées par la surveillance du chrome VI.....	8
4.1 Caractéristiques des installations pouvant impacter les mesures de Cr VI et de vitesse.....	8
4.2 Caractéristiques fournies dans les rapports pour les installations de peinture contrôlées	9
5 Stratégie de mesurages : nombre et durée de mesurage, méthode de mesurage du chrome VI, rapportage	9
5.1 Nombre et durée de mesurage.....	10
5.1.1 Durée de mesurage	10
5.1.2 Nombre de mesurages	12
5.2 Méthodes de mesurage du chrome VI.....	12
5.2.1 Méthodes de mesurage mises en œuvre pour les installations de peinture sur le site Airbus.....	12
5.2.2 Norme XP X 43-136 (2013) « Détermination de la concentration en chrome VI hydrosoluble »	13
5.2.3 Méthodes citées en annexe A de la norme XP X 43-136 pour des mesurages en présence de particules.....	14
5.2.4 Analyse de la mise en œuvre des contrôles par les organismes de contrôle.....	16
5.3 Modalités de rapportage des résultats.....	18
6 Mesurage du chrome total	20
7 Incertitudes de mesure	20
8 Conclusion	22
9 Annexes.....	26
Figure 1 : Expression des résultats en fonction de la valeur du blanc de site – cas général lorsque le critère fixé sur la LQ < 20% VLE	19

Résumé

Airbus Atlantic est soumis, sur son site de Saint-Nazaire, à une surveillance périodique des rejets de Cr VI liés aux activités de peinture à base de chromates. En août 2025, deux organismes de prélèvement ont réalisé des mesures simultanées sur quatre rejets, révélant des écarts significatifs. L'Ineris a été sollicité pour réaliser une analyse critique des mesurages mis en œuvre afin d'essayer d'identifier les sources d'écarts.

Éléments examinés :

- 8 rapports de contrôles réglementaires des cabines de peinture mis en œuvre par 3 organismes de prélèvement,
- des référentiels relatifs aux mesurage du chrome VI et du chrome total,
- arrêté préfectoral fixant la VLE en flux pour les cabines de peinture du site (0,3 g/h pour la somme des émissaires).

Constats principaux :

- La variabilité entre les résultats peut être imputable à :
 - de légères différences dans la détermination des dimensions des conduits pouvant impacter le calcul du débit-volume, donc du flux,
 - des écoulements qui peuvent ne pas être uniformes ce qui peut augmenter le biais de mesurage du débit-volume et du Cr VI,
 - des méthodologies appliquées différentes de la norme française XP X 43-136 et différentes entre elles pour le prélèvement ; des méthodes d'analyses potentiellement différentes également (non détaillées dans les bulletins d'analyse joints aux rapports) ;
 - une VLE définie en flux global pour 8 émissaires, ce qui requiert de définir une méthodologie pour évaluer la LQ de mesure qu'il conviendrait d'atteindre afin que celle-ci soit « suffisamment » basse au regard de la VLE ;
 - des limites de quantification :
 - différentes selon les laboratoires d'analyse mais aussi en raison de conditions opératoires différentes pendant le prélèvement ;
 - élevées au regard de la VLE, et dont l'abaissement est notamment contraint par les conditions de production qui conduisent à des durées de prélèvement limitées ;
 - un impact des écarts de LQ de mesure sur les résultats accentué par les règles de rapportage des mesures < LQ.
- L'incertitude associée aux mesures comprenant les contributions du prélèvement et de l'analyse n'est pas fournie dans les rapports d'essais ; mais sur la base des incertitudes d'analyse (quand elles sont transmises dans les bulletins d'analyse intégrés aux rapports d'essais), l'incertitude élargie de mesure relative est au moins égale à celle de l'analyse soit au moins 35 % pour les niveaux de concentration les plus bas mesurés, auxquels s'ajoute une variabilité (non quantifiable) liée aux différences de méthodologies appliquées ;
- La norme XP X 43-136 pour le mesurage du Cr VI dans les rejets à l'atmosphère est prévue pour des effluents sans particules, ce qui explique sans doute l'application d'une autre méthodologie ou d'une adaptation par les 3 organismes de prélèvement ; sa révision, démarrée en 2025, prévoit d'élargir le domaine d'application aux effluents contenant des particules, mais les conditions de mise en œuvre sont encore en cours de discussion ;
- L'absence d'harmonisation des descriptions des conditions de fonctionnement pendant les mesurages, rapportées par les organismes de prélèvement, ce qui ne permet pas de s'appuyer sur le niveau d'activité pendant les contrôles pour comparer les concentrations mesurées ;
- Mesurage du chrome total couvert par un agrément : la mise en œuvre du mesurage du chrome total est facilitée par rapport à celle du chrome VI dans la mesure où il n'est pas nécessaire de prendre des précautions de stabilisation pour le chrome total ; mais d'autres points de vigilance sont requis (efficacité de piégeage, teneur en chrome dans les filtres - cf. §6), et la LQ d'analyse n'est pas plus basse.

Une harmonisation des méthodes de prélèvement et d'analyse, une optimisation des conditions de prélèvement, l'allongement des durées de peinture pendant les contrôles si cela est possible, la transmission aux organismes de prélèvement des conditions de production exprimées de la même façon, contribueraient à améliorer la fiabilité et la comparabilité des mesures. L'avancement des travaux de révision de la XP X 43-136 est nécessaire pour disposer d'une méthode de mesurage adaptée aux effluents contenant des particules.

Pour citer ce document :

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Analyse critique des méthodologies appliquées pour le contrôle du chrome VI dans un rejet à l'atmosphère du site de Saint Nazaire, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 234217 - 2851678 - v1.0, 02/02/2026.

Mots-clés :

Surveillance des rejets à l'atmosphère, Chrome VI

Glossaire et symboles

Glossaire

CIL : comparaison interlaboratoires

Cr VI : chrome hexavalent

Cr total : chrome totale

EPA : Environmental Protection Agency

ICPE : installation classée pour la protection de l'environnement

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

LQ d'analyse : limite de quantification de l'analyse

LQ de mesure : limite de quantification de la mesure

PVC : Polychlorure de vinyle

PTFE : Polytétrafluoroéthylène

VLE : valeur limite d'émission

Symbole

m_0^3 : normaux mètres cubes, c'est-à-dire mètres cubes aux conditions normales de température et de pression (273,15 K - 101,325 kPa)

1 Contexte et objectif

Sur son site de Saint-Nazaire (Loire-Atlantique), la société Airbus Atlantic est assujettie à une surveillance des rejets à l'atmosphère de chrome hexavalent (désigné Cr VI dans la suite du document) pour ses activités de peinture à base de chromates.

A la suite de mesurages de Cr VI dans quatre rejets à l'atmosphère en août 2025, par deux organismes de prélèvement intervenus simultanément, la société Airbus Atlantic a sollicité l'Ineris pour une expertise des résultats qui présentent des écarts significatifs pour certains (cf. résultats en annexe A).

Afin d'essayer de comprendre l'origine des écarts entre les mesures des essais mis en œuvre en août 2025, il a été proposé de réaliser une analyse critique de la méthodologie appliquée par chaque organisme de prélèvement lors de ces essais, au regard des informations fournies dans les rapports, des exigences des référentiels normatifs décrivant des méthodes de mesurage du Cr VI, de la stratégie de mesurages appliquée, et des caractéristiques des rejets (offre Ineris - 234217 - 2842698 - v1.0).

La demande a ensuite été élargie (mail de Madame Moulin du 24/10/2025) à l'examen des différents rapports émis en 2025, par les deux laboratoires, ainsi que par un troisième organisme de prélèvement qui intervenait en 2021-2022, afin d'avoir un aperçu plus complet des pratiques de surveillance périodique des rejets à l'atmosphère en Cr VI.

Il a également été demandé de fournir des éléments sur la méthode de mesurage du chrome total et sa robustesse par rapport à la méthode de mesurage du Cr VI.

2 Eléments examinés

Pour l'analyse critique des mesurages mis en œuvre, les documents suivants ont été transmis par la société Airbus Atlantic :

- Arrêté Préfectoral NZ 2018 08 02 n° 2018
- Rapports des mesurages effectués le 29 août par deux organismes de prélèvement simultanément (désignés par Labo1 et Labo 2) dans la suite du rapport
- Autres rapports émis pour des contrôles réalisés en 2025 par les organismes de prélèvement Labo 1 et Labo 2 : rapports d'avril, mai et septembre 2025 ;
- Rapports émis l'organisme de prélèvement Labo 3 en avril 2021 et en octobre 2022.

L'analyse critique repose par ailleurs sur les dispositions prévues par :

- La norme XP X 43-136 (2013) - *Emissions de sources fixes - Détermination de la concentration en chrome VI hydrosoluble*. Cette norme est en cours de révision
Elle recommande de s'appuyer sur des méthodes US EPA, California EPA et Métropol de l'INRS en présence de particules dans les effluents. Les dispositions de ces référentiels ont également été examinées.
- La norme NF X 43-551 (2021) - *Emissions de sources fixes - Exigences spécifiques de mesurage (ressources, processus de mise en œuvre, rapportage)*.

Comme indiqué dans son intitulé, cette norme fixe les dispositions pour la stratégie de mesurage et pour le rapportage des résultats des mesurages.

- La norme NF EN 14385 (2024) - *Émissions de sources fixes - Détermination de l'émission totale de As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl et V*

Note : la dernière version de la norme a été publiée en décembre 2024. Les organismes de prélèvement et les laboratoires d'analyse ont jusqu'au 16 mai 2026 pour sa mise en application (version mise à jour dans l'Avis sur les méthodes normalisées de référence pour les mesures dans l'air, l'eau et les sols dans les installations classées pour la protection de l'environnement du 16 mai 2025). Avant cette date, la version de 2004 peut encore être appliquée.

Des tableaux résumant les principaux résultats sont fournis en annexe A, par installation contrôlée.

3 Règlementation applicable à l'installation pour les émissions de chrome VI

L'Arrêté préfectoral NZ 2018 08 02 n° 2018 indique dans son article 3.2.2.3, pour les composés du Cr VI liés à l'activité de peinture :

« Les émissions atmosphériques de composés du chrome VI (chromates de strontium, chromates de zinc...etc) issues des activités de peinture sont maintenues en permanence au déçà d'un flux horaire maximal, pour l'ensemble des émissaires, inférieur à 0,3 g/h (exprimé en chrome VI).

Une campagne annuelle de mesure de rejets est réalisée dans des conditions représentatives d'une utilisation maximale simultanée de peintures à base de chromates sur l'ensemble du site afin de vérifier le respect du flux maximal horaire de chrome VI autorisé. ».

L'article 9.2.1 prévoit une surveillance annuelle du flux horaire en Cr VI.

Commentaire

La valeur limite d'émission (VLE) est fixée sur le flux horaire total de Cr VI émis par l'ensemble des émissaires. Il n'est pas défini de VLE en concentration.

Les émissaires visés par la VLE sont les suivants : cabines SIMA, Sunkiss 1 Nord, Sunkiss 1 Sud, Sunkiss 2 Nord, Sunkiss 2 Sud, Sunkiss 3, Michaud et Kremlin soit 8 rejets.

L'étuve SIMA contrôlé en août par les deux organismes simultanément n'est pas incluse dans la somme des flux.

4 Caractéristiques des installations visées par la surveillance du chrome VI

NOTE : Seules les installations visées par la VLE et l'étuve SIMA (car ayant fait l'objet de mesures comparatives par 2 organismes de prélèvement simultanément) sont décrites.

Les caractéristiques décrites dans le présent document sont issues des rapports examinés.

4.1 Caractéristiques des installations pouvant impacter les mesures de Cr VI et de vitesse

Les caractéristiques des installations : configuration, fonctionnement, peuvent impacter les mesures.

Représentativité de la mesure

Le Cr VI émis lors de l'application des peintures pouvant se présenter sous forme d'aérosols (particules solides ou vésicules), les mêmes dispositions que pour le prélèvement de particules s'appliquent. Afin d'assurer un prélèvement représentatif de ces aérosols, c'est-à-dire sans en modifier la distribution granulométrique, un prélèvement isocinétique¹ est requis.

De plus pour le prélèvement de composés particulaires comme pour le mesurage de vitesse/débit-volume des gaz, l'écoulement doit être aussi uniforme que possible, sans turbulences (cf. NF EN 15259²). Les concentrations doivent être aussi homogènes que possible. Il est considéré que ces conditions peuvent être obtenues lorsque :

- La longueur droite sans obstacle (coude, ventilateur, aube ...) en amont de la section de mesurage est égale à au moins 5 diamètres hydrauliques
- La longueur droite sans obstacle en aval de la section de mesurage est égale à au moins 2 diamètres hydrauliques, ou 5 diamètres hydrauliques dans le cas d'un débouché à l'atmosphère.

Enfin le mesurage doit être réalisé par exploration de la section en plusieurs points dont le nombre minimal et l'emplacement sont définis dans la norme NF EN 15259.

¹ Débit de prélèvement tel que la vitesse en entrée de sonde de prélèvement soit la même que dans le conduit

² NF EN 15259: Qualité de l'air - Mesurage des émissions de sources fixes - Exigences relatives aux sections et aux sites de mesurage et relatives à l'objectif, au plan et au rapport de mesurage

Calcul du flux

Le flux résulte du produit de la concentration par le débit-volume de gaz dans le conduit.

Ce dernier est déduit de la moyenne des vitesses sur la section de mesurage et de l'aire de la section.

4.2 Caractéristiques fournies dans les rapports pour les installations de peinture contrôlées

Les descriptions des sections de mesurages sont synthétisées en annexe B.

Constats :

- 1/ Des différences sur les dimensions d'un des quatre conduits ayant fait l'objet de mesurages comparatifs en août 2025 (cabine SIMA) pouvant conduire à un écart de 6 % sur le flux, pour une même vitesse et une même concentration ;
- 2/ Des appréciations parfois différentes des longueurs droites en amont/aval de la section de mesurage, et des longueurs droites parfois inférieures à celles recommandées pour un écoulement homogène ;
- 3/ Un nombre adéquat de trappes pour permettre l'exploration du conduit aux points prévus par la NF EN 15259.
- 4/ des vitesses de gaz supérieures à 6 m/s, donc supérieures à la vitesse minimale requise pour un mesurage avec un tube de Pitot selon la méthode de référence³.

