République du Togo

Travail – Liberté – Patrie

Ministère chargé de L'Aviation Civile

– – – – – – – – – – – – – –

RÈGLEMENTS AÉRONAUTIQUES NATIONAUX DU TOGO

RANT 16 – PART 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

2e édition / Révision 00 / Septembre 2025

APPROUVÉ PAR

Arrêté N° 031/ MIT/CAB du 31 juillet 2015 portant adoption du règlement aéronautique national togolais relatif à la protection de l'environnement (RANT 16)

ET AMENDE PAR

Décision n° 102/25/ANAC/DG du 02 septembre 2025 portant amendement du règlement aéronautique national togolais relatif à la protection de l'environnement (RANT 16).

ADMINISTRATION DU DOCUMENT

LISTE DES PAGES EFFECTIVES

Chapitre	Page	N° d'édition	Date d'édition	N° de révision	Date de révision
ADMINISTRATION DU DOCUMENT	I à IX	02	02/09/2025	00	02/09/2025
PARTIE 0 _ CHAPITRE 1	0.1-1 à 0.1-1	02	02/09/2025	00	02/09/2025
PARTIE 0 _ CHAPITRE 2	0.2-1 à 0.2-1	02	02/09/2025	00	02/09/2025
PARTIE 1 _ CHAPITRE 1	1.1-1 à 1.1-2	02	02/09/2025	00	02/09/2025
PARTIE 1 _ CHAPITRE 2	1.2-1 à 1.2-1	02	02/09/2025	00	02/09/2025
PARTIE 2 _ CHAPITRE 1	2.1-1 à 2.1-1	02	02/09/2025	00	02/09/2025
PARTIE 2 _ CHAPITRE 2	2.2-1 à 2.2-1	02	02/09/2025	00	02/09/2025
PARTIE 3 _ CHAPITRE 1	3.1-1 à 3.1-2	02	02/09/2025	00	02/09/2025
PARTIE 3 _ CHAPITRE 2	3.2-1 à 3.2-7	02	02/09/2025	00	02/09/2025
PARTIE 3 _ CHAPITRE 3	3.3-1 à 3.3-4	02	02/09/2025	00	02/09/2025
PARTIE 3 _ CHAPITRE 4	3.4-1 à 3.4-6	02	02/09/2025	00	02/09/2025
PARTIE 4	4-1 à 4-1	02	02/09/2025	00	02/09/2025
APPENDICE 1	APP.1-1 à APP.1-1	02	02/09/2025	00	02/09/2025
APPENDICE 2	APP.2-1 à APP.2-6	02	02/09/2025	00	02/09/2025
APPENDICE 3	APP.3-1 à APP.4-1	02	02/09/2025	00	02/09/2025
APPENDICE 4	APP.4-1 à APP.4-1	02	02/09/2025	00	02/09/2025
APPENDICE 5	APP.5-1 à APP.6-1	02	02/09/2025	00	02/09/2025
APPENDICE 6	APP.6-1 à APP.6-3	02	02/09/2025	00	02/09/2025
APPENDICE 7	APP.7-1 à APP.8-1	02	02/09/2025	00	02/09/2025
APPENDICE 8	APP.8-1 à APP.8-17	02	02/09/2025	00	02/09/2025
SUPPLEMENT A	SUP A.1 à SUP A.6	02	02/09/2025	00	02/09/2025
SUPPLEMENT B	SUP B.1 à SUP B.6	02	02/09/2025	00	02/09/2025

LISTE DES AMENDEMENTS

Edition	Révision	Date	Objet de l'amendement	Origine / Référence source
01	00	Juillet 2015	Introduction de la Part 2 du RANT 16 afin de prendre en compte l'Annexe 16 Volume II de l'OACI.	Annexe 16, Volume II l'OACI, Toutes éditions et amendements jusqu'à l'Edition 3, Amendement 08.
02	00	Septembre 2025	Cet amendement concerne : o la restructuration et mise à jour des renvois utiles, introduits conformément au document intitulé Instructions et Règlement intérieur pour les réunions de navigation aérienne à l'échelon Division (Doc 8143), 2e partie, Formulation des propositions de normes, pratiques recommandées et procédures internationales ; o les mises à jour à des fins de cohérence linguistique, afin d'assurer, entre autres, une utilisation appropriée des auxiliaires modaux et d'appliquer de façon cohérente les notes et les recommandations, conformément au Doc 8143, 2e partie ; o l'amélioration de la formulation sur les conditions d'application, afin de rendre compte, entre autres, de l'application des normes régissant l'indice de fumée et la concentration massique de nvPM aux moteurs ; o l'introduction d'une nouvelle définition (« procédure équivalente »), assortie des modifications à apporter ensuite à des fins de cohérence dans les volumes II et III de l'Annexe 16 ; o l'amélioration des définitions, des descriptions, des renvois et de la formulation, notamment, entre autres, par des éclaircissements détaillés, des descriptions méthodologiques, des procédures intermédiaires, ainsi que des notes et recommandations supplémentaires ; o l'amélioration de la procédure de mesure des nvPM conformément aux dernières mises à jour figurant dans les documents ARP 6320A et AIR 6241A de la Society of Automotive Engineers (SAE) sur l'échantillonnage et la mesure continus des émissions de nvPM des moteurs à turbine d'aéronefs ; o les corrections concernant des questions générales sur le plan technique, de la nomenclature et de la typographie. o la mise à jour de la date d'application des dispositions pour les nouveaux types de moteur ; o la correction des spécifications et conditions relatives au débit ; o l'introduction d'une formulation générique pour les dérogations accordées aux moteurs de série après les dates d'application des normes sur l'indice de fumée, les NOx, les HC, le CO, et les émissions en masse et en nombre de nvPM des moteurs ; o les nouvelles normes CAEP/11 sur les émissions en masse et en nombre de nvPM pour les nouveaux types de moteur et les moteurs de série, applicables à partir du 1er janvier 2023 ;	Amendements n° 09, n°10 et n°11 de l'Annexe 16, Volume II l'OACI