Commentaires

Dimension des conduits :

Les dimensions des conduits n'étant pas toujours aisées à mesurer, et d'autant moins lorsque les dimensions sont grandes, toute information disponible, par exemple issue de documents techniques de Airbus peut être utile à transmettre à l'organisme de prélèvement, afin d'éviter des biais sur le flux, imputables à ces dimensions.

Longueurs droites en amont / aval de la section de mesurage :

Des longueurs droites en amont de la section de mesurage insuffisantes augmentent le risque d'un écoulement non homogène et d'une plus grande variabilité des mesures de vitesse sur une section de mesurage donnée.

Par exemple pour la cabine Sunkiss 2, les mesures des 2 organismes en août 2025 montrent que la vitesse varie selon l'axe exploré ; l'écart entre les débits-volumes des 2 organismes est de l'ordre de 10 % pour le conduit Nord (mais inférieur à 3 % pour le conduit Sud). L'écart peut s'expliquer par un mesurage pas exactement aux mêmes points et donc un écart du fait de la non-homogénéité des vitesses sur la section de mesurage. Mais il convient de noter qu'il peut aussi être lié potentiellement à une instabilité temporelle du débit et au fait que les 2 organismes ne pouvaient pas mesurer la vitesse simultanément en chaque point de mesurage de la section.

5 Stratégie de mesurages : nombre et durée de mesurage, méthode de mesurage du chrome VI, rapportage

La stratégie de mesurage doit être établie par l'organisme de prélèvement.

Elle doit fixer :

- Le nombre de mesurages,
- La durée de chaque mesurage,
- Les méthodes de mesurage.

³ NF EN ISO 16911-1 : Émissions de sources fixes - Détermination manuelle et automatique de la vitesse et du débit-volume d'écoulement dans les conduits - Partie 1 : méthode de référence manuelle

5.1 Nombre et durée de mesurage

Le nombre et la durée de mesurages sont définis dans la norme NF X 43-551. Les dispositions sont reprises pour la plupart dans l'arrêté du 11 mars 2010 modifié⁴.

Un amendement à la norme NF X 43-551 est en cours de rédaction. L'objectif de l'amendement est principalement de revoir la stratégie de mesurage. Les dispositions définies dans la version actuelle de la norme sont imposées aux composés faisant l'objet d'un agrément (liste des composés dans l'arrêté du 11 mars 2010). L'amendement rendra les dispositions obligatoires à tout composé mesuré dans le cadre d'un contrôle réglementaire, que le composé visé fasse l'objet d'un agrément ou pas. Par exemple : le Cr total est couvert par un agrément mais pas le Cr VI. Ainsi jusqu'à la mise en application de l'amendement, les organismes de prélèvement sont tenus d'appliquer les règles définies pour les durées et nombre de mesurages pour le Cr total mais ils ne sont pas obligés de les appliquer pour le Cr VI (sauf si leur application est demandée par la réglementation applicable à l'installation contrôlée ou par l'exploitant).

Note : il est proposé dans la version actuelle du projet d'amendement d'exclure des exigences, les composés ne faisant pas l'objet d'une VLE et quelques cas particuliers.

5.1.1 Durée de mesurage

La norme NF X 43-551 prévoit notamment les exigences suivantes :

« Pour les installations fonctionnant de façon continue et sans changement d'allure ou de régime de fonctionnement, la durée de chaque prélèvement des émissions de polluants est :

- Pour les polluants dont on détermine la concentration particulaire, au moins d'une heure ;
- Pour les polluants dont on détermine la concentration gazeuse, au moins d'une demi-heure ;
- Pour tous les cas (concentration particulaire et/ou gazeuse) s'il est appliquée une méthode de mesurage comprenant une phase de prélèvement sur site et d'analyse des supports de prélèvement en laboratoire d'analyse :
 - Adaptée de façon que le blanc de site soit < 20 % de la VLE (*VLE exprimée en concentration*) ;
 - Et adaptée, de façon que la réalisation des prélèvements et analyses permette d'atteindre une limite de quantification (LQ) de mesure < 20 % de la VLE (*VLE exprimée en concentration*) ;
- Déterminée de façon à être représentative dans le temps du rejet global de l'installation. »

La LQ de mesure est déduite de la LQ d'analyse et du volume de gaz prélevé :

$$LQ_{mesure} \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{LQ_{analyse} \text{ (mg)}}{\text{Volume prélevé (m}^3\text{)}}$$

Si le critère LQ de mesure < 20 % VLE n'est pas respecté avec la durée minimale requise (30 ou 60 min selon le type de composé) l'organisme de prélèvement doit augmenter le volume de gaz prélevé et donc la durée de prélèvement pour abaisser la LQ de mesure (ou choisir, le cas échéant, un laboratoire d'analyse dont la LQ d'analyse est plus basse).

Note : la NF X 43-551 prévoit une dérogation au critère LQ mesure < 20 % VLE si le mesurage doit être répété 3 fois (cf. § 5.1.1.2) et si une durée de 2 heures ne permet pas de respecter ce critère. Dans ce cas, le critère à respecter est LQ mesure < 30 % VLE avec une durée de mesurage d'au moins 2 h par essai.

Les considérations ci-dessus reposent sur une VLE définie en concentration. Lorsque la VLE est définie en flux uniquement, ce qui est le cas pour les cabines de peinture, la norme NF X 43-551 prévoit de définir la stratégie de mesurage en calculant au préalable, une « concentration maximale » à ne pas dépasser à partir de la VLE en flux et du débit volume maximal de l'installation⁵.

⁴ Arrêté du 11 mars 2010 portant modalités d'agrément des laboratoires ou des organismes pour certains types de prélèvements et d'analyses à l'émission des substances dans l'atmosphère, modifié par l'Arrêté du 29 mars 2022

⁵ Exemple : si VLE en flux = 1 mg/h et débit -volume max = 1000 m₀³/h
→ Concentration max = 1/1000 = 0,001 mg/m₀³

Enfin, si une concentration résulte de plusieurs analyses : par exemple analyse d'un filtre et analyse de solutions d'absorption, c'est la somme des LQ de mesure calculées pour les différentes analyses qui doit être conforme au critère LQ mesure < 20 % VLE.

Commentaires :

Respect de la durée minimale de 60 min :

La peinture est liquide et appliquée au pistolet (information transmise par la société Airbus Atlantic). Le Cr VI émis lors de l'application de peintures pouvant contenir des aérosols (particules solides ou vésicules) une durée minimale de 60 min serait à considérer.

Respect du critère sur la LQ de mesure (LQ mesure < 20% VLE) :

Pour évaluer le volume minimum à prélever et donc la durée de mesurage lorsque la VLE est définie uniquement en flux, la norme NF X 43-551 prévoit de calculer une concentration maximale à ne pas dépasser.

Pour le site de Saint-Nazaire, la difficulté est que la VLE en flux pour les cabines de peinture s'applique à la somme de 8 émissaires, dont les débits volumes sont différents. Il n'existe pas de règle définie pour ce cas. Néanmoins il pourrait être intéressant de calculer au moins à titre indicatif, quelle LQ de mesure l'organisme de prélèvement doit viser et donc quelles durées de prélèvement seraient requises.

Comment calculer une concentration maximale à respecter pour déterminer une LQ de mesure à ne pas dépasser :

- En calculant pour chaque émissaire, une concentration maximale sur la base de la VLE en flux et de son débit-volume \Rightarrow cela conduirait à une concentration maximale et une LQ de mesure à respecter d'autant plus faible que le débit-volume de l'émissaire est élevé, et à une somme des VLE en flux des émissaires 8 fois plus élevée que ce qui est admis ;
- En considérant que le flux émis est également réparti entre les 8 émissaires (ce qui équivaut à considérer, comme dans le cas précédent, que plus le débit d'un émissaire est faible, plus la concentration émise est élevée) et en calculant une concentration maximale pour chaque émissaire sur la base de la grandeur [VLE en flux/8] et du débit de chaque émissaire \Rightarrow soit une somme des VLE en flux pour les 8 émissaires conforme à 0,3 g/h, et une concentration maximale et une LQ de mesure à respecter pour chaque émissaire, d'autant plus contraignantes que le débit-volume de l'émissaire est élevé ;
- En considérant que le flux émis est réparti entre les 8 émissaires au prorata du débit-volume de chaque émissaire (ce qui équivaut à considérer que les concentrations des 8 émissaires sont équivalentes) et en calculant une concentration maximale pour chaque émissaire sur la base de la grandeur [(VLE en flux)x(débit émissaire/somme des débits des 8 émissaires)] et du débit de chaque émissaire \Rightarrow soit une somme des VLE en flux pour les 8 émissaires conforme à 0,3 g/h, et une concentration maximale et une LQ en concentration à respecter égale pour chaque émissaire.

Un exemple de calcul est fourni en annexe C pour chacune de ces propositions (Tableaux C.1 à C.3).

La première proposition n'est pas appropriée car la somme des VLE en flux n'est pas conforme au critère de l'arrêté préfectoral. Les deux autres options s'y conforment. La seconde proposition est basée sur un flux émis identique pour les 8 émissaires quel que soit le débit-volume de l'émissaire. La troisième proposition est basée sur une émission identique en concentration et donc un flux qui augmente avec le débit-volume, ce qui paraît plus pertinent que la seconde proposition. Si Airbus Atlantic a un historique suffisant sur les concentrations et les flux émis de chaque cabine, il est peut-être possible d'affiner davantage le calcul de la concentration maximale à utiliser pour l'évaluation de la LQ de mesure à atteindre.

Adaptation de la durée de mesurage au fonctionnement des installations pendant les mesurages

Au vu des rapports d'essais examinés, il apparaît que les durées de prélèvement sont contraintes par le type d'activité et que les durées de mesurage, adaptées au fonctionnement non continu des cabines lors des interventions des organismes de contrôle, peuvent être inférieures à 60 min.

Dans les 8 rapports examinés, les durées de prélèvement sont variables selon les installations et selon les campagnes pour une même installation. A titre indicatif, pour les rapports examinés elles sont comprises entre 10 min et 311 min (cf. annexe A). Les durées les plus importantes sont celles des mesurages de 2021 avec un prélèvement sur 24 h ramené à la durée effective de peinture.

Cette pratique présente l'avantage de durées de prélèvement longues permettant d'abaisser la LQ de mesure, mais l'inconvénient de ne pas pouvoir surveiller le bon déroulement du prélèvement. Il faut aussi être en mesure quantifier les périodes effectives de fonctionnement et de disposer des conditions de fonctionnement.

En dehors des contrôles inopinés, est-il possible au regard des contraintes de production, de « réservé » des pièces à peindre lorsque les interventions sont programmées, afin d'allonger les durées de mesurages ?

5.1.2 Nombre de mesurages

Pour tout contrôle réglementaire des émissions à l'atmosphère des ICPE, chaque mesurage est répété au moins trois fois, sauf dans le cas d'un polluant mesuré par méthode de mesurage « manuelle »⁶ (cas du Cr VI et du Cr total) pour lequel la concentration est ≤ 20 % de la VLE, sur la base des résultats fournis dans le rapport relatif au contrôle réglementaire précédent (et pour quelques composés particuliers). Dans ce cas, il est possible de procéder à une seule détermination. Dans le cas d'une caractérisation initiale d'une l'installation et lors d'un changement sensible des valeurs limites d'émission fixées pour l'installation, la règle des trois mesurages s'impose même si la concentration est < 20% VLE.

Commentaires :

Lors des campagnes de contrôles faisant l'objet des rapports examinés, un seul mesurage par installation a été réalisé, ce qui est conforme à la version actuelle de la norme NF X 43-551.

En revanche si les dispositions prévues dans la version actuelle de l'amendement sont adoptées, 3 mesurages devraient être requis par la suite.

Si cela n'est pas possible pour des questions de fonctionnement des installations, l'organisme de prélèvement devra le mentionner dans son rapport d'essais. En outre, il pourrait être préférable de réaliser un seul mesurage de durée plus importante que 3 mesurages, pour abaisser la limite de quantification (LQ) de mesure, sauf si les LQ d'analyse baissent suffisamment pour permettre par ce biais de diminuer la LQ de mesure. Ce point serait à discuter avec l'organisme de prélèvement et l'inspection.

5.2 Méthodes de mesurage du chrome VI

5.2.1 Méthodes de mesurage mises en œuvre pour les installations de peinture sur le site Airbus

Les organismes de prélèvement dont les rapports de contrôle ont été examinés ont mis en œuvre les méthodologies résumées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Méthodologie et performances pour les contrôles des rapports examinés

	Labo 1	Labo 2	Labo 3
Méthode	Méthode indiquée : « XP X 43-136 » (cf. § 5.2.2) Principe de la méthode appliquée : prélèvement isocinétique sur filtre quartz de 47 mm (non imprégné) + absorption dans une solution alcaline (NaOH 0.1 N). Donc ne correspond pas à la XP X 43-136 qui ne prévoit pas de filtration.	Méthode indiquée : « méthode interne » : Principe de la méthode appliquée : prélèvement sur filtre PVC (non imprégné) + absorption dans une solution La nature de la solution n'est pas précisée.	Méthode indiquée : « méthode interne » : Principe de la méthode appliquée : prélèvement isocinétique sur filtre quartz (non imprégné)

⁶ Méthode de mesurage manuelle : méthode de mesurage comprenant une phase de prélèvement sur un support spécifique et une phase d'analyse du support

	Labo 1	Labo 2	Labo 3
Analyses	<p><u>Filtre</u> analysé par le laboratoire d'analyse A selon une méthode interne ; le rapport des analyses indique une extraction du filtre par ultrasons et reprise à l'eau + une analyse par chromatographie ionique et détection UV/VIS</p> <p><u>Solution</u> analysée sous accréditation par le laboratoire d'analyse A : chromatographie ionique et détection UV/VIS selon XP X 43-136</p>	<p><u>Filtre</u> analysé par le laboratoire d'analyse B sous accréditation, selon une méthode interne : le rapport des analyses indique une extraction par Na_2CO_3 / NaOH / MgSO_4 + une analyse par chromatographie ionique et détection UV/VIS</p> <p><u>Solution</u> : analysée sous accréditation par le laboratoire d'analyse C par chromatographie ionique et détection UV/VIS selon XP X 43-136</p>	<p><u>Filtre</u> analysé par le laboratoire d'analyse A selon une méthode interne : extraction filtre par ultrasons et reprise à l'eau, analyse par CI UV/VIS</p>
Limite de quantification analytique	<p>Filtre : 25 ng = 0,025 µg</p> <p>Solution : 0,5 µg/L de solution</p>	<p>Filtre : 5 ng = 0,005 µg</p> <p>Solution : 1 µg/L de solution</p>	Filtre : 25 ng = 0,025 µg
Rendement d'absorption	Communiqué uniquement pour mesurages du 25/09/2025 => 68 et 69% soit non conformes au critère normatif	Non communiqué : conforme ?	Sans objet
Blanc de site	1 blanc de site par installation	1 blanc filtre et solution dans bulletins d'analyse mais les rapports ne fournissent pas de résultat du blanc des site.	1 blanc de site fourni en 2021, contrôlé pour toutes les installations en 2022

5.2.2 Norme XP X 43-136 (2013) « Détermination de la concentration en chrome VI hydrosoluble »

Pour les rejets à l'atmosphère, une norme pour le mesurage du chrome VI : norme XP X 43-136, a été publiée en 2013. Elle est en cours de révision (travail initié en avril 2025) avec un élargissement de son domaine d'application, pour une application sur les effluents contenant des particules.

Comme son intitulé l'indique, le domaine d'application de la version 2013 de la norme vise le **Cr VI hydrosoluble**. La norme s'applique à des effluents gazeux **exempt de particules solides mais pouvant contenir des vésicules liquides**.

La norme a notamment été développée pour le mesurage de Cr VI dans les activités de traitement de surface.

En cas de présence de particules la norme indique que des recommandations sont fournies en annexe informative (donc sans exigence d'application). Celle-ci précise qu'une attention particulière doit être portée au risque de réactivité des particules vis-à-vis de la conservation du degré d'oxydation du Cr VI, qui doit donc être stabilisé. Des méthodes d'analyse et de prélèvement applicables en présence de particules sont citées. Ces méthodes sont résumées au 5.2.3.

Le principe de mesurage de la norme XP X 43-136 version 2013, repose sur un prélèvement isocinétique au moyen d'une sonde de prélèvement et un piégeage du Cr VI par absorption dans deux absorbeurs en série contenant une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH 0.1 N). La solution est analysée par chromatographie ionique et détection spectrophotométrique après dérivation post-colonne, ou par spectrophotométrie d'absorption moléculaire.

La norme ne prévoit pas de filtration pour éviter un risque de réduction du Cr VI en Cr III sur le filtre, le Cr VI étant instable. Une solution d'absorption basique est utilisée pour stabiliser le Cr VI et empêcher sa réduction en Cr III. Le pH doit être maintenu au moins à 8 en fin de prélèvement.

Dans la version en cours de révision, il est prévu d'élargir l'application de la norme à des matrices pouvant contenir des particules. Dans l'état actuel d'avancement des travaux, il est choisi de ne pas piéger les particules qui peuvent contenir du Cr VI sur filtre, contrairement aux pratiques usuelles lorsque des composés comprennent une phase particulaire, du fait du risque de conversion du Cr VI évoqué ci-dessus. Les particules seront aussi piégées dans la solution d'absorption. De ce fait, cela doit conduire à spécifier les conditions opératoires pour un piégeage efficace des particules dans les absorbeurs contenant la solution d'absorption (par impaction et diffusion).

5.2.3 Méthodes citées en annexe A de la norme XP X 43-136 pour des mesurages en présence de particules

Comme indiqué en 5.2.2, en présence de particules, la norme XP X 43-136 renvoie à une annexe qui cite les références de 3 méthodes de mesurages de Cr VI (US EPA 0061, California EPA 425, Métropole M-43 de l'INRS), et d'une méthode d'analyse (US EPA 3060).

5.2.3.1 Méthodes US EPA 0061, California EPA 425, Métropole M-43 de l'INRS

Les principes de mesure des méthodes décrites dans US EPA 0061, California EPA 425, Métropole M-43 de l'INRS sont résumés dans le Tableau 2, qui résume aussi celui de la XP X 43-136 pour comparaison.

Tableau 2 : Principes de mesure des méthodes XP X 43-136, US EPA 0061, California EPA 425, Métropole M-43 de l'INRS

	XP X 43-136 (2013)	US EPA 0061 (1996)	California EPA 425 (1987)	Métropole M-43 de l'INRS (2020)
Domaine d'application	Cr VI hydrosoluble dans effluent exempt de particules	Cr VI provenant des émissions de sources fixes dont incinérateurs	Cr VI provenant des émissions de sources fixes	Cr VI en atmosphères de travail
Principe	<u>Prélèvement</u> isocinétique Absorption dans 2 absorbeurs en série contenant une solution de NaOH <u>Analyse :</u> chromatographie ionique et détection spectrophotométrique après dérivation post-colonne, ou par spectrophotométrie d'absorption moléculaire	<u>Prélèvement</u> isocinétique Absorption dans 3 absorbeurs en série contenant une solution de KOH <u>Analyse :</u> chromatographie ionique et détection spectrophotométrique	<u>Prélèvement</u> isocinétique Absorption dans une solution de NaOH + filtre en fibres de verre recouvert de teflon en aval des absorbeurs <u>Analyse :</u> chromatographie ionique et détection spectrophotométrique ; filtre mélangé à la solution d'absorption pour extraction, avant analyse	<u>Prélèvement</u> de la fraction inhalable de l'aérosol sur un filtre en fibre de quartz imprégné d'une solution basique <u>Analyse :</u> chromatographie ionique et détection spectrophotométrique après dérivation post-colonne, Extraction pour analyse séparée des chromates solubles et insolubles ou extraction en une fois de tous les composés du Cr VI
Dispositions pour stabiliser le Cr VI	Vérification pH > 8 en fin d'essai Analyse dans un délai de 2 semaines	<ul style="list-style-type: none"> - Circulation de solution d'absorption entre la sortie de la buse de la sonde de prélèvement et le premier absorbeur - Purge à l'azote de 30 min en fin de prélèvement - Filtration de la solution sur site - Conservation des échantillons 14 jours 	<ul style="list-style-type: none"> - Stockage des échantillons à une température ≤ 4 °C - Conservation des échantillons deux semaines - Maintien du pH ≥ 8 	Imprégnation du filtre avec une solution de carbonate de sodium et de sulfate de magnésium (le sulfate de magnésium limite l'interférence positive due à l'oxydation du Cr III soluble en milieu basique)

Commentaires :

- Méthode US EPA 0061 :
 - Elle a fait l'objet de tests de développement et de validation décrits dans une publication⁷. La recirculation de solution alcaline dans la ligne de prélèvement en amont des absorbeurs, pendant le prélèvement, a pour objectif de prévenir le risque de réduction du Cr VI sur les surfaces sèches de la ligne de prélèvement. Elle nécessite du matériel spécifique et une adaptation du matériel utilisé. Il est difficile d'apprécier le risque de perte de Cr VI par réduction dans la ligne en amont des absorbeurs ; il convient de noter que le temps de séjour du gaz dans ces éléments est relativement court avant que le gaz atteigne le premier absorbeur.
 - La purge à l'azote après prélèvement a pour objectif de supprimer les gaz dissous dans la solution d'absorption qui pourraient favoriser la réduction du Cr VI ; elle n'est pas prévue dans la norme XP X 43-136. Le risque lié à l'absence de cette purge est difficile à évaluer même avec des essais car dépendant de la matrice faisant l'objet du contrôle.
 - La filtration de la solution juste après prélèvement a pour objectif d'éliminer de la solution, les particules dans la solution d'absorption qui pourraient contribuer à une conversion du Cr VI ; une filtration des solutions sur site est peu adaptée car elle présente des risques de contamination, de perte de solution ; elle requiert du matériel de laboratoire adapté.
- Méthodes US EPA 0061 et California EPA 425 : les méthodes ne mentionnent pas de dispositions particulières pour assurer un piégeage efficace dans les absorbeurs. Il s'agit d'un point en discussion dans le cadre de la révision de la norme XP X 43-136 : vitesse de gaz minimale dans les absorbeurs pour assurer un piégeage par impaction des particules dans le liquide.
- Méthode California EPA 425 : l'ajout du filtre en aval des absorbeurs présente l'intérêt d'assurer le piégeage des particules qui n'auraient pas été captées dans la solution d'absorption. On peut cependant s'interroger sur un risque de réduction du Cr VI associé aux particules piégées sur le filtre
- Méthode Métropole M-43 : elle indique que la validation de la méthode a permis de mettre en évidence l'importance de l'imprégnation du filtre avec une solution alcaline pour les conservations de dépôts de Cr VI ≤ 1 µg. Pour le contrôle des rejets à l'atmosphère, le chauffage du filtre est prévu par défaut et nécessaire afin d'éviter une condensation pour bon nombre de rejets, ce qui rendrait cette disposition inopérante. Le chauffage pourrait être omis seulement pour des effluents exempts d'humidité ou dont l'humidité conduit à un point de rosée inférieur à la température sèche des gaz au niveau du filtre (note : la température au niveau du filtre peut être différente de celle de l'effluent au niveau de la section de mesurage si le prélèvement est effectué par exemple à l'extérieur dans des conditions de température environnantes plus basses que la température du procédé, ou de la température ambiante des cabines dans le cas des installations considérées).

5.2.3.2 Méthode US EPA 3060A (1996) : « Digestion alcaline pour le Cr VI »

La méthode 3060 est dédiée à l'analyse de Cr VI total présents **dans les sols, les boues, les sédiments et les déchets similaires**. Elle propose une procédure de digestion alcaline permettant de solubiliser tous les composés contenant du Cr VI présent dans ces matrices pour le doser.

Commentaires :

Le protocole décrit une méthode applicable à des matrices solides ou des boues donc différentes des filtres ou solutions d'absorption, qui ont été utilisés pour les contrôles des cabines de peinture.

A noter que cette méthode était reprise dans la version 2011 de la norme NF ISO 15192 « Dosage du Cr VI dans les matériaux solides par digestion alcaline et chromatographie ionique avec détection spectrophotométrique ». La version de 2021 de la norme NF ISO 15192 impose une plage de pH pour la solution de digestion et non plus seulement une valeur minimale : pour limiter le risque de réduction du Cr VI qui augmente lorsque le pH diminue, **mais aussi le risque d'oxydation du Cr III en Cr VI qui augmente avec le pH**.

⁷ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378382094901856>

5.2.4 Analyse de la mise en œuvre des contrôles par les organismes de contrôle

Une analyse des résultats des rapports au regard des référentiels ci-dessus, amène les commentaires suivants :

- Les 3 organismes de prélèvement intervenus pour les contrôles ont appliqué des méthodes ne correspondant pas à la norme XP X 43-136, et non identiques entre elles.
- La mise en œuvre de méthodologies différentes à celles de la XP X 43-136 est sans doute liée à la présence de particules alors que la norme est dédiée à des effluents exempts de particules.

Une filtration en amont des absorbeurs, ou une filtration seule ont été utilisées. La filtration est le principe de piégeage habituellement appliquée en présence de particules.

La norme XP X 43-136 propose toutefois des recommandations en cas de présence de particules dans l'effluent, en citant les référentiels dont les principes de mesurage sont décrits au § 5.2.3. Ces référentiels proposent eux même des méthodes différentes, avec toutefois un point commun : des dispositions visant à stabiliser le Cr VI pour éviter sa réduction en Cr III.

Ces dispositions n'ont pas été mises en œuvre par les 3 organismes de contrôles mais certaines ne pouvaient pas être appliquées ou n'étaient pas pertinentes, avec les dispositifs de prélèvement utilisés :

- La mise d'une circulation de solution d'absorption entre la buse et le premier absorbeur n'est possible que si le prélèvement se fait directement dans des absorbeurs sans filtre en amont ;
- La filtration de la solution d'absorption sur site après prélèvement n'était pas utile puisque les gaz prélevés passaient sur un filtre plan avant de barboter dans la solution d'absorption.

Les filtres n'ont à priori pas été imprégnés de solution basique comme le prévoit par exemple la méthode Métropole M-43 pour stabiliser le Cr VI. Les températures des gaz sont basses (moins de 25°C – cf. annexe A), excepté pour l'étude SIMA pour laquelle une température de 46 à 68°C a été mesurée au point de prélèvement. Il n'est pas indiqué si les filtres ont été chauffés pendant les mesurages. S'ils n'ont pas été chauffés, une imprégnation aurait pu être possible.

L'absence d'imprégnation a pu conduire à une réduction de Cr VI.

- Les méthodes de prélèvement non identiques - filtration uniquement ou absorption + filtration, et filtration, sur des media différents : PVC / fibres de quartz - peuvent potentiellement générer des écarts entre les mesures des 2 organismes de prélèvement intervenus en août 2025, et peuvent également impacter la comparabilité des différentes campagnes de mesurages.

Selon une étude sur le prélèvement et l'analyse de Cr VI⁸, les filtres en PVC et en fibres de quartz peuvent convenir, mais il est recommandé de vérifier même avec ces médias, l'absence d'effet réducteur du Cr VI. L'étude indique que quelques filtres PVC se sont révélés réducteurs pour le Cr VI. Par ailleurs les filtres en PVC hydrophobes sont inadaptés à un traitement alcalin avant mesurage. Mais aucun des organismes n'a utilisé d'imprégnation des filtres même pour les filtres en quartz sur lesquels une imprégnation serait possible.