			○ les modifications corrélatives pour la cohérence avec la nouvelle norme sur la masse et le nombre de nvPM, et introduction de la date de fin d'application du 1 er janvier 2023 pour la norme sur l'indice de fumée dans le cas des moteurs de pousée nominale supérieure à 26,7 kN ; ○ l'ajout de la définition de « certificat de type » dans l'Annexe 16, Volume II, Partie 1, Chapitre 1 ; ○ la précision des exigences relatives à la température de la tuyauterie de prélèvement ; ○ la modification du gaz d'étalonnage de l'analyseur de NOx; ○ la modification de la teneur en naphtalènes figurant dans la spécification sur le carburant pour les essais d'émissions; ○ les norme sur les émissions de particules non volatiles (nvPM) applicable aux réacteurs à turbosoufflante et aux turboréacteurs dont la poussée nominale est supérieure à 26,7 kN et construits le 1er janvier 2020 ou à une date ultérieure; ○ la cohérence de l'Annexe 16, Volume II, avec la nouvelle norme sur les émissions de nvPM des moteurs ; ○ l'ajout de nouvelles dispositions relatives aux dérogations. ○ la modifications de formats : ▪ mise en forme des en-têtes ; ▪ suppression de la référence aux Appendices et Suppléments dans les carrés centraux des en-têtes des Appendices et Suppléments ; ▪ Modification de la Pagination ; ▪ suppression de « Exigences », «Appendices » et « Supplément » dans les pieds de pages ; ▪ Suppression de la Page de garde « EXIGENCES » ○ des corrections concernant des questions générales d'ordre technique, typographique ou de nomenclature.	

LISTE DES REFERENCES

Références	Source	Titre	N° Révision	Date Révision
Annexe 16 Volume II	OACI	Protection de l'environnement - Émissions des moteurs d'aviation	Cinquième édition Amendement N°11	Juillet 2023 Juillet 2023

TABLE DES MATIÈRES

ADMINISTRATION DU DOCUMENT I
LISTE DES PAGES EFFECTIVES II
LISTE DES AMENDEMENTS III
LISTE DES REFERENCES V
TABLE DES MATIÈRES VI
PARTIE 0- GÉNÉRALITÉS 0.1-1
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION 0.1-1
CHAPITRE 2 : DÉROGATIONS 0.2-1
PARTIE 1- DEFINITIONS ET SYMBOLES 0.2-1
CHAPITRE 1 : DÉFINITIONS 1.1-1
CHAPITRE 2 : SYMBOLES 1.2-1
PARTIE 2- DÉCHARGES DE CARBURANT 1.2-1
CHAPITRE 1 : ADMINISTRATION 2.1-1
CHAPITRE 2 : PRÉVENTION DES DÉCHARGES INTENTIONNELLES DE CARBURANT 2.2-1
PARTIE 3- DOCUMENT DE CERTIFICATION-MISSIONS 2.2-1
CHAPITRE 1 : ADMINISTRATION 3.1-1
CHAPITRE 2 :TURBORÉACTEURS ET RÉACTEURS À TURBOSOUFFLANTE DESTINÉS À LA PROPULSION AUX VITESSES SUBSONIQUES SEULEMENT 3.2-1
2.1. GÉNÉRALITÉS 3.2-1
2.2. FUMEE 3.2-3
2.3. ÉMISSIONS GAZEUSES 3.2-3
2.4. RENSEIGNEMENTS NÉCESSAIRES 3.2-6
CHAPITRE 3 : TURBORÉACTEURS ET RÉACTEURS À TURBOSOUFFLANTE DESTINÉS À LA PROPULSION AUX VITESSES SUPERSONIQUES 3.3-1
3.1. GÉNÉRALITÉS 3.3-1
3.2. FUMÉE 3.3-3
3.3. ÉMISSIONS GAZEUSES 3.3-3
3.4. RENSEIGNEMENTS NÉCESSAIRES 3.3-3
CHAPITRE 4. ÉMISSIONS DE PARTICULES 3.4-1
4.1. GENERALITES 3.4-1
4.2. ÉMISSIONS DE PARTICULES NON VOLATILES 3.4-2
4.3. RENSEIGNEMENTS NECESSAIRES 3.4-5
PARTIE 4- ÉVALUATION DES PARTICULES NON VOLATILES À DES FINS D'INVENTAIRE ET DE MODÉLISATION 4-1
APPENDICES ET SUPPLEMENTS APP.1-1
APPENDICE 1 : MESURE DU RAPPORT DE PRESSION DE RÉFÉRENCE APP.1-1
1. GÉNÉRALITÉS APP.1-1
2. MESURE APP.1-1
APPENDICE 2 : ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE FUMÉE APP.2-1

1. INTRODUCTION ET DÉFINITIONS APP.2-1
2. MESURES DES ÉMISSIONS DE FUMÉE APP.2-1
3. CALCUL DE L'INDICE DE FUMÉE À PARTIR DES DONNÉES DE MESURE APP.2-6
4. COMMUNICATION DES DONNÉES A L'AUTORITE PRIMAIRE DE CERTIFICATION APP.2-6

APPENDICE 3 : INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURE DES ÉMISSIONS GAZEUSES APP.3-1
1. INTRODUCTION APP.3-1
2. DÉFINITIONS APP.3-1
3. DONNÉES NÉCESSAIRES APP.3-2
4. DISPOSITION GÉNÉRALE DE L'APPAREILLAGE APP.3-3
5. DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS APP.3-4
6. MÉTHODE GÉNÉRALE D'ESSAI APP.3-11
7. CALCULS APP.3-15

APPENDICE 4 : SPÉCIFICATIONS SUR LE CARBURANT À UTILISER POUR LES ESSAIS D'ÉMISSIONS DE TURBOMACHINES APP.4-1

APPENDICE 5 : INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURE DES ÉMISSIONS GAZEUSES DES TURBOMACHINES À POSTCOMBUSTION APP.5-1
1. INTRODUCTION APP.5-1
2. DÉFINITIONS APP.5-1
3. DONNÉES NÉCESSAIRES APP.5-2
3.1. ÉMISSIONS GAZEUSES APP.5-2
3.2. AUTRES RENSEIGNEMENTS APP.5-2
4. DISPOSITION GÉNÉRALE DE L'APPAREILLAGE APP.5-3
5. DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS APP.5-5
6. MÉTHODE GÉNÉRALE D'ESSAI APP.5-12
7. CALCUL APP.5-15

APPENDICE 6 : PROCÉDURE DE DÉMONSTRATION DE LA CONFORMITÉ POUR LES ÉMISSIONS DE GAZ, DE FUMÉE ET DE PARTICULES. APP.6-1
1. GÉNÉRALITÉS APP.6-1
2. PROCÉDURE DE DÉMONSTRATION DE LA CONFORMITÉ APP.6-1
3. PROCÉDURE EN CAS D'ÉCHEC APP.6-3

APPENDICE 7 : INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURE DES ÉMISSIONS DE PARTICULES NON VOLATILES APP.7-1
1. INTRODUCTION APP.7-1
2. DÉFINITIONS, SIGLES ET SYMBOLES APP.7-1
3. DONNÉES NÉCESSAIRES APP.7-5
4. DISPOSITION GÉNÉRALE DU SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT ET DE MESURE DES nvPM APP.7-7
5. MÉTHODE GÉNÉRALE D'ESSAI APP.7-11

6. CALCULS APP.7-16

7. EXIGENCES ET RECOMMANDATIONS CONCERNANT UN SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT DES nvPM APP.7-20

8. SPÉCIFICATION RELATIVE À L'INSTRUMENT DE MESURE DE LA MASSE DES NVPM ET À L'ÉTALONNAGE APP.7-26

9. SPÉCIFICATIONS ET ÉTALONNAGE POUR L'EXTRACTEUR DE PARTICULES VOLATILES ET L'INSTRUMENT DONNANT LE NOMBRE DE nvPM APP.7-39

10. PROCÉDURES POUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME APP.7-43

APPENDICE 8 . PROCÉDURES POUR ESTIMER LES CORRECTIONS DE PERTES DE PARTICULES NON VOLATILES nvPM DANS LE SYSTÈME APP.8-1

1. GÉNÉRALITÉS APP.8-1

2. DÉFINITIONS, SIGLES ET SYMBOLES APP.8-1

3. DONNÉES NÉCESSAIRES APP.8-5

4. MÉTHODOLOGIE DE CORRECTION DES PERTES DE nvPM DANS LE SYSTÈME ET PROCÉDURE DE CALCUL APP.8-6

5. COMMUNICATION ET LIMITATIONS APP.8-11

6. PROCÉDURE POUR DÉTERMINER LES FRACTIONS DE PÉNÉTRATION DES DIFFÉRENTS COMPOSANTS DU SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT ET DE MESURE DES nvPM APP.8-13

SUPPLEMENT A. CALCUL DES PARAMÈTRES DES ÉMISSIONS GAZEUSES- BASE, CORRECTION DES MESURES ET MÉTHODE NUMÉRIQUE DE RECHANGE ..... SUP A.1

SUPPLEMENT B. CALCUL DES PARAMÈTRES DES ÉMISSIONS GAZEUSES DANS LE CAS DES TURBOMACHINES À POSTCOMBUSTION - BASE, CORRECTION DES MESURES ET MÉTHODE NUMÉRIQUE DE RECHANGE. ..... SUP B.1

Page laissée intentionnellement blanche

PARTIE 0- GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

(a) Le Togo a conscience des effets néfastes que l'activité aérienne peut exercer sur l'environnement et il sait qu'il lui incombe d'assurer le maximum de compatibilité entre le développement sûr et ordonné de l'aviation civile et la qualité du milieu humain.

(b) Le présent règlement définit les exigences relatives aux décharges de carburant ainsi que les spécifications concernant la certification des émissions, qui sont applicables aux catégories de moteurs d'aviation spécifiées dans les différents chapitres de ce règlement, dans la mesure où ces moteurs équipent des aéronefs qui participent à l'aviation civile internationale.

CHAPITRE 2 : DÉROGATIONS

(a) Accord de dérogation

(1) L'Autorité de l'aviation civile peut, à titre exceptionnel et provisoire, accorder une dérogation aux dispositions du présent règlement lorsqu'elle estime que le besoin existe et sous réserve du respect de toute condition supplémentaire qu'elle considère nécessaire pour assurer, dans ce cas particulier, un niveau de sécurité acceptable.

(2) L'Autorité de l'aviation civile peut mettre fin à la dérogation ou l'amender à tout moment.

(b) Demande de dérogation

(1) Une demande de dérogation doit être faite sous une forme et d'une manière acceptable pour l'Autorité de l'aviation civile. Elle doit être adressée nécessairement à l'Autorité de l'aviation civile conformément aux conditions qu'elle a fixées. La demande de dérogation doit comporter la description complète des circonstances et des justifications relatives à la dérogation demandée, et démontrer que le niveau de sécurité qui sera maintenu sera au moins égal à celui garanti par l'exigence de la règlementation applicable.

Note : *La demande de dérogation doit comporter une évaluation et une analyse des risques de sécurité ou des études aéronautiques.*

(c) Notification de la dérogation

(1) Toute personne physique ou morale qui reçoit un accord de dérogation de l'Autorité de l'aviation civile doit :

(i) disposer de moyens ou mécanismes de notification de cette dérogation à toute personne concernée, y compris son étendue, les mesures d'atténuation de risques et sa date limite de validité.

(ii) surveiller la mise en œuvre de la dérogation y compris les mesures d'atténuation et les limitations applicables.

PARTIE 1- DEFINITIONS ET SYMBOLES

CHAPITRE 1 : DÉFINITIONS

Les expressions ci-dessous, employées dans le présent Règlement, ont les significations indiquées:

Autorité de l'aviation civile : Agence nationale de l'aviation civile du Togo

Autorité primaire de certification : Autorité de l'État de conception qui a juridiction sur l'organisme responsable de la conception de type.

Certificat de type : Document délivré par un État contractant pour définir la conception d'un type d'aéronef, de moteur ou d'hélice, et pour certifier que cette conception est conforme au règlement applicable de navigabilité de cet État.

Note 1.— Certains États contractants délivrent un document équivalent au certificat de type pour les moteurs et les hélices.