Les bulletins d'analyses joints aux rapports des organismes de prélèvement, fournissent les principes des méthodes d'analyses mais sans détail. Pour les solutions d'absorption, il est indiqué que la norme XP X 43-136 est appliquée ; elles ont donc été analysées selon la même méthodologie. Mais les filtres ont été analysés selon des méthodes internes. Deux laboratoires d'analyse différents ont été sollicités. Il n'est pas assuré que la même méthode d'extraction des filtres a été mise en œuvre. Les données de validation de la méthode Métropole M-43⁹ montrent les risques de réduction de Cr VI en Cr III quand le filtre n'est pas imprégné mais aussi qu'une solution d'extraction des filtres alcaline peut entraîner l'oxydation du Cr III en Cr VI et une surestimation des mesures.

⁸ K.E. Ashley, A M Howe, Martine Demange, O. Nygren. Réflexions sur le prélèvement et l'analyse du chrome hexavalent dans l'air des lieux de travail. Hygiène et Sécurité du Travail, 2004, Hygiène et sécurité du travail - Cahiers de notes documentaires, 195 (ND 2209), pp.38-51. hal-05148605 – lien de téléchargement : [Réflexions sur le prélèvement et l'analyse du chrome hexavalent dans l'air des lieux de travail - Archive ouverte HAL](https://refhal.inrs.fr/hal-05148605)

⁹ https://www.inrs.fr/dam/metropol/DonneesValidationMetropol/Validation_100-57.pdf

En outre les laboratoires d'analyse ont des LQ d'analyse différentes qui impactent le résultat. Le tableau D.1 en annexe D récapitule les LQ de mesure pour les 8 émissaires + étuve SIMA calculées sur la base des LQ d'analyse des filtres et des solutions d'absorption (indiquées dans le Tableau 1 au § 5.2.1), sur les volumes de gaz échantillonnés indiqués dans les rapports, et pour les prélèvements par absorption, sur les volumes de solution indiqués dans les bulletins d'analyse (la LQ de mesure diminue quand le volume de gaz prélevé augmente et augmente quand le volume de solution augmente).

Les LQ de mesure sont comprises entre 0,004 et 2,1 $\mu\text{g}/\text{m}_0^3$. La variabilité des LQ de mesure est liée à des LQ d'analyse différentes, mais aussi aux conditions de prélèvement : volume de gaz prélevé, fonction de la durée de prélèvement et du débit de prélèvement) et du volume de solution utilisé qui varie de plus d'un facteur 2 entre les mesurages.

Indépendamment de ces conditions, on constate que l'absorption apporte la plus grosse contribution : LQ de mesure comprise entre 0,17 et 2,03 $\mu\text{g}/\text{m}_0^3$ avec une médiane à 0,57 $\mu\text{g}/\text{m}_0^3$ quand la LQ liée à l'analyse du filtre est comprise entre 0,04 et 0,35 $\mu\text{g}/\text{m}_0^3$ avec une médiane à 0,053 $\mu\text{g}/\text{m}_0^3$.

Le Tableau 3 synthétise les LQ de mesure des mesurages effectués par les 2 organismes de prélèvement intervenus simultanément en août 2025. Les différences de LQ de mesure des 2 organismes, sont liées, pour les installations SIMA, aux fortes différences de volumes de gaz prélevé. Les LQ de mesure sur les filtres sont très différentes (facteur 4 à 5 environ en lien avec les écarts des LQ d'analyse). Ces écarts pour les filtres sont « atténués » par la contribution de la LQ de mesure liée à l'absorption, prépondérante.

On aurait pu s'attendre à un facteur 2 entre les LQ de mesure d'absorption (LQ d'analyse respectivement égale à 0,5 et 1 $\mu\text{g}/\text{L}$), mais pour les installations Sunkiss 2, la LQ d'analyse plus élevée d'un des laboratoires d'analyse est « compensée » par un volume de solution environ 2 fois plus faible (une LQ d'analyse de 1 $\mu\text{g}/\text{L}$ avec 100 mL de solution ou une LQ d'analyse de 0,5 μL avec 200 mL de solution conduisent à la même LQ de mesure si le même volume de gaz est prélevé)

Plusieurs résultats sont inférieurs aux LQ de mesure pour le filtre ou pour la solution d'absorption. Le Tableau 3 précise si la mesure est > LQ de mesure, < LQ/3 (correspondant au niveau en dessous duquel le signal n'est pas détecté), ou < LQ (signifiant que le résultat est compris entre LQ/3 et LQ, c'est-à-dire non quantifié mais détecté).

Lorsque la LQ de mesure est faible par rapport au niveau de concentration (ou par rapport à la VLE : LQ de mesure < 20 % VLE – cf. § 5.1.1.1), cela a peu d'impact. **Lorsque les LQ de mesure sont proches du niveau de concentration ou de la VLE cela a une influence significative, accentuée par le mode de rapportage des mesures < LQ (cf. § 5.3).**

Les flux correspondant à des concentrations égales aux LQ de mesure ont été calculés. On constate que la somme des flux des rejets Cabine SIMA, Sunkiss 2 Nord et Sunkiss 2 Sud, est > 0,1 g/h lors de cette campagne, avec seulement 3 émissaires représentant environ 40-44 % du débit-volume des 8 émissaires. Cela signifie que les LQ de mesure sont proches voire supérieures à la VLE dans les conditions opérationnelles de ces essais.

On constate aussi que pour un même organisme, sur une même cabine, les LQ de mesure ramenées à une même durée de prélèvement peuvent être différentes (exemple cabine Sunkiss2 Nord pour les organismes de prélèvement Labo 1 et Labo 2, cf. Tableau D.1) en raison de volumes de solution et de débits de prélèvement différents.

Les LQ d'analyse mais aussi les conditions opératoires seraient à optimiser pour abaisser la LQ de mesure. Allonger les durées de prélèvement permettrait d'abaisser les LQ de mesure, mais les durées limitées de prélèvement sont aussi liées aux contraintes de productions.

Note : il convient de noter qu'en revanche pour la VLE de l'arrêté Ministériel 30 juin 2006 relatif aux installations de traitements de surfaces soumises à autorisation, égale à 0,1 mg/m_0^3 , les LQ de mesure des solutions d'absorption sont appropriées.

Tableau 3 : LQ de mesure des mesurages de la campagne d'août 2025

		Date	Volume de gaz prélevé (m_0^3 sec)	Temps de prélèvement (min)	Volume solution absorption (L)	LQ de mesure ($\mu g/m_0^3$)	LQ de mesure filtre ($\mu g/m_0^3$)	LQ de mesure absorption ($\mu g/m_0^3$)	Débit-volume (m_0^3/h)	Flux calculé avec la LQ de mesure (g/h)	Mesure sur filtre	Mesure dans solution absorption
Cabine SIMA	Labo 1	29/08/2025	0,184	20	0,259	0,840	0,136	0,704	40200	0,034	< LQ	< LQ
	Labo 2	29/08/2025	0,080	20	0,162	2,09	0,063	2,03	46500	0,097	> LQ	> LQ
Etuve SIMA	Labo 1	29/08/2025	0,218	52	0,263	0,718	0,115	0,603	3810	0,003	< LQ/3	> LQ
	Labo 2	29/08/2025	0,120	52	0,136	1,18	0,042	1,13	4230	0,005	< LQ ou < LQ/3 ?	< LQ mais détecté donc résultat devrait être LQ/2
Cabine Sunkiss 2 Nord	Labo 1	29/08/2025	0,103	35	0,235	1,38	0,243	1,14	32700	0,045	< LQ/3	> LQ
	Labo 2	29/08/2025	0,080	36	0,149	1,93	0,063	1,86	29500	0,057	> LQ	< LQ mais détecté donc résultat devrait être LQ/2
Cabine Sunkiss 2 Sud	Labo 1	29/08/2025	0,085	35	0,243	1,72	0,294	1,43	29100	0,050	< LQ/3	> LQ
	Labo 2	29/08/2025	0,110	36	0,170	1,59	0,045	1,55	29900	0,048	> LQ	< LQ mais détecté donc résultat devrait être LQ/2
Somme des débits et flux des 3 cabines					Labo 1	102000 m_0^3/h soit 40-42% du flux total		0,13 g/h				
					Labo 2	105900 m_0^3/h soit 40-44% du flux total		0,20 g/h				

- Analyse du Cr VI : le document relatif à la validation de la méthode Métropole M-43 cité précédemment décrit des essais visant à évaluer les effets de certains composés comme le Fer II ou le Manganèse qui peuvent avoir respectivement un impact négatif (réduction du Cr VI) ou positif (oxydation du Cr III). D'autres composés oxydables ou réducteurs peuvent influencer les mesures comme la présence de SO_2 par exemple.

5.3 Modalités de rapportage des résultats

La norme NF X 43-551 et l'arrêté du 11 mars 2010 fixent des modalités de rapportage décrites ci-dessous.

- Règles de rapportage lorsque les concentrations sont < LQ

Pour les méthodes manuelles elles sont schématisées dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Règles d'expression des résultats issus de la mise en œuvre de méthodes manuelles

si $C > LQ$	Le résultat est égal à la mesure et le flux est calculé en considérant la concentration mesurée
si $LQ/3 < C < LQ$	Composé détecté, le résultat est considéré égal à $LQ/2$ et le flux est calculé en considérant une concentration égale à $LQ/2$
si $C < LQ/3$	Composé non détecté, le résultat et le flux sont notés égaux à 0

Si la concentration résulte d'une somme de concentrations issues de différentes phases (par exemple une phase particulaire et gazeuse), la somme est calculée en appliquant la règle suivante pour chaque phase.

Ces règles s'appliquent aux mesures, aux blancs de site et aux rendements d'absorption des barbotages, que ceux-ci soient issus d'une somme de résultats ou pas.

Par ailleurs, la mesure est à comparer au blanc de site, et le résultat est fourni comme décrit sur le schéma de la Figure 1.

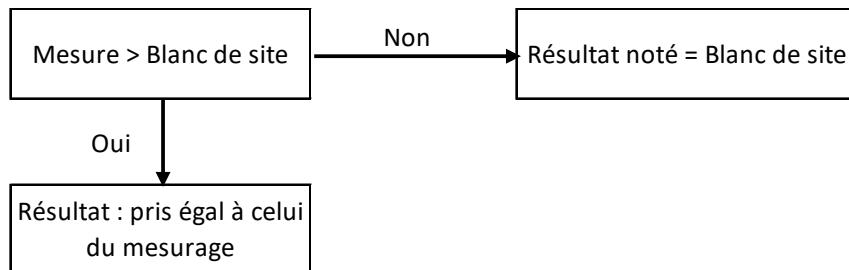


Figure 1 : Expression des résultats en fonction de la valeur du blanc de site – cas général lorsque le critère fixé sur la LQ < 20% VLE

Commentaires :

La LQ d'analyse pour le filtre est de 5 ng pour un des laboratoires d'analyse et 25 ng pour l'autre.

Cela peut conduire, pour une même concentration émise :

- À un résultat quantifié pour l'un et < LQ/3 pour l'autre si la concentration de la fraction particulaire est comprise entre 5 et 8,4 ng ;
Par exemple si la quantité de particules déposée sur le filtre est de 7 ng, le résultat sera rendu égal à (7/volume prélevé) ng/m³ ou à 0 selon le laboratoire qui a réalisé l'analyse ;
- À un résultat quantifié pour l'un et compris entre LQ/3 et LQ pour l'autre si la concentration de la fraction particulaire est comprise entre 8,4 et 25 ng ;
Par exemple si la quantité de particules déposée sur le filtre est de :
 - 9 ng, le résultat sera rendu égal à (9 ng/volume prélevé) ng/m³ ou (12,5/volume prélevé) ng/m³ selon le laboratoire qui a réalisé l'analyse ;
 - 24 ng, le résultat sera rendu égal à (24 ng/volume prélevé) ng/m³ ou (12,5/volume prélevé) ng/m³ selon le laboratoire qui a réalisé l'analyse

Il faut que la concentration soit supérieure à la LQ de mesure la plus élevée pour que les règles de rapportage n'impactent pas les résultats.

La LQ d'analyse de la solution d'absorption est de 0,5 µg/L ou 1 µg/L selon le laboratoire d'analyse. La LQ de mesure dépend aussi du volume de solution utilisé. Par exemple lors des mesurages en août 2025, l'organisme de prélèvement Labo 2 a utilisé un volume de solution en général plus faible que l'organisme de prélèvement Labo 1 ce qui « compense » en partie une LQ d'analyse deux fois plus élevée.

Le volume de solution utilisé n'est pas imposé, ni le débit de prélèvement. L'organisme de prélèvement combine l'ensemble des éléments - LQ d'analyse, volume de solution, débit de prélèvement - pour atteindre une LQ de mesure suffisamment basse au regard de la VLE, (quand elle est définie), tout en assurant un piégeage efficace (la concentration dans le dernier absorbeur ne doit pas dépasser une valeur définie donc le débit de prélèvement doit être adapté).

Note : l'organisme de prélèvement Labo 3 qui n'a effectué un mesurage que sur filtre a les LQ de mesure les plus faibles, puisqu'une seule analyse est prise en compte, qui plus est, celle pour laquelle les LQ d'analyse sont plus basses.

Au vu de ces éléments, il faut considérer que les écarts entre résultats sont pour partie liés à l'effet combiné de LQ de mesures différentes et des modalités de rapportage imposées pour les résultats < LQ de mesure. L'impact est d'autant plus marqué si les LQ de mesure sont proches des niveaux de concentration.

- Activité pendant les mesurages

La norme NF X 43-551 exige que le rapport fournit les éléments de fonctionnement pendant les mesurages, nécessaires à l'interprétation des résultats.

Les organismes de prélèvement ont fourni des conditions de fonctionnement mais elles sont décrites de façons différentes entre installations et également pour une même installation, ce qui rend l'appréciation des résultats au regard de la production peu aisée.