Note 2.— Dans certains États contractants, le certificat de type peut aussi être utilisé pour attester que la conception respecte les exigences applicables de l'État en ce qui concerne les émissions des moteurs d'aviation.

Date de construction : Date d'émission du document attestant que l'aéronef ou le moteur, selon le cas, est conforme aux spécifications du moteur type ou date d'émission d'un document analogue.

État de conception. État qui a juridiction sur l'organisme responsable de la conception de type.

État contractant : tout Etat contractant de la Convention de Chicago.

Fumée : Matières charbonneuses présentes dans les gaz d'échappement qui réduisent la transmission de la lumière.

Hydrocarbures non brûlés : Quantité d'hydrocarbures de toutes catégories et de toutes masses moléculaires contenus dans un échantillon de gaz, calculée en équivalent de méthane.

Indice de fumée : Indice sans dimension définissant quantitativement les émissions de fumée. (Voir § 3 de l'Appendice 2.)

OACI : Organisation de l'aviation civile internationale.

Oxydes d'azote : Somme des quantités de monoxyde d'azote et de dioxyde d'azote contenues dans un échantillon de gaz, calculées comme si le monoxyde d'azote était présent sous forme de dioxyde d'azote.

Particules non volatiles (nvPM) : Particules émises présentes dans le plan de sortie de la tuyère d'échappement d'un moteur à turbine à gaz, qui ne se volatilisent pas lorsqu'elles sont chauffées à une température de 350 °C.

Phase d'approche : Phase d'exploitation définie par le temps pendant lequel le moteur fonctionne au régime d'approche.

Phase de circulation et de ralenti au sol : Phase d'exploitation comprenant la circulation au sol et le fonctionnement au ralenti entre le moment du démarrage des moteurs de propulsion et le début du roulement au décollage et entre le moment où l'aéronef sort de la piste et le moment où

tous les moteurs de propulsion sont arrêtés.

Phase de décollage : Phase d'exploitation définie par le temps pendant lequel le moteur fonctionne à la poussée nominale.

Phase de montée : Phase d'exploitation définie par le temps pendant lequel le moteur fonctionne au régime de montée.

Postcombustion : Mode de fonctionnement du moteur dans lequel on recourt à un système de combustion alimenté (en tout ou en partie) par l'air vicié.

Poussée nominale : Aux fins des émissions de moteurs, poussée maximale au décollage approuvée par l'Autorité de l'aviation civile pour être utilisée en exploitation normale, dans les conditions statiques, en atmosphère type internationale (ISA) au niveau de la mer, sans injection d'eau. La poussée est exprimée en Kilonewton.

Procédure équivalente. Procédure d'essai ou d'analyse qui diffère de celle qui est spécifiée dans le RANT 6, Partie II, mais qui, dans les faits, selon le jugement technique du service de certification, permet d'obtenir les mêmes niveaux d'émissions que la procédure spécifiée.

Note.— Certaines procédures équivalentes sont documentées dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation. Toutes les procédures équivalentes et leur utilisation doivent être approuvées par le service de certification.

Rapport de pression de référence : Rapport entre la pression totale moyenne à la sortie du dernier étage du compresseur et la pression totale moyenne à l'entrée du compresseur lorsque la poussée du moteur est égale à la poussée nominale de décollage dans les conditions statiques en atmosphère type internationale au niveau de la mer.

Note.- Des méthodes de mesure du rapport de pression de référence sont indiquées à l'Appendice 1.

Tuyères d'échappement : Pour le prélèvement des gaz d'échappement de turbomachines, lorsque les flux d'échappement ne sont pas mélangés (comme c'est le cas par exemple de certains moteurs à turbosoufflante), la tuyère considérée est la tuyère centrale génératrice de gaz uniquement. Cependant, lorsque les flux sont mélangés, on prend la totalité de la tuyère d'échappement.

Version dérivée : Turbomachine d'aéronef de la même famille qu'une turbomachine ayant eu initialement sa certification de type, dont les caractéristiques conservent l'essentiel de la conception du cœur et du générateur de gaz du modèle d'origine et sur laquelle, de l'avis de l'autorité primaire de certification, il n'y a pas eu modification d'autres facteurs.

Note 1.- Il y a une différence entre la définition de « version dérivée d'un avion » figurant dans le RANT 16, Part I — Bruit des aéronefs, qui fait référence à des modifications de conception de l'avion susceptibles d'avoir un effet défavorable sur ses caractéristiques de bruit, et la définition de « version dérivée» qui figure dans le présent règlement, qui fait référence à des modifications de conception du moteur susceptibles d'avoir un effet défavorable sur ses caractéristiques en matière d'émissions..

Note 2 : Les définitions complémentaires sont contenues dans les Appendices 2, 3, 5, 7 et 8.

CHAPITRE 2 : SYMBOLES

(a) Les symboles ci-dessous, employés dans le présent règlement, ont les significations indiquées :

CO : Monoxyde de carbone.

D_p : Masse de tout polluant gazeux émis au cours d'un cycle d'émission de référence à l'atterrissage et au décollage.

F_n : Poussée dans les conditions de l'atmosphère type internationale (ISA) au niveau de la mer pour le régime de fonctionnement considéré.

F_{oo} : Poussée nominale

F^*_{oo} : Poussée nominale avec postcombustion.

HC : Hydrocarbures non brûlés (voir définition).

LTO : Atterrissage et décollage (Landing and Takeoff)

NO : Monoxyde d'azote.

NO_2 : Dioxyde d'azote.

Nox : Oxydes d'azote (voir définition).

nvPM : Particules non volatiles (voir définition).

SN : Indice de fumée (voir définition).

π_{oo} : Rapport de pression de référence (voir définition).

Note : Les sigles et symboles complémentaires sont contenus dans l'Appendice 7 et 8.

PARTIE 2- DÉCHARGES DE CARBURANT

CHAPITRE 1 : ADMINISTRATION

1.1 Les dispositions de la présente partie s'appliquent à tous les aéronefs à turbomachines destinés à être utilisés pour la navigation aérienne internationale, construits après le 18 février 1982.

1.2 La certification relative à la prévention des décharges intentionnelles de carburant est accordée par l'autorité primaire de certification au vu d'une preuve satisfaisante que l'aéronef ou les moteurs d'aéronef sont conformes aux spécifications du chapitre 2.

Note.- Le document attestant la certification relative aux décharges de carburant peut prendre la forme d'un certificat-décharges de carburant séparé ou d'une annotation figurant dans un autre document approuvé par l'autorité primaire de certification.

1.3 L'autorité de l'aviation civile reconnaît la validité d'une certification relative aux décharges de carburant accordée par 'l'autorité primaire de certification à condition que les spécifications selon lesquelles cette certification est accordée ne soient pas moins strictes que les dispositions du présent Règlement.

CHAPITRE 2 : PRÉVENTION DES DÉCHARGES INTENTIONNELLES DE CARBURANT

Les aéronefs doivent être conçus et construits de manière à empêcher les décharges intentionnelles dans l'atmosphère de carburant liquide en provenance des collecteurs d'injection de carburant, résultant de la coupure des moteurs après une utilisation normale en vol ou au sol.

PARTIE 3- DOCUMENT DE CERTIFICATION-MISSIONS

CHAPITRE 1 : ADMINISTRATION

1.1 Les dispositions des § 1.2 à 1.5 s'appliquent à tous les moteurs et à leurs versions dérivées compris dans les catégories définies, aux fins de la certification-émissions, aux chapitres 2, 3 et 4, lorsque ces moteurs sont installés sur des aéronefs utilisés pour la navigation aérienne internationale.

1.2 La certification-émissions accordée par l'Autorité primaire de certification est acceptée par l'Autorité de l'aviation civile au vu d'une preuve satisfaisante que le moteur est conforme à des spécifications qui sont au moins aussi strictes que les dispositions du présent règlement. La conformité aux niveaux d'émissions spécifiés aux chapitres 2, 3 et 4 doit être démontrée en utilisant la procédure décrite à l'Appendice 6.

Note : Le document attestant la certification-émissions pourra prendre la forme d'un certificat-émissions séparé ou d'une annotation figurant dans un autre document approuvé par l'Autorité primaire de certification et accepté par l'Autorité de l'aviation civile.

1.3 Le document attestant la certification-émissions d'un moteur doit contenir au moins les renseignements suivants qui sont applicables à ce moteur :

a) nom de l'autorité primaire de certification ;

b) désignation de type et de modèle du constructeur ;

c) indication de toutes modifications supplémentaires apportées au moteur afin de le rendre conforme aux spécifications de certification-émissions applicables ;

d) poussée nominale ;

e) rapport de pression de référence ;

f) déclaration attestant la conformité aux spécifications relatives à l'indice de fumée ;

g) déclaration attestant la conformité aux spécifications relatives aux gaz polluants ;

h) déclaration attestant la conformité aux spécifications relatives aux particules.

1.4 L'autorité de l'aviation civile reconnaît la validité d'une certification-émissions accordée par l'autorité primaire de certification à condition que les spécifications selon lesquelles cette certification a été accordée ne soient pas moins strictes que les dispositions spécifiées dans l'Annexe 16, Volume II de l'OACI..

1.5 L'autorité de l'aviation civile reconnaît la validité des dérogations accordées par l'autorité primaire de certification de État contractant de l'OACI qui a juridiction sur l'organisme responsable de la production du moteur, à condition qu'elles aient été délivrées dans le cadre d'un processus acceptable.

Note.— Des orientations sur des processus et des critères acceptables pour la délivrance de dérogations figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

1.6 Sauf indication contraire dans le présent règlement, la date à utiliser par l'autorité de l'aviation civile pour déterminer l'applicabilité des exigences du présent règlement est la date à laquelle la demande de certificat de type pour un type ou un modèle de moteur est présentée à l'autorité de certification de l'État de conception, ou la date de présentation de la demande au titre d'un processus prescrit par l'autorité de certification de l'État de conception.

1.7 Une demande de certificat de type pour un type ou un modèle de moteur est en vigueur pour la période spécifiée dans la désignation du règlement de navigabilité correspondant au type ou au modèle de moteur en question, sauf dans les cas spéciaux où l'autorité primaire de certification accepte que cette période soit prolongée. Lorsque la période d'applicabilité de la demande est dépassée et qu'une prolongation est approuvée, la date à utiliser pour déterminer l'application des exigences du présent règlement est la date de délivrance du certificat de type ou de l'approbation de la modification de la conception de type, ou la date de délivrance de l'approbation au titre d'un processus prescrit par l'État de conception, moins la période d'applicabilité.

1.8 Dans les cas où la configuration du moteur ou d'autres conditions empêcheraient ou limiteraient l'utilisation des procédures des Appendices 2, 3, 5 ou 7, l'Autorité primaire de certification peut approuver des procédures équivalentes, après avoir reçu une preuve technique satisfaisante que leur application donne vraiment lieu aux mêmes niveaux d'émissions. Toutes les procédures équivalentes doivent être sous réserve de l'approbation du service de certification.

CHAPITRE 2 :TURBORÉACTEURS ET RÉACTEURS À TURBOSOUFFLANTE DESTINÉS À LA PROPULSION AUX VITESSES SUBSONIQUES SEULEMENT

2.1. GÉNÉRALITÉS

2.1.1 Application

2.1.1.1 Les dispositions du présent chapitre s'appliquent aux turboréacteurs et aux réacteurs à turbosoufflante, spécifiés de façon plus précise aux § 2.2 et 2.3, qui sont destinés à la propulsion aux vitesses subsoniques seulement, sauf dans le cas où l'autorité primaire de certification ou l'autorité compétente qui a juridiction sur l'organisme responsable de la production du moteur exempt de cette application :

a) certains types de moteurs, ainsi que leurs versions dérivées, pour lesquels l'émission du certificat de type de la version de base ou l'exécution de la procédure équivalente prescrite est antérieure au 1er janvier 1965 ;
b) un nombre limité de moteurs, pour une période déterminée, au-delà des dates d'applicabilité spécifiées aux § 2.2 et 2.3 concernant la « construction du moteur considéré ».