Par exemple pour les 6 campagnes sur la Cabine Sunkiss 2, les productions sont décrites comme suit : « régime fonctionnement 100% avec 4 cycles appli P60 », « xx L de peinture », « régime à 100% », « xx L par quart », « xx kg de peinture »

Sur la cabine SIMA la production est donnée également en « nombre de godets », en « nombre de pièces + L de peinture associée ».

Une réflexion pourrait être menée par la société Airbus Atlantic pour essayer de fournir une description uniforme de la production pendant les mesurages, par exemple en lien avec la quantité de peinture utilisée et/ou la surface peinte. Cela permettrait de détecter un résultat « suspect » demandant une vérification. Par ailleurs si d'autres conditions influent sur les émissions, par exemple la période de changement des filtres ou tout autre élément pertinent, ils pourraient également être communiqués à l'organisme de prélèvement.

6 Mesurage du chrome total

La question a été posée de la robustesse du mesurage du Cr total pour substituer le cas échéant le mesurage de Cr VI par le Cr total.

Pour le Cr total, la norme NF EN 14385¹⁰ s'applique. Elle a récemment été révisée et les organismes de contrôle et les laboratoires d'analyse ont jusqu'au mois de mai 2026 pour mettre en œuvre cette nouvelle version.

Le principe de mesurage reste le même dans la version de 2024. Il consiste en un prélèvement isocinétique sur filtre et par absorption dans trois absorbeurs en série contenant une solution acide.

La norme précise en introduction que des essais de validation ont montré qu'il n'est parfois pas possible de quantifier les éléments dans les solutions d'absorption et que les résultats sont à exprimer sous la forme de concentrations massiques totales (c'est-à-dire la somme des fractions gazeuse, dissoute dans les vésicules, solide et absorbée sur les particules).

Par rapport au Cr VI, une facilité importante est que le Cr total ne nécessite pas de prendre des dispositions pour stabiliser l'élément. Mais la méthode présente d'autres limites :

- Un piégeage dans la solution d'absorption qui n'est pas très efficace ; pour améliorer l'absorption suffisante des métaux en phase gazeuse, trois absorbeurs en série sont utilisés ;
- Le constat de filtres en quartz qui peuvent contenir du Cr et qui limite de ce fait l'abaissement de la LQ d'analyse. La teneur en Cr est d'autant plus importante que le diamètre du filtre est grand.

Par ailleurs selon la matrice, l'extraction des métaux piégés sur le filtre peut être plus ou moins efficace, comme le montrent les comparaisons interlaboratoires (CIL) analytiques organisées par l'Ineris : la dispersion des résultats entre les participants varie selon le niveau de concentration mais aussi selon les matrices qui ne sont pas toujours identiques.

Une étude a été menée en 2010 par l'Ineris à la suite du constat lors de CIL analytiques, de rendements de récupération très faibles pour certains éléments, dont le chrome. L'étude a montré que le type de minéralisation décrit dans la norme NF EN 14385 ne peut être universel. La minéralisation est intimement liée aux spécificités des éléments ciblés. Les composés métalliques pouvant exister sous plusieurs formes, à des degrés d'oxydation divers, plus ou moins solubles, plus ou moins réfractaires ou bien même volatils, il est difficile de définir une méthode de minéralisation adaptée à tous les éléments ciblés. Des essais menés avec le chrome sous sa forme d'oxyde la plus stable, ont conduit à constater que l'efficacité de la minéralisation aux acides peut être insuffisante.

Le mesurage de Cr total peut donc aussi conduire à une variabilité des résultats.

En termes de LQ de mesure, elles sont du même ordre de grandeur que celles du Cr VI.

7 Incertitudes de mesure

La norme NF X 43-551 exige que l'organisme de prélèvement estime son incertitude de mesure par bilan d'incertitudes (en évaluant la contribution de chaque paramètre ayant une influence sur la mesure) pour chaque résultat de mesurage et l'indique dans le rapport d'essai. **Si le résultat de mesurage est inférieur à la LQ de mesure, l'incertitude de mesure ne peut pas être quantifiée et n'est donc pas fournie.**

Il convient de noter que l'incertitude élargie relative augmente en général quand la concentration diminue, avec une valeur maximale à la LQ de mesure. Certaines mesures sont proches de la LQ de mesure.

¹⁰ Émissions de sources fixes - Détermination de l'émission totale de As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl et V (décembre 2024)

Dans le cas de méthode avec une phase de prélèvement et une phase d'analyse des supports de piégeage, l'incertitude de mesure est la combinaison des contributions liées à l'analyse et au prélèvement.

Comme décrit dans la NF X 43-551, l'incertitude de mesure peut être évaluée selon deux approches :

- Par bilan d'incertitudes qui permet d'évaluer et d'associer une incertitude de mesure à tout résultat de mesurage, pour toute méthode de mesurage.
- Par la mise en œuvre de comparaisons interlaboratoires (CIL) ; dans le cas de CIL analytiques plusieurs laboratoires d'analyse analysent des échantillons identiques en dupliquant les analyses ; dans le cas de CIL portant sur la mise en œuvre du mesurage (prélèvement et analyse), plusieurs organismes de prélèvement mettent en œuvre simultanément la méthode de mesurage sur une même matrice, avec deux équipements de mesurage ; les CIL permettent d'évaluer l'incertitude liée à une méthode d'analyse ou de de mesurage, et de qualifier sa robustesse.

Par rapport à l'approche par budget d'incertitudes, l'approche par CIL qualifie la fidélité d'une méthode, c'est-à-dire sa capacité à donner toujours le même résultat quel que soit l'opérateur et quel que soit le système de mesurage dès lors qu'il est conforme aux prescriptions de la méthode de mesurage appliquée. Elle prend en compte la variabilité liée au facteur humain, à la mise en œuvre de plusieurs systèmes de mesurage pouvant présenter des caractéristiques de performances différentes, le cas échéant, au système d'acquisition et de traitement des données, ainsi que l'impact des facteurs d'influence et des interférents dans leur domaine de variation pendant les essais.

Par rapport à l'approche CIL, l'évaluation par bilan d'incertitudes prend en compte l'effet des facteurs d'influence et interférents testés dans le cadre de la validation de la mise en œuvre de la méthode, même si ces derniers ne sont pas systématiquement présents dans toute matrice. Cependant, en raison de composantes d'incertitude liées au facteur humain, à des conditions de mesurages en environnement industriel pouvant impacter la mesure (représentativité temporelle, conditions d'environnement, mise en œuvre contrainte des méthodes de mesurage), avec une amplitude et un effet qu'il n'est pas toujours possible de modéliser ou d'apprécier, les incertitudes estimées par l'approche budget d'incertitudes peuvent être sous-estimées.

Il n'existe pas actuellement de critère d'incertitude pour le mesurage de Cr VI dans la norme XP X 43-136. Pour le Cr total, la norme NF EN 14385 ne fixe pas non plus de niveau d'incertitude à ne pas dépasser.

Approche par bilan d'incertitude

Pour l'analyse, les laboratoires d'analyse doivent évaluer leurs incertitudes en appliquant la norme NF ISO 11352.¹¹ Les organismes de prélèvement calculent leurs incertitudes de mesure en se référant aux fascicules de documentations FD X 43-131-1 à 7¹². Cette estimation prend en compte l'incertitude d'analyse et l'incertitude liée aux équipements de prélèvement. Dans les rapports examinés :

- Rapports de l'organisme de prélèvement Labo 3 : le bulletin d'analyse en annexe du rapport d'essais de 2021 (non disponible pour le rapport de 2022) ne fournit pas les incertitudes d'analyse ; l'incertitude de mesure ne peut pas être estimée ;
- Rapports de l'organisme de prélèvement Labo 1 : les bulletins d'analyse en annexe des rapports d'essais fournissent les incertitudes élargies d'analyse pour l'analyse des solutions d'absorption (15 à 35 % selon le niveau de concentration ; comme indiqué ci-dessus, l'incertitude relative augmente quand la concentration décroît avec une valeur maximale à la LQ d'analyse) mais pas pour les filtres ; l'incertitude de mesure ne peut pas être estimée ;

¹¹ NF ISO 11352 « Qualité de l'eau - Estimation de l'incertitude de mesure basée sur des données de validation et de contrôle qualité »

¹² FD X 43-131 « Émissions de sources fixes - Guide pratique pour l'estimation de l'incertitude de mesurage des concentrations en polluants - Partie 1 : généralités - Partie 2 : mesurage automatique - Partie 3 : mesurage des poussières - Partie 4 : mesurage manuel d'un polluant particulaire et gazeux par barbotage - Partie 5 : mesurage manuel des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des dioxines/furanes - Partie 6 : mesure de l'humidité - Partie 7 : mesure de la vitesse à la section de mesurage »

- Rapports de l'organisme de prélèvement Labo 2 : les bulletins d'analyse en annexe des rapports d'essais fournissent les incertitudes élargies d'analyse pour l'analyse des solutions d'absorption (15 %) et pour les filtres (30 %) ; l'incertitude de mesure aurait pu être estimée (et a peut-être été estimée) mais elle n'est pas fournie dans les rapports.

Au vu des incertitudes analytiques fournies, les incertitudes élargies relatives de mesure (prélèvement + analyse) en Cr VI pour les essais examinés sont au moins égales à celles de l'analyse (auxquelles il faut ajouter la contribution du prélèvement), soit 35 % de la concentration pour les concentrations les plus basses mesurées et quand une solution d'absorption a été utilisée. L'application de méthodologies différentes ajoute une variabilité quand on compare les résultats des organismes de prélèvement, qui n'est pas quantifiable.

Il convient de noter :

- Que les incertitudes d'analyse ne sont en général pas fournies dans les bulletins d'analyse lorsque les composés ne sont pas couverts par l'accréditation ;
- Que les incertitudes de mesure (prélèvement + analyse) ne sont en général pas fournies dans les rapports d'essais lorsque les mesurages ne sont pas couverts par l'accréditation (pour qu'un mesurage soit couvert par l'accréditation, il faut que l'organisme de prélèvement et le laboratoire d'analyse soient accrédités) ;
- Que les incertitudes peuvent être sous-estimées en présence d'interférents qui n'ont pas été testés lors de la validation de la mise en application de la méthode. En outre, en cas de présence d'agents réducteurs ou oxydant dans le cas du Cr VI, pouvant induire un biais, ce dernier et l'incertitude associée ne sont pas quantifiables ; l'incertitude de mesure donnée est dans ce cas sous-estimée.

Approche par CIL

L'Ineris organise des CIL analytiques à destination des laboratoires d'analyse et des CIL sur banc d'essai à destination des organismes de prélèvement. Mais pour les métaux, seules des CIL analytiques sont mises en œuvre. Elles portent notamment sur l'analyse de Cr total dans des poussières et des solutions d'absorption, mais il n'en a pas été organisé pour le Cr VI.

Les intervalles de confiance de reproductibilité à 95% obtenus entre 2012 et 2024 varient :

- Pour le Cr contenu dans l'échantillon de poussières : de 12 à 100 % de la concentration avec une médiane à 21%, pour des concentrations en Cr total comprises entre 0,2 et 3,3 mg Cr total/g de poussières ; les deux intervalles de confiance relatifs les plus élevés (76 et 100 %) correspondent à des valeurs assignées les plus faibles, comme on pourrait s'y attendre ;
- Pour les solutions d'absorption : de 6 à 26 % de la concentration avec une médiane à 10 %, pour des concentrations en Cr total comprises entre 45 et 773 µg L ; à titre indicatif, en supposant un volume de solution de 200 mL et un volume prélevé de 0,120 m₀³, cela correspond à des concentrations comprises entre 0,02 et 1,3 mg/m₀³.

Lors des CIL analytiques, il est également demandé aux participants de fournir l'incertitude de mesure qu'ils ont calculée. En 2024, par exemple l'intervalle de confiance de reproductibilité relatif et les incertitudes élargies relatives annoncées par les participants étaient les suivants :

- Pour les poussières : de 26 % pour un niveau de concentration de 0,7 mg/g de poussières ; les incertitudes élargies relatives déterminées et rapportées par les participants, étaient comprises entre 13 et 40 % avec une valeur médiane de 17 % relatifs ;
- Pour les solutions d'absorption de 16 %, pour des incertitudes élargies relatives déterminées et rapportées par les participants, comprises entre 9 et 55 % (8 valeurs ≤ 20% et une valeur isolée à 55%) avec une valeur médiane de 17 % relatifs.

Il faut s'attendre à une incertitude élargie relative pour l'analyse du Cr total de l'ordre de 25-30 % à laquelle il faut combiner l'incertitude liée au prélèvement pour estimer l'incertitude de mesure.

8 Conclusion

Afin d'évaluer les causes potentielles d'écart entre les mesures des organismes de prélèvement intervenant pour le contrôle des rejets à l'atmosphère des émissaires de cabines de peinture sur le site de Airbus Atlantic à Saint-Nazaire, 8 rapports d'essais de campagnes de mesurages sur le site (cf. liste au § 2) et la norme française décrit une méthode de mesurage le chrome VI ainsi que les référentiels qu'elle cite en annexe ont été examinés.

Ces examens ont conduit aux constats suivants :

- Des écarts sur les dimensions des conduits conduisent, à concentration égale, à des écarts sur le calcul des flux émis ;
- Des longueurs droites en amont de la section de mesurage insuffisantes pour uniformiser l'écoulement après un coude par exemple ou un autre élément perturbant l'écoulement, augmente le risque d'un écoulement non homogène et d'une plus grande variabilité des mesures de vitesse et donc des débits-volumes mesurés ;
- La norme française XP X 43-136 (2013) de mesurage du Cr VI actuellement disponible pour les rejets à l'atmosphère (pas de norme EN ni ISO) demande à être adaptée pour les rejets contenant des particules ; son domaine d'application vise dans sa version actuelle le Cr VI hydrosoluble dans des effluents exempts de particules.

C'est probablement la raison pour laquelle les 3 organismes de prélèvement n'ont pas appliqué la méthode ou l'ont adaptée.

Une révision de la norme a été initiée en 2025 avec l'objectif d'élargir le domaine d'application à des effluents contenant des particules.