2.1.1.2 Dans de tels cas, une attestation d'exemption doit être émise par l'autorité primaire de certification ou l'autorité compétente qui a juridiction sur l'organisme responsable de la production des moteurs, les plaques d'identification sur les moteurs doivent porter la marque « EXEMPTÉ» et la délivrance de l'exemption doit être consignée dans le dossier permanent du moteur. L'autorité primaire de certification ou l'autorité compétente qui a juridiction sur l'organisme responsable de la production du moteur doit tenir compte du nombre de moteurs exemptés qui doivent être produits et de leurs incidences sur l'environnement. Les exemptions doivent être consignées par numéro de série de moteur et mises à disposition dans un registre officiel public.

Note.- De plus amples orientations sur la délivrance des dérogations figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

2.1.1.3 *Les dispositions du présent chapitre s'appliquent aussi aux moteurs destinés à des applications qui, autrement, auraient été réalisées au moyen de turboréacteurs ou de turbosoufflantes et qui sont conçus comme des groupes motopropulseurs intégrés et certifiés avec une poussée nominale.*

Note.— Des éléments indicatifs figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II —Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

2.1.2 Émissions considérées

Les émissions suivantes doivent être réglementées aux fins de la certification des moteurs d'aéronefs :

- Fumée

- Émissions de gaz
  - Hydrocarbures non brûlés HC ;
  - Monoxyde de carbone (CO) ;
  - Oxydes d'azote (NOx).

2.1.3 Unités de mesure aux fins de la communication

2.1.3.1 Les émissions de fumée doivent être exprimées au moyen de l'indice de fumée (SN).

2.1.3.2 La masse (D_p) des polluants gazeux (HC, CO ou NOx) émis au cours du cycle d'émissions de référence à l'atterrissage et au décollage (LTO), défini aux § 2.1.4.2.et 2.1.4.3, doit être exprimée en grammes.

2.1.4 Conditions de référence

2.1.4.1 *Conditions atmosphériques*

Les conditions atmosphériques de référence en ce qui a trait à la performance du moteur doivent être celles de l'atmosphère type internationale au niveau de la mer, sauf pour l'humidité de référence qui doit être égale à 0,00634 kg d'eau par kg d'air sec.

2.1.4.2 *Réglages de poussée :*

Le moteur doit être essayé à un nombre de réglages de poussée suffisant pour définir les caractéristiques d'émission de gaz et de fumée de façon que les taux d'émission de gaz et les indices de fumée puissent être déterminés aux pourcentages ci-après de la poussée nominale comme il sera convenu par l'autorité primaire de certification.

Régime d'utilisation CAD	*Réglage de poussée*
Décollage	100 % de F_{oo}
Montée	85 % de F_{oo}
Approche	30 % de F_{oo}
Circulation au sol et ralenti	7% de F_{oo}

2.1.4.3 *Cycle d'émissions de référence à l'atterrissage et au décollage (CAD) :*

Le cycle d'émissions de référence CAD pour le calcul et l'expression des émissions gazeuses doit être représenté par les temps ci-dessous pour chaque régime d'utilisation.

Régime d'utilisation CAD	*Temps au régime d'utilisation (minutes)*
Décollage	0,7
Montée	2,2
Approche	4,0
Circulation au sol et ralenti	26,0

2.1.4.4 *Spécifications du carburant :*

Le carburant utilisé au cours des essais doit répondre aux spécifications de l'Appendice 4.

2.1.5 Conditions d'essai

2.1.5.1 Pour l'exécution des essais, le moteur doit être monté sur son banc d'essai.

2.1.5.2 Le moteur doit être représentatif de la configuration de certification (voir l'Appendice 6); les prélèvements d'air et les entraînements des accessoires autres que ceux qui sont nécessaires au fonctionnement de base du moteur ne doivent pas être simulés.

2.1.5.3 Lorsque les conditions d'essai diffèrent des conditions atmosphériques de référence spécifiées au § 2.1.4.1, les résultats d'essai sur les émissions gazeuses doivent être ramenés aux conditions atmosphériques de référence par les méthodes indiquées à l'Appendice 3.

2.2. FUMEE

2.2.1. Application

Les dispositions du § 2.2.2 s'appliquent

a) aux moteurs dont la date de construction est le 1er janvier 1983 ou une date ultérieure, mais avant le 1er janvier 2023 ;
b) aux moteurs d'une poussée nominale maximale égale ou inférieure à 26,7 kN dont la date de construction est le 1er janvier 2023 ou à une date ultérieure.

Note.— Les moteurs d'une poussée nominale supérieure à 26,7 kN, y compris leurs versions dérivées d'une poussée nominale supérieure à 26,7 kN, qui ont été certifiés à l'origine en fonction de l'indice de fumée réglementaire spécifié au § 2.2.2 et dont la date de construction est le 1er janvier 2023 ou une date ultérieure ne doivent pas obligatoirement satisfaire aux dispositions du § 2.2.2. Des éléments indicatifs figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

2.2.2. Indice de fumée réglementaire

À chaque réglage de poussée des quatre régimes d'utilisation LTO, l'indice de fumée mesuré et calculé conformément aux procédures de l'Appendice 2 et ramené à un niveau caractéristique en appliquant les procédures de l'Appendice 6 ne doit pas dépasser la valeur donnée par la formule ci-après:

$$\text{Indice de fumée réglementaire} = 83{,}6\ (F_{00})^{-0{,}274}$$

ou

50 si la valeur ci-dessus est supérieure à 50

2.3. ÉMISSIONS GAZEUSES

2.3.1. Application

Les dispositions du § 2.3.2 s'appliquent aux moteurs d'une poussée nominale supérieure à 26,7 kN dont la date de construction est le 1er janvier 1986 ou une date ultérieure, ou, pour les oxydes d'azote, comme il est spécifié ci-après.

2.3.2. Niveaux réglementaires

Les niveaux d'émissions de gaz mesurés et calculés conformément aux procédures de l'Appendice 3 et ramenés à des niveaux caractéristiques suivant les procédures de l'Appendice 6 ne doivent pas dépasser les valeurs données par les formules ci-après :

Hydrocarbures (HC) : $D_P / F_{OO} = 19,6$;

Monoxyde de carbone (CO) : $D_P / F_{OO} = 118$;

Oxydes d'azote (NO_X) :

a) moteurs dont la date de construction du premier exemplaire de série est antérieure au 1er janvier 1996 et moteur considéré dont la date de construction est antérieure au 1er janvier 2000:

$$D_P / F_{OO} = 40 + 2\pi_{OO}$$

b) moteurs dont la date de construction du premier exemplaire de série est le 1er janvier 1996 ou à une date ultérieure ou moteur considéré dont la date de construction est le 1er janvier 2000 ou une date ultérieure :

$$D_P / F_{OO} = 32 + 1,6\pi_{OO}$$

c) moteurs dont la date de construction du premier exemplaire de série est le 1er janvier 2004 ou une date ultérieure :

1) moteurs ayant un rapport de pression de référence égal ou inférieur à 30 :

i) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 89,0kN :

$$D_P / F_{OO} = 19 + 1,6\pi_{OO}$$

ii) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 26,7kN mais inférieure ou égale à 89,0kN :

$$D_P / F_{OO} = 37,572 + 1,6\pi_{OO} - 0,2087\ F_{OO}$$

2) moteurs ayant un rapport de pression de référence supérieur à 30 mais inférieure à 62,5 :

i) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 89,0kN :

$$D_P / F_{OO} = 7 + 2,0\pi_{OO}$$

ii) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 26,7 kN mais inférieure ou égale à 89,0kN :

$$D_P / F_{OO} = 42,71 + 1,4286\ \pi_{OO} - 0,4013 F_{OO} + 0,00642\ \pi_{OO} \times F_{OO}$$

3) moteurs ayant un rapport de pression de référence égal ou supérieur à 62,5 :

$$D_P / F_{OO} = 32 + 1,6\ \pi_{OO}$$

d) moteurs dont la date de construction du premier exemplaire de série est le 1er janvier 2008 ou à une date ultérieure, et moteur dont la date de construction est le 1er janvier 2013 ou à une date ultérieure:

1) moteurs ayant un rapport de pression de référence égal ou inférieur à 30 :

i) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 89,0kN :

$D_P / F_{OO} = 16,72 + (1,4080 * \pi_{OO})$

ii) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 26,7kN mais inférieure ou égale à 89,0kN :

$D_P / F_{OO} = 38,5486 + (1,6823\ \pi_{OO}) - (0,2453\ F_{OO}) - (0,00308\ \pi_{OO}\ F_{OO})$

2) moteurs ayant un rapport de pression de référence supérieur à 30 mais inférieur à 82,6 :

i) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 89,0kN :

$D_P / F_{OO} = - 1,04 + (2,0 * \pi_{OO})$

ii) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 26,7kN mais inférieure à 89,0kN :

$D_P / F_{OO} = 46, 1600 + (1, 4286\ \pi_{OO}) - (0,5303\ F_{OO}) + (0, 00642\ \pi_{OO}\ F_{OO})$

3) moteurs ayant un rapport de pression de référence égal ou supérieur à 82,6 :

$D_P / F_{OO} = 32 + (1, 6\ \pi_{OO})$.

e) moteurs dont la date de construction du premier exemplaire de série est le 1er janvier 2014 ou à une date ultérieure et pour lequel une demande de certificat de type est présentée avant le 1er janvier 2023:

1) moteurs ayant un rapport de pression de référence égal ou inférieur à 30 :

i) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 89,0kN :

$DP / F_{OO} = 7,88 + 1,4080\ \pi_{OO}$

ii) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 26,7kN mais inférieure ou égale à 89,0kN :

$DP / F_{OO} = 40,052 + 1,5681\ \pi_{OO} - 0,3615\ F_{OO} - 0,0018\ \pi_{OO}\ F_{OO}$

2) moteurs ayant un rapport de pression de référence supérieur à 30 mais inférieur à 104,7 :

i) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 89,0kN :

$DP / F_{OO} = - 9,88 + 2,0\ \pi_{OO}$

ii) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 26,7kN mais inférieure ou égale à 89,0kN :

$D_P / F_{oo} = 41, 9435 + 1, 505\ \pi_{oo}) - 0,5823\ F_{oo} + 0, 005562\ \pi_{oo}\ F_{oo}$

3) moteurs ayant un rapport de pression de référence égal ou supérieur à 104,7 :

$D_P / F_{OO} = 32 + 1, 6\ \pi_{OO}$.

f) moteurs d'un type ou d'un modèle pour lequel une demande de certificat de type est présentée le 1 er janvier 2023 ou à une date ultérieure :

1) moteurs ayant un rapport de pression de référence égal ou inférieur à 30 :

i) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 89,0 kN :

$$Dp/Foo = 7,88 + 1,4080\pi oo$$

ii) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 26,7 kN mais inférieure ou égale à 89,0 kN :

$$Dp/Foo = 40,052 + 1,5681\pi oo - 0,3615Foo - 0,0018\pi oo\ Foo$$

2) moteurs ayant un rapport de pression de référence supérieur à 30 mais inférieur à 104,7 :

i) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 89,0 kN :

$$Dp/Foo = -9,88 + 2,0\pi oo$$

ii) moteurs d'une poussée nominale supérieure à 26,7 kN mais inférieure ou égale à 89,0 kN :

$$Dp/Foo = 41,9435 + 1,505\pi oo - 0,5823Foo + 0,005562\pi oo\ Foo$$

3) moteurs ayant un rapport de pression égal ou supérieur à 104,7 :

$$Dp/Foo = 32 + 1,6\pi oo$$

2.4. RENSEIGNEMENTS NÉCESSAIRES

Note. Les renseignements nécessaires sont divisés en trois groupes:

(1) renseignements généraux pour identifier les caractéristiques du moteur, le carburant utilisé et la méthode d'analyse des données;
(2) données tirées des essais du moteur;
(3) résultats tirés des données d'essai.

2.4.1. Renseignements généraux

Les renseignements suivants doivent être fournis pour chaque type de moteur pour lequel une certification-émissions est demandée:

a) identification du moteur;
b) poussée nominale (en Kilonewton);
c) rapport de pression de référence;
d) spécification du carburant;
e) rapport hydrogène/carbone du carburant;
f) méthodes d'obtention des données;
g) méthode de correction pour les conditions ambiantes;
h) méthode d'analyse des données.