Mais que ce soit dans la version actuelle ou dans la version en cours de révision, il est prévu une absorption dans des absorbeurs contenant une solution alcaline uniquement, sans ajout de filtration pour éviter le risque de réduction du Cr VI piégé sur le filtre en Cr III.

- En présence de particules, la norme XP X 43-136 version 2013, donne en recommandation de s'appuyer sur d'autres référentiels.

Parmi ces référentiels, 2 méthodes EPA sont dédiées aux mesurages dans les rejets à l'atmosphère ; l'une (EPA 0061) prévoit un piégeage par absorption dans une solution alcaline et la seconde (EPA 425) ajoute une filtration mais en aval des absorbeurs. Mais même en aval des absorbeurs se pose la question de la stabilité du Cr VI sur ce filtre. La méthode EPA 0061 prévoit en plus une circulation de solution d'absorption dans la ligne de prélèvement en amont des absorbeurs pour prévenir le risque de réduction du Cr VI sur les surfaces sèches de la ligne de prélèvement.

Ce type de disposition n'est prévu pour aucun composé dans les normes appliquées en France et demanderait des adaptations d'équipement. Elle attire l'attention au moins sur ce risque qui peut être réduit en utilisant des lignes de prélèvement les plus courtes possibles.

Un troisième référentiel dédié au mesurage en atmosphère de travail prévoit un prélèvement sur filtre mais celui-ci est imprégné pour stabiliser le Cr VI, ce qui n'est pas forcément adapté aux rejets à l'atmosphère pour lesquels un chauffage des filtres est en général requis. Dans le cas présent, il n'est pas indiqué quelle température de filtration a été appliquée. Au vu des faibles teneurs en vapeur d'eau, des températures relativement basses des effluents excepté pour une étuve, et des volumes de gaz prélevé relativement faibles, une imprégnation aurait probablement été possible.

Les propositions dans ces deux référentiels demanderaient à être testées pour évaluer leur faisabilité et leur apport.

- Les 3 organismes de prélèvement qui sont intervenus, n'ont pas appliqué la méthode XP X 43-136, probablement du fait de la présence d'aérosols dans le rejet, et ont appliqué des méthodologies différentes avec :

- un prélèvement sur filtre en quartz non imprégné,
- un prélèvement sur filtre en quartz non imprégné + absorption dans une solution alcaline,
- un prélèvement sur filtre en PVC non imprégné + absorption dans une solution alcaline.

Ces méthodologies ne sont pas basées sur les méthodes décrites en annexe de la XP X 43-136 en présence de particules.

De plus, les différences de méthodologies peuvent conduire à des écarts de résultats, d'autant plus compte-tenu de l'instabilité du Cr VI qui peut se réduire en Cr III sur le filtre, cette réduction pouvant être favorisée par la nature du filtre et la nature des particules ou autres composés présents dans la matrice.

- Les bulletins d'analyses joints aux rapports des organismes de prélèvement, fournissent les principes des méthodes d'analyses mais sans détail. Pour les solutions d'absorption, les laboratoires d'analyse ont appliqué la même méthode, décrite dans norme XP X 43-136

Mais les filtres ont été analysés selon des méthodes internes par 2 laboratoires d'analyse différents. Il n'est pas possible de savoir si les méthodes d'extraction des filtres et d'analyse mises en œuvre étaient identiques. Les données de validation de la méthode Métropole M-43 montrent les risques de réduction de Cr VI en Cr III mais aussi qu'une solution d'extraction des filtres alcaline peut entraîner l'oxydation du Cr III en Cr VI et une surestimation des mesures.

- La durée des mesurages doit être d'au moins 60 min lorsque les composés comprennent une phase particulaire, et doit permettre de respecter un critère de LQ de mesure < 20 % VLE.

Trois difficultés pour respecter ces critères :

- dans le cas des cabines de peinture, la VLE n'est pas définie en concentration mais en flux et pour la somme des rejets de 8 émissaires ; une méthodologie est définie dans la NF X 43-551 pour calculer une concentration maximale à laquelle comparer la LQ de mesure quand la VLE est définie en flux uniquement, mais aucun document ne traite le cas de la somme d'une VLE en flux s'appliquant à plusieurs émissaires ;
- les durées de prélèvement sont contraintes par la production, qui ne permet pas toujours de disposer de 60 min de prélèvement ; cela limite l'abaissement de la LQ de mesure ;
- la somme des flux calculés pour les 8 émissaires, si on considère des concentrations égales aux LQ de mesure (LQ de mesure résultant de la combinaison des LQ d'analyse, du cumul des LQ d'analyse d'un filtre et d'une solution, des durées de mesurages limitées pendant les essais, et des conditions de mise en œuvre des mesurages : volume de solution, débit de prélèvement), peut être de l'ordre de grandeur de la VLE et donc loin du critère visé de LQ de mesure < 20 % de la VLE ;

Lorsque le mesurage est effectué sur filtre seul, la LQ de mesure est plus basse, car la LQ d'analyse des filtres est plus faible que celle des solutions, mais un prélèvement sur filtre n'est pas la méthodologie la plus adaptée. Et lorsqu'un filtre est ajouté au prélèvement par absorption, cela ajoute une LQ d'analyse même si sa contribution est plus faible que celle de la solution à la LQ totale.

- Lorsque la LQ de mesure est faible par rapport au niveau de concentration (ou par rapport à la VLE), des écarts de LQ de mesure ont peu d'impact sur les résultats. Lorsque les LQ de mesure sont proches du niveau de concentration comme dans le cas présent, cela a une influence significative, accentuée par le mode de rapportage des mesures < LQ.

En effet le mode de rapportage qui vise à harmoniser les pratiques, prévoit que les mesures < LQ/3 soient rendues égales à 0 et que celles comprises entre LQ/3 et LQ soient rendues égales à LQ/2. Pour les analyses des filtres, des LQ d'analyse très différentes peuvent conduire pour certains niveaux de concentration à des concentrations quantifiées pour un laboratoire d'analyse et < LQ/3 donc rendu égal à 0 pour l'autre.

- Les incertitudes de mesure du Cr VI prenant en compte les contributions du prélèvement et de l'analyse, ne sont pas fournies dans les rapports d'essais. Sur la base des incertitudes élargies relatives d'analyse données dans les bulletins joints aux rapports d'essais, l'incertitude élargie relative associée aux concentrations les plus basses mesurées par filtration et absorption, sont d'au moins 35 % de la concentration. Pour la comparaison des résultats obtenus par les organismes, une composante supplémentaire s'ajoute, du fait de méthodes de mesures appliquées non identiques.

Pour améliorer la robustesse des résultats et de leur comparaison, les voies suivantes seraient à explorer :

- définir une méthodologie pour l'estimation d'une concentration maximale à ne pas dépasser par émissaire pour estimer la LQ de mesure qu'il conviendrait de ne pas dépasser, à transmettre aux organismes de prélèvement qui interviennent ;
- fournir aux organismes de prélèvement, les dimensions des conduits s'ils sont par exemple disponibles sur des schémas techniques des installations afin d'éviter des risques de biais sur les calculs des flux ;
- optimiser les conditions de prélèvement pour abaisser la LQ de mesure :
 - en allongeant si cela est possible avec les contraintes de production, les durées de fonctionnement des installations et donc en augmentant le nombre de pièces à peindre lors des campagnes de mesurage ;
 - en réduisant si possible le volume de solution et en augmentant le débit de prélèvement, tout en veillant à respecter l'efficacité de piégeage requise ;

- dans la norme XP X 43-136 en cours de révision, des modifications vont être apportées pour assurer un piégeage des particules et limiter le risque de réduction du Cr VI en Cr III. Les travaux ne sont pas encore assez avancés pour disposer d'une méthode applicable aujourd'hui. Les conditions de prélèvement pour assurer le piégeage des particules dans les absorbeurs sont encore en discussion. Il convient de s'assurer que les modalités d'analyse permettent de prendre en compte le Cr VI hydrosoluble et hydro-insoluble, et d'éviter aussi bien la réduction du Cr VI que l'oxydation du Cr III. Dans l'attente de l'aboutissement des travaux il est difficile de préconiser une méthode, en l'absence de REX sur les différentes configurations qui peuvent être appliquées.
- Une réflexion serait à mener par Airbus Atlantic concernant la description des conditions de prélèvement pendant les essais que les organismes de prélèvement sont tenus de fournir avec les résultats. Un même mode de qualification des conditions de production pour une installation donnée, permettrait de comparer les résultats des émissions au regard de l'activité pendant les essais, et de vérifier leur cohérence. Si cette description peut être appliquée à toutes les installations, cela permettra aussi de comparer les installations entre elles, si cela est pertinent (par rapport au type d'activité, de pièces peintes par exemple).

Concernant le mesurage du Cr total, un avantage par rapport au Cr VI est qu'il n'y a pas de risque d'évolution du composé. Les organismes de prélèvement et analyse sont en outre accrédités et agréés sur la méthode de mesurage des métaux, ce qui permet d'harmoniser les pratiques. Toutefois la méthode ne fournit pas des LQ d'analyse plus basses que celles du Cr VI, et une attention doit être portée à la présence éventuelle de Cr dans le substrat du filtre.

9 Annexes

Liste des annexes :

- Annexe A : Synthèse des principaux résultats issus des rapports examinés
- Annexe B : Description de la configuration des sections de mesurage dans les rapports examinés
- Annexe C – Evaluation d'une VLE en concentration et de la LQ de mesure à viser
- Annexe D : LQ de mesure pour les rapports examinés

Annexe A – Synthèse des principaux résultats issus des rapports examinés

Les résultats des mesurages effectués au rejet des 8 installations visées par la VLE et de l'étude SIMA (car ayant fait l'objet de mesures comparatives par 2 organismes de prélèvement simultanément) sont présentés dans les tableaux qui suivent, par installation.

Cabine Sunkiss 1 Nord

Pour mesures de l'organisme de prélèvement Labo 3 en 2021 : prélèvement 24h ramené pour les calculs de concentration, à durée de peinture effective.

Tableau A.1 : résultats pour la cabine Sunkiss 1 Nord

	Sunkiss 1 Nord							
	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?
Date / h	12/04/2021 prélèvement 24 h		25/10/2022		08/04/2025 7h24-8h40 15h00-15h48		20/05/2025 7h24-8h40 15h30-17h30	
Conditions de fonctionnement pendant les essais			20 barres		régime fonct 100% - 4 cycles appli P60		17 L pour 8 h	
Vitesse (m/s)	9,91		10,4		11,1		9,5	
T(°C)	22		23		24,3		25	
Q sec (m ₀ ³ /h sec)	25554		25800		27300		23600	
Vapeur d'eau (% vol hu)	1,8		2,1		1,74		1,8	
Mesure								
Volume de gaz prélevé (m ₀ ³ sec)	32,48 en 24h 3,74 en 166 min		0,29		0,125		0,36	
Débit prélèvement (L/min)	22,6		16,1		2,6		3,0	
Temps de prélèvement (min)	166 min sur 1440		18		48		120	
Concentration Cr VI (mg/m ₀ ³ sec)	0,0000140		0,01		0,000494		0,00112	
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	0,0000140	> LQ	0,01		0	< LQ /3 LQ=25 ng	0,00051	> LQ
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	non mesurée		non mesurée		0,000494	< LQ LQ=120 ng	0,00061	> LQ
Flux Cr VI (g/h)	0,00036		0,26		0,014		0,026	
Blanc de site								
Concentration Cr VI (mg/m ₀ ³ sec)	0,000003		0		0,000263			
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	0,000003	< LQ LQ =25 ng	0	<LQ/3 LQ=25 ng	0	< LQ /3 LQ=25 ng		
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	non mesurée		non mesurée		0,000263	< LQ LQ=70 ng		
Rendement d'absorption								

Cabine Sunkiss 1 Sud

Tableau A.2 : résultats pour la cabine Sunkiss 1 Sud

	Sunkiss 1 Sud							
	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?
Date / h	12/04/2021 prélèvement 24 h		25/10/2022		08/04/2025 15h00-15h48		20/05/2025 15h30-17h30	
Conditions de fonctionnement pendant les essais			20 barres		régime fonct 100% - 4 cycles appli P60		17 L pour 8 h	
Vitesse (m/s)	9,7		9,4		10,6		8,2	
T(°C)	21,5		23		24,6		25	
Q sec (m ₀ ³ /h sec)	25095		23500		26100		20300	
Vapeur d'eau (% vol hu)	1,8		2,0		1,44		1,8	
Mesure								
Volume de gaz prélevé (m ₀ ³ sec)	31,54 en 24h 3,636 en 166 min		0,27		0,137		0,58	
Débit prélèvement (L/min)	21,9		15,0		2,9		4,8	
Temps de prélèvement (min)	166 min sur 1440		18		48		120	
Concentration Cr VI (mg/m ₀ ³ sec)	0,00000347		0		0,0028		0,00571	
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	0,0000035	> LQ	0	< LQ/3	0,00241	> LQ	0,00037	> LQ
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	non mesurée		non mesurée		0,000389	> LQ/2	0,00529	> LQ
Flux Cr VI (g/h)	0,000087		0		0,073		0,12	
Blanc de site								
Concentration Cr VI (mg/m ₀ ³ sec)	-		0		0			
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	-		0	<LQ/3 LQ=25 ng	0	<LQ /3 LQ=25 ng		
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	-		non mesurée		0	à priori < LQ et non pas < LQ/3		
Rendement d'absorption								
	-		-					

Cabine Sunkiss 2 Nord

Tableau A.3 : résultats pour la cabine Sunkiss 2 Nord

	Cabine Sunkiss 2 Nord															
	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?
Date / h	12/04/2021 prélèvement 24 h		25/10/2022		09/04/2025 10h00-10h44		29/08/2025 9h30-11h49		05/09/2025 7h20-10h42		24/09/2025 6h20-8h28		20/05/2025 15h00- 17h05		29/08/2025 9h30-11h49	
Conditions de fonctionnement pendant les essais			20 barres		régime fonct 100% - 4 cycles appli P60		10-12 L de peinture		100% (?)		12-15 L de peinture P60		17 L pour 8 h		10-12 kg de peinture	
Vitesse (m/s)	9,88		11,7		12,3		13,3		13,3		13,4		9,7		12,1	
T(°C)	20,2		23		23,5		22,9		19,6		20,8		26		23,3	
Q sec (m ₀ ³ /h sec)	25346		29100		30500		32700		33800		34000		24000		29500	
Vapeur d'eau (% vol hu)	1,85		2		1,19		1,75		1,55		1,20		1,5		1,8	
Mesure																
Volume de gaz prélevé (m ₀ ³ sec)	32,58 en 24h 6,697 en 296 min		0,51		0,15		0,103		0,0789		0,0984		0,42		0,08	
Débit prélevement (L/min)	22,6		20,4		3,4		2,9		1,9		1,6		3,4		2,2	
Temps de prélevement (min)	296 min sur 1440		25		44		35		41		60		125		36	
Concentration Cr VI (mg/m₀³ sec)	0,000019		0		0,000243		0,00208		0,00228		0,00578		0,407		0,0000722	
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	0,000019	> LQ	0	< LQ/3	0	< LQ /3 LQ=25 ng	0	< LQ/3 LQ=25 ng	0	< LQ/3 LQ=25 ng	0,000385	> LQ	0,193	> LQ	0,0000722	> LQ
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	non mesurée		non mesurée		0,000243	< LQ LQ=70 ng	0,00208	> LQ	0,00228	> LQ	0,0054	> LQ ? 0,0027 en refaisant le calcul	0,217	> LQ	0	< LQ mais D donc résultat devrait être LQ/2
Flux Cr VI (g/h)	0,00048		0		0,0074		0,068		0,077		0,20		9,77		0,0021	
Blanc de site																
Concentration Cr VI (mg/m ₀ ³ sec)	-		0		0,00022		0,000418		0,00399		0					
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	-		0	< LQ/3 LQ=25 ng	0	< LQ /3 LQ=25 ng	0,000122	< LQ 25 ng	0	< LQ/3 LQ=25 ng	0	< LQ/3 LQ=25 ng				
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	-		non mesurée		0,00022	< LQ LQ=70 ng	0,000297	< LQ 60 ng	0,000399	< LQ 60 ng	0	< LQ/3 65 ng				
Rendement d'absorption																
	-		-								68,9					

Cabine Sunkiss 2 Sud

Tableau A.4 : résultats pour la cabine Sunkiss 2 Sud

	Cabine Sunkiss 2 Sud															
	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?
Date / h	12/04/2021 prélèvement 24 h		25/10/2022		09/04/2025 10h00-10h44		29/08/2025 9h30-11h49		05/09/2025 7h20-10h42		24/09/2025 6h20-8h28		20/05/2025 15h00-17h05		29/08/2025 9h30-11h49	
Conditions de fonctionnement pendant les essais			20 barres		régime fonct 100% - 4 cycles appli P60		10-12 L de peinture		100% (?)		12-15 L de peinture P60		17 L pour 8 h		10-12 kg de peinture	
Vitesse (m/s)	9,77		12,0		11,6		11,7		12,3		12,9		9,9		12,2	
T(°C)	20,3		20,9		22,9		19,4		20,2		18,6		26,0		26,1	
Q sec (m ₀ ³ /h sec)	25047		30000		28800		29100		31300		33100		24400		29900	
Vapeur d'eau (% vol hu)	1,87		1,8		0,87		1,9		1,6		1,13		1,5		1,8	
Mesure																
Volume de gaz prélevé (m ₀ ³ sec)	32,4 en 24h 6,660 en 296 min		0,48		0,151		0,085		0,0709		0,121		0,45		0,11	
Débit prélèvement (L/min)	22,5		19,2		3,4		2,4		1,7		1,8		3,6		3,1	
Temps de prélèvement (min)	296 min sur 1440		25		44		35		41		66		125		36	
Concentration Cr VI (mg/m ₀ ³ sec)	0,000021		0		0,000494		0,0024		0,00158		0,00413		0,669		0,000296	
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	0,000021	> LQ	0	< LQ/3	0,000231	> LQ	0	<LQ/3 LQ=25 ng	0	<LQ/3 LQ=25 ng	0,000309	> LQ	0,0258	> LQ	0,000296	> LQ
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	non mesurée		non mesurée		0,000263	< LQ/2 LQ=0,08	0,0024	>LQ	0,00158	> LQ	0,00382	? 0,0019 en refaisant le calcul	0,638	> LQ	0	< LQ mais D donc résultat devrait être LQ/2
Flux Cr VI (g/h)	0,00054		0		0,014		0,070		0,049		0,14		16,3		0,0088	
Blanc de site																
Concentration Cr VI (mg/m ₀ ³ sec)	-		0		0,000266		0,00052		0,000359		0					
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	-		0	<LQ/3 LQ=25 ng	0	<LQ /3 LQ=25 ng	0,000147	<LQ 25 ng	0	<LQ/3 LQ=25 ng	0	<LQ/3 LQ=25 ng				
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	-		non mesurée		0,000266	< LQ/2 LQ=80 ng	0,000373	<LQ 60 ng	0,000359		0	> LQ/3 68 ng				
Rendement d'absorption																
	-		-								68,0					

Cabine Sunkiss 3

Tableau A.5 : résultats pour la cabine Sunkiss 3

	Sunkiss 3							
	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?
Date / h	13/04/2021 prélèvement 24h		26/10/2022		09/04/2025 14h00-14h58		20/05/2025 13h45-16h05	
Conditions de fonctionnement pendant les essais			2 panneaux		100% - 4 cycles applicaton P60 -		17 L pour 8 h	
Vitesse (m/s)	9,34		9		11,8		8,9	
T(°C)	19,6		20,9		20,5		25	
Q sec (m ₀ ³ /h sec)	38378		35700		50200		38400	
Vapeur d'eau (% vol hu)	1,87		2,2		0,76		1,8	
Mesure								
Volume de gaz prélevé (m ₀ ³ sec)	32,09 en 24h 0,423 en 19 min		0,47		0,148		0,56	
Débit prélèvement (L/min)	22,3		20,4		2,6		4,0	
Temps de prélèvement (min)	19 min sur 1440		23		58		140	
Concentration Cr VI (mg/m₀³ sec)	0,00058		0		0,00083		0,00104	
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	0,01		0	< LQ/3 LQ=25ng	0,0000844	< LQ LQ=25ng	0,000679	> LQ
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	non mesurée		non mesurée		0,000746	> LQ	0,000357	> LQ
Flux Cr VI (g/h)	0,022		0		0,042		0,040	
Blanc de site								
Concentration Cr VI (mg/m ₀ ³ sec)	-		0		0,000201			
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	-		0	<LQ/3 LQ=25 ng	0	<LQ /3 LQ=25 ng		
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	-		non mesurée		0,000201	< LQ/2 LQ=60 ng		
Rendement d'absorption								
	-		-					

Cabine Michaud

Tableau A.6 : résultats pour la cabine Michaud

	Cabine Michaud							
	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?
Date / h	15/04/2021 prélèvement 24h		27/10/2022		10/04/2025 10h42-15h03		21/05/2025 13h25-14h25	
Conditions de fonctionnement pendant les essais			15 cadres de pièce		100% - 4 cycles applicaton P60 - 46 min pré l pour 37 min appli		8,3 kg P60	
Vitesse (m/s)	13,14		13,6		13,7		13,6	
T(°C)	20		20,9		22,9		25	
Q sec (m ₀ ³ /h sec)	77250		78800		52100		53200	
Vapeur d'eau (% vol hu)	2,03		2,1		1,64		1,8	
Mesure								
Volume de gaz prélevé (m ₀ ³ sec)	30,21 en 24h 2,035 en 97 min		1,26		0,139		0,25	
Débit prélèvement (L/min)	21,0		21,0		3,0		2,8	
Temps de prélèvement (min)	97 sur 1440		60		46		90	
Concentration Cr VI (mg/m ₀ ³ sec)	0,00114		0,00079		0,00138		0,000760	
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	0,0011450	> LQ	0,00079		0,0000902	< LQ LQ=25 ng	0,000046	> LQ
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	non mesurée		non mesurée		0,00129	> LQ	0,000720	> LQ
Flux Cr VI (g/h)	0,088		0,063		0,072		0,040	
Blanc de site								
Concentration Cr VI (mg/m ₀ ³ sec)	-		0					
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	-		0	<LQ/3 LQ=25 ng	0	erreur ref filtre		
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	-		non mesurée		0	< LQ/3		
Rendement d'absorption								
	-		-					

Cabine Sima

Tableau A.7 : résultats pour la cabine Sima

	Cabine SIMA											
	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?
Date / h	14/04/2021 prélèvement 24h		24/10/2022		08/04/2025 14h17-16h04		29/08/2025 6h38-7h35		23/05/2025 7h24-8h40		29/08/2025 7h24-8h40 6h38-7h35	
Conditions de fonctionnement pendant les essais			20 pièces et 2 applications		régime fonct. 100% (?)		2 godets		47 pièces, 1,8 L		2 godets	
Vitesse (m/s)	11,34		10,2		10,1		10,4		10,6		11,3	
T (°C)	20,1		23		22,9		22,4		26		25,5	
Q sec (m_0^3/h sec)	45551		39800		40500		40200		44100		46500	
Vapeur d'eau (% vol hu)	1,89		2,1		0,74		1,75		1,6		1,6	
Mesure												
Volume de gaz prélevé (m_0^3 sec)	29,41 en 24h 1,76 en 86 min		0,47		0,184		0,184		0,16		0,08	
Débit prélèvement (L/min)	20,4		16,8		3,6		9,2		2,9		4,0	
Temps de prélèvement (min)	86 min (sur 1440)		28		51		20		56		20	
Concentration Cr VI (mg/m_0^3 sec)	0,00231		0,0021		0,00477		0,000421		0,110		0,0107	0,0070 si on somme (?)
Concentration sur filtre (mg/m_0^3 sec)	0,002307	> LQ	0,0021		0,00472	> LQ	0,0000681	< LQ 25 ng	0,0245063	> LQ	0,00016	> LQ
Concentration dans la solution (mg/m_0^3 sec)	non mesurée		non mesurée		0,0000553	< LQ LQ=80 ng	0,000353	< LQ 130 ng	0,085125	> LQ	0,006875	> LQ
Flux Cr VI (g/h)	0,11		0,085		0,19		0,017		4,84		0,50	
Blanc de site												
Concentration Cr VI (mg/m_0^3 sec)	-		0				0,000313					
Concentration sur filtre (mg/m_0^3 sec)	-		0	<LQ/3 LQ=25 ng	0	<LQ /3 LQ=25 ng	0,0000681	< LQ 25 ng				< LQ ou < LQ/3 ?
Concentration dans la solution (mg/m_0^3 sec)	-		non mesurée		?	non prévu	0,000245	< LQ 90 ng				< LQ
Rendement d'absorption												
	-		-									

Etuve Sima

Tableau A.8 : résultats pour l'étuve Sima

	Etuve SIMA					
	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?
Date / h	29/08/2025 7h24-8h40 6h51-8h03		23/05/2025 7h24-8h40 7h43-9h10		29/08/2025 7h24-8h40 6h51-8h03	
Conditions de fonctionnement pendant les essais	2 godets		séchage pièces e 2 fois (?)		2 godets	
Vitesse (m/s)	6,43		12,9		7,4	
T(°C)	46,8		68		57	
Q sec (m_0^3/h sec)	3810		7190		4230	
Vapeur d'eau (% vol hu)	0,63		1,7		1,6	
Mesure						
Volume de gaz prélevé (m_0^3 sec)	0,218		0,2		0,12	
Débit prélèvement (L/min)	4,2		4,0		2,3	
Temps de prélèvement (min)	52		50		52	
Concentration Cr VI (mg/m_0^3 sec)	0,000615		0,245		0	
Concentration sur filtre (mg/m_0^3 sec)	0	<LQ/3 LQ=25 ng	0,000025	< LQ ou < LQ/3?	0	< LQ ou < LQ/3 ?
Concentration dans la solution (mg/ m_0^3 sec)	0,000615	> LQ	0,2451	> LQ	0	< LQ mais D donc résultat devrait être LQ/2
Flux Cr VI (g/h)	0,0024		1,77		0	
Blanc de site						
Concentration Cr VI (mg/m_0^3 sec)	0.000233					
Concentration sur filtre (mg/m_0^3 sec)	0,0000574	<LQ 25 ng				
Concentration dans la solution (mg/ m_0^3 sec)	0,000176	<LQ 80 ng				
Rendement d'absorption						

Cabine Kremlin

Tableau A.9 : résultats pour la cabine Kremlin

	Cabine Kremlin							
	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 3	< LQ ou > LQ ?	Labo 1	< LQ ou > LQ ?	Labo 2	< LQ ou > LQ ?
Date / h	13/04/2021 prélèvement 24h		27/10/2022		10/04/2025 16h24-16h53		22/05/2025 9h35-11h25	
Conditions de fonctionnement pendant les essais			7 pièces de la longueur d'un avant bras		100% - 3 cycles appli pour 29 min prélev		80 pièces 750 mL P60	
Vitesse (m/s)	7,58		8,6		7,5		11,1	
T(°C)	20		20,9		21,7		20	
Q sec (m_0^3/h sec)	6460		7100		7590		10400	
Vapeur d'eau (% vol hu)	1,96		2		0,88		1,8	
Mesure								
Volume de gaz prélevé ($m_0^3 sec$)	31,29 en 24h 6,758 en 311 min		0,19		0,121		0,34	
Débit prélèvement (L/min)	21,7		19,0		4,2		3,1	
Temps de prélèvement (min)	311 min sir 1440		10		29		110	
Concentration Cr VI (mg/m₀³ sec)	0,0000366		0		0,00116		0,00105	
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	0,0000366	> LQ	0	< LQ/3	0,000254	> LQ	0,000051	> LQ
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	non mesurée		non mesurée		0,00091	> LQ	0,001000	> LQ
Flux Cr VI (g/h)	0,00024		0		0,0088		0,011	
Blanc de site								
Concentration Cr VI (mg/m ₀ ³ sec)	-		0		0,000192			
Concentration sur filtre (mg/m ₀ ³ sec)	-		0	<LQ/3 LQ=25 ng	0	erreur ref filtre		
Concentration dans la solution (mg/m ₀ ³ sec)	-		non mesurée		0,000192	< LQ LQ=50 ng		
Rendement d'absorption								
	-		-					

Annexe B – Description de la configuration des sections de mesurage dans les rapports examinés

Tableau B.1 : Description des sections de mesurage

① : désigne l'organismes de prélèvement Labo 3, ② : désigne l'organismes de prélèvement Labo 1,
 ③ : désigne l'organismes de prélèvement Labo 2

D_H : diamètre hydraulique (= diamètre si conduit circulaire et = $4 \times \text{Section}/\text{périmètre}$)

	Cabine SIMA	Etuve SIMA	Cabine Sunkiss 2 Nord	Cabine Sunkiss 2 Sud
Section	Rectangulaire : ① : 0,80x1,5 m ② : 0,75x1,6 m ③ : 0,80x1,6 m ($D_H = 1,1$ m)	Circulaire $D = 0,5$ m	Rectangulaire : 0,95x0,80 m ($D_H = 0,87$ m)	Rectangulaire : 0,95x0,80 m ($D_H = 0,87$ m)
Longueur droite amont > $5 \times D_H$?	① : Oui (5 D_H) ② : Non (1 m) ③ : Oui (7 m)	② : Non (1 m) ③ : Oui (7 m)	① : Oui (5 D_H) ②/③ : Non (2 m)	① : Oui (5 D_H) ②/③ : Non (2 m)
Longueur droite aval > $5 \times D_H$?	① : Oui (5 D_H) ②/③ : Non (2,5-3 m)	②/③ : Non (1 m)	Oui (6 m)	Oui pour ① (5 D_H) ②/③ : Non (0,6 m)
Nombre de trappes adéquat	Oui (3 trappes)	Oui (2 trappes)	Oui (2 trappes)	Oui (3 trappes)
Accès aux points de mesurage	Via nacelle	Via nacelle	Plate-forme avec accès par crinoline	Plate-forme avec accès par crinoline

	Cabine Sunkiss 1 Nord	Cabine Sunkiss 1 Sud	Cabine Sunkiss 3	Cabine Michaud
Section	Rectangulaire : ① : 0,80x0,97 m ② : 0,75x0,95 m ③ : 0,80x0,95 m ($D_H = 0,87$ m)	Rectangulaire : ① : 0,80x0,97 m ② : 0,75x0,95 m ③ : 0,80x0,95 m ($D_H = 0,87$ m)	Circulaire : ① : D=1,25 m ② : D=1,27 m ③ : D=1,3 m	Circulaire : ① : D=1,50 m ② : D=1,22 m ③ : D=1,24 m
Longueur droite amont > $5 \times D_H$?	① : Oui (5 D_H) ②/③ : Non (1,7-2 m)	① : Oui (5 D_H) ②/③ : Non (1,7-2 m)	① : Oui (5 D) ②/③ : Non (1,3-2 m)	① : Oui (5 D) ②/③ : Non (3 m)
Longueur droite aval > $5 \times D_H$?	① : Oui (5 D_H) ②/③ : Non (2,7-3 m)	① : Oui (5 D_H) ②/③ : Non (2,7-3 m)	① : Oui (5 D) ②/③ : Non (2 m)	① : Oui dans un tableau qui indique une longueur de 5 D, mais non dans un commentaire ②/③ : Non (1-1,2 m)
Nombre de trappes adéquat	Oui Il est indiqué 2 trappes disponibles mais les mesures de vitesse semblent indiquer 3 trappes	Oui Il est indiqué 2 trappes disponibles mais les mesures de vitesse semblent indiquer 3 trappes	Oui (2 trappes)	Oui (2 trappes)
Accès aux points de mesurage	Terrasse avec accès par crinoline	Terrasse avec accès par crinoline	Terrasse avec accès par crinoline	Terrasse avec accès par crinoline

Annexe C – Evaluation d'une VLE en concentration et de la LQ de mesure à viser

Les débits-volumes de chaque émissaire ont été pris égaux à la valeur la plus élevée des débits volumes fournis dans les rapports examinés.

Il conviendrait que ces valeurs soient examinées par Airbus Atantic au regard des caractéristiques des ventilateurs d'extraction et au besoin ajustées. En effet certaines mesures datent de 2021 et des ventilateurs ont peut-être été changé depuis, ou les configurations des conduits d'extraction ont été modifiées ce qui peut faire varier le point de fonctionnement.

De plus le débit-volume pour les cabines Sunkiss3 et Michaud retenues sont élevées au regard des autres valeurs mesurées. Peut-être un examen sur davantage de rapports est-il requis pour définir un débit-volume-maximal mais qui reste représentatif des valeurs le plus souvent mesurées et écarte des valeurs isolées.

Cet examen des débits est important car plus le débit-volume considéré est élevé, plus cela conduit à une LQ de mesure basse et contraignante.

Les calculs sont donc à considérer comme une évaluation avec davantage un objectif de proposition de méthodologie que de fourniture de valeur « robuste » à respecter.

Tableau C.1 : calcul en appliquant la VLE de 0,3 g/h à chaque émissaire

	Débit-volume	Répartition VLE en flux	Concentration maximale à ne pas dépasser	LQmesure= 20% VLE	LQmesure= 20% VLE
	m_0^3/h	g/h	mg/m_0^3	mg/m_0^3	$\mu g/m_0^3$
Sunkiss 1 Nord	27300	0,3	0,01099	0,002198	2,20
Sunkiss 1 Sud	26100	0,3	0,01149	0,002299	2,30
U83 – Cabine Sunkiss 2 Nord	34000	0,3	0,00882	0,001765	1,76
U83 – Cabine Sunkiss 2 Sud	29900	0,3	0,01003	0,002007	2,01
Sunkiss 3	50200	0,3	0,00598	0,001195	1,20
Michaud	78800	0,3	0,00381	0,000761	0,76
U53 – Cabine SIMA	46500	0,3	0,00645	0,001290	1,29
Kremlin	10400	0,3	0,02885	0,00577	5,8
somme	303200	2,4	0,08642	0,01728	17,3

Tableau C.2 : calcul en considérant une VLE en flux identique pour chaque émissaire, égale à la VLE divisée par 8

	Débit-volume	Répartition VLE en flux	Concentration maximale à ne pas dépasser	LQmesure= 20% VLE	LQmesure =20% VLE
	m_0^3/h	g/h	mg/m_0^3	mg/m_0^3	$\mu g/m_0^3$
Sunkiss 1 Nord	27300	0,0375	0,001374	0,0002747	0,275
Sunkiss 1 Sud	26100	0,0375	0,001437	0,0002874	0,287
U83 – Cabine Sunkiss 2 Nord	34000	0,0375	0,001103	0,0002206	0,221
U83 – Cabine Sunkiss 2 Sud	29900	0,0375	0,001254	0,0002508	0,251
Sunkiss 3	50200	0,0375	0,000747	0,0001494	0,149
Michaud	78800	0,0375	0,000476	0,0000952	0,095
U53 – Cabine SIMA	46500	0,0375	0,000806	0,0001613	0,161
Kremlin	10400	0,0375	0,003606	0,000721	0,72
somme	303200	0,3	0,01080	0,002161	2,16

Tableau C.3 : calcul en considérant une concentration émise identique pour chaque émissaire et donc un VLE en flux proportionnelle au débit volume de l'émissaire

	Débit-volume	Répartition VLE en flux	Concentration maximale à ne pas dépasser	LQmesure= 20% VLE	LQmesure= 20% VLE
	$m_0^3/h sec$	g/h	mg/m_0^3	mg/m_0^3	$\mu g/m_0^3$
Sunkiss 1 Nord	27300	0,02701	0,000989	0,0001979	0,198
Sunkiss 1 Sud	26100	0,02582	0,000989	0,0001979	0,198
U83 – Cabine Sunkiss 2 Nord	34000	0,03364	0,000989	0,0001979	0,198
U83 – Cabine Sunkiss 2 Sud	29900	0,02958	0,000989	0,0001979	0,198
Sunkiss 3	50200	0,04967	0,000989	0,0001979	0,198
Michaud	78800	0,07797	0,000989	0,0001979	0,198
U53 – Cabine SIMA	46500	0,04601	0,000989	0,0001979	0,198
Kremlin	10400	0,01029	0,000989	0,0001979	0,198
somme	303200	0,3	0,00792	0,001583	1,58

Annexe D : LQ de mesure pour les rapports examinés

Les LQ de mesures obtenues pour les conditions de mesurages décrites dans les rapports examinés sont synthétisées dans le tableau D.1.

Note : Pour les mesurages de Labo 3 en 2022, il est supposé que les analyses ont été effectuées par le même laboratoire d'analyse qu'en 2021 (PV d'analyse non transmis dans le rapport).

Tableau D.1 : Récapitulatif des LQ de mesure pour les rapports examinés

		Date	Volume de gaz prélevé (m_0^3 sec)	Temps de prélèvement (min)	Volume solution absorption (L)	LQ de mesure ($\mu\text{g}/m_0^3$)	LQ de mesure filtre ($\mu\text{g}/m_0^3$)	LQ de mesure absorption ($\mu\text{g}/m_0^3$)
Sunkiss 1 Nord	Labo 3	12/04/2021	3,74	166 min sur 1440	-	0,007	0,007	-
	Labo 3	25/10/2022	0,29	18	-	0,086	0,086	-
	Labo 1	08/04/2025	0,125	48	0,246	1,184	0,200	0,984
	Labo 2	20/05/2025	0,36	120	0,122	0,353	0,014	0,339
Sunkiss 1 Sud	Labo 3	12/04/2021	3,636	166 min sur 1440	-	0,007	0,007	-
	Labo 3	25/10/2022	0,27	18	-	0,093	0,093	-
	Labo 1	08/04/2025	0,137	48	0,214	0,964	0,182	0,781
	Labo 2	20/05/2025	0,58	120	0,106	0,191	0,009	0,183
Cabine Sunkiss 2 Nord	Labo 3	12/04/2021	6,697	296 min sur 1440	-	0,004	0,007	-
	Labo 3	25/10/2022	0,51	25	-	0,049	0,049	-
	Labo 1	09/04/2025	0,15	44	0,146	0,653	0,167	0,487
	Labo 1	29/08/2025	0,103	35	0,235	1,38	0,243	1,14
	Labo 1	05/09/2025	0,0789	41	0,207	1,63	0,317	1,31
	Labo 1	24/09/2025	0,0984	60	0,2049	1,30	0,254	1,04
	Labo 2	20/05/2025	0,42	125	0,092	0,231	0,012	0,219
Cabine Sunkiss 2 Sud	Labo 2	29/08/2025	0,08	36	0,149	1,93	0,063	1,86
	Labo 3	12/04/2021	6,66	296 min sur 1440	-	0,004	0,004	-
	Labo 3	25/10/2022	0,48	25	-	0,052	0,052	-
	Labo 1	09/04/2025	0,151	44	0,159	0,692	0,166	0,526
	Labo 1	29/08/2025	0,085	35	0,243	1,72	0,294	1,43
	Labo 1	05/09/2025	0,0709	41	0,193	1,71	0,353	1,36
	Labo 1	24/09/2025	0,121	66	0,243	1,21	0,207	1,00
Sunkiss 3	Labo 2	20/05/2025	0,45	125	0,151	0,35	0,011	0,34
	Labo 2	29/08/2025	0,11	36	0,170	1,59	0,045	1,55
	Labo 3	13/04/2021	0,423	19 min sur 1440	-	0,059	0,059	-
	Labo 3	26/10/2022	0,47	23	-	0,053	0,053	-
Cabine Michaud	Labo 1	09/04/2025	0,148	58	0,120	0,574	0,169	0,405
	Labo 2	20/05/2025	0,56	140	0,096	0,180	0,009	0,171
	Labo 3	15/04/2021	2,035	97 sur 1440	-	0,012	0,012	-
	Labo 3	27/10/2022	1,26	60	-	0,020	0,020	-
Cabine SIMA	Labo 1	10/04/2025	0,139	46	0,112	0,583	0,180	0,403
	Labo 2	21/05/2025	0,25	90	0,113	0,472	0,02	0,452
	Labo 3	14/04/2021	1,76	86 min (sur 1440)	-	0,014	0,014	-
	Labo 3	24/10/2022	0,47	28	-	0,053	0,053	-
	Labo 1	08/04/2025	0,184	51	0,150	0,543	0,136	0,408
	Labo 1	29/08/2025	0,184	20	0,259	0,840	0,136	0,704
Etuve SIMA	Labo 2	23/05/2025	0,16	56	0,091	0,600	0,031	0,569
	Labo 2	29/08/2025	0,08	20	0,162	2,09	0,063	2,03
	Labo 1	29/08/2025	0,218	52	0,263	0,718	0,115	0,603
	Labo 2	23/05/2025	0,2	50	0,114	0,595	0,025	0,570
Cabine Kremlin	Labo 2	29/08/2025	0,12	52	0,136	1,18	0,042	1,13
	Labo 3	13/04/2021	6,758	311 min sir 1440	-	0,004	0,004	-
	Labo 3	27/10/2022	0,19	10	-	0,132	0,132	-
	Labo 1	10/04/2025	0,121	29	0,134	0,760	0,207	0,554
Min			0,071		0,091	0,004	0,004	0,17
Max			6,758		0,263	2,1	0,35	2,03
Médiane			0,218		0,150	0,472	0,053	0,570
LQ mesure pour LQ analyse filtre 5 ng			0,200				0,025	
LQ mesure pour LQ analyse filtre 25 ng			0,200				0,125	
LQ mesure pour LQ analyse solution 0,5 $\mu\text{g}/\text{L}$			0,200		0,2			0,5
LQ mesure pour LQ analyse solution 1 $\mu\text{g}/\text{L}$			0,200		0,2			1,00