2.4.2. Renseignements sur les essais

Les renseignements suivants doivent être fournis pour chaque moteur soumis aux essais aux fins de certification à chacun des réglages de poussée spécifiés au § 2.1.4.2. Ces renseignements doivent être fournis après correction pour les ramener aux conditions ambiantes de référence, s'il y a lieu :

a) débit de carburant (en kilogrammes/seconde) ;
b) indice d'émissions (en grammes/kilogramme) pour chaque polluant gazeux ;
c) indice de fumée mesuré.

2.4.3. Renseignements tirés des essais

2.4.3.1. Les renseignements suivants doivent être fournis pour chaque moteur soumis aux essais aux fins de certification :

a) taux d'émissions, c'est-à-dire l'indice d'émissions multiplié par le débit de carburant (en grammes/seconde) pour chaque polluant gazeux ;
b) émissions brutes totales de chaque polluant gazeux mesurée sur un cycle LTO (grammes) ;
c) valeur de D_p / F_{oo} pour chaque polluant gazeux (en grammes/Kilonewton) ;
d) indice de fumée maximal.

2.4.3.2. L'indice de fumée caractéristique et les niveaux d'émissions des polluants gazeux doivent être fournis pour chaque type de moteur pour lequel la certification est demandée
.

CHAPITRE 3 : TURBORÉACTEURS ET RÉACTEURS À TURBOSOUFFLANTE DESTINÉS À LA PROPULSION AUX VITESSES SUPERSONIQUES

3.1. GÉNÉRALITÉS

3.1.1 Application

Les dispositions du présent chapitre s'appliquent aux turboréacteurs et aux moteurs à turbosoufflante destinés à la propulsion aux vitesses supersoniques construits à compter du 18 février 1982.

3.1.2 Émissions en cause

Les émissions suivantes doivent être réglementées aux fins de la certification des moteurs d'aéronef :

- Fumée
- Émissions de gaz
  - Hydrocarbures non brûlés (HC) ;
  - Monoxyde de carbone (CO) ;
  - Monoxydes d'azote (NO_x).

3.1.3 Unités de mesure

3.1.3.1 L'émission de fumée doit être mesurée et exprimée au moyen de l'indice de fumée (SN).

3.1.3.2 La masse *(D_p)* des polluants gazeux (HC, CO ou NO_x) émis au cours du cycle d'émissions de référence à l'atterrissage et au décollage (CAD), défini aux § 3.1.5.2 et 3.1.5.3, doit être mesurée et exprimée en grammes.

3.1.4 Nomenclature

Dans le présent chapitre, lorsque l'expression F^*_{00} est utilisée, elle doit être remplacée par F_{00} pour les moteurs qui n'emploient pas la postcombustion. S'il s'agit de la circulation au sol ou du ralenti F_{00} est toujours utilisée.

3.1.5 Conditions de référence

3.1.5.1 ***Conditions atmosphériques*** :

Les conditions atmosphériques de référence doivent être celles de l'atmosphère type internationale au niveau de la mer, sauf pour l'humidité absolue de référence qui doit être égale à 0,00634 kg d'eau par kg d'air sec.

3.1.5.2 ***Réglages de poussée***

Le moteur doit être essayé à un nombre de réglages de puissance suffisant pour définir les caractéristiques d'émission de gaz et de fumée de façon que les taux d'émission de gaz et les indices de fumée ramenés aux conditions ambiantes de référence puissent être déterminés aux pourcentages ci-après du régime nominal de décollage comme il sera convenu par l'autorité primaire de certification:

Régime d'utilisation	*Réglage de poussée*
Décollage	100 % de F^*_{00}
Montée	65 % de F^*_{00}
Descente	15 % de F^*_{00}
Approche	34 % de F^*_{00}
Circulation au sol et ralenti	5,8 % de F_{00}

3.1.5.3 ***Cycle d'émissions de référence à l'atterrissage et au décollage (CAD)***

Le cycle d'émissions de référence CAD pour le calcul des émissions gazeuses doit être représenté par les temps ci-dessous pour chaque régime d'utilisation.

Phase	*Temps au régime d'utilisation (minutes)*
Décollage	1,2
Montée	2,0
Descente	1,2
Approche	2,3
Circulation au sol et ralenti	26,0

3.1.5.4 ***Spécifications du carburant***

Le carburant utilisé au cours des essais doit répondre aux spécifications de l'Appendice 4. Le carburant ne doit pas contenir d'additifs destinés à supprimer la fumée (tels que des composés organométalliques).

3.1.6 **Conditions d'essai**

3.1.6.1 Pour l'exécution des essais, le moteur doit reposer sur son banc d'essai.

3.1.6.2 Le moteur doit être représentatif de la configuration de certification (voir Appendice 6); les prélèvements d'air et les entraînements des accessoires autres que ceux qui sont nécessaires au fonctionnement de base du moteur ne doivent pas être simulés.

3.1.6.3 Les mesures effectuées aux réglages de poussée spécifiées au § 3.1.5.2 doivent être effectuées au niveau de postcombustion normalement utilisé, s'il' y a lieu.

3.1.6.4 Lorsque les conditions d'essai diffèrent des conditions de référence spécifiées au § 3.1.5, les résultats d'essai doivent être ramenés aux conditions de référence par les méthodes indiquées à l'Appendice 5.

3.2. FUMÉE

3.2.1. Indice de fumée réglementaire

À chaque réglage de poussée, l'indice de fumée mesuré et calculé conformément aux procédures de l'Appendice 2 et ramené au niveau caractéristique en appliquant les procédures de l'Appendice 6 ne doit pas dépasser le niveau réglementaire donné par la formule ci-après:

Indice de fumée réglementaire = $83{,}6\ (F^*_{00})^{-0{,}274}$

ou

50 si la valeur ci-dessus est supérieure à 50

Note.- L'autorité primaire de certification peuvent aussi accepter des valeurs obtenues en utilisant la postcombustion, pourvu que la validité de ces données soit démontrée de façon satisfaisante.

3.3. ÉMISSIONS GAZEUSES

3.3.1. Niveaux réglementaires

Les niveaux d'émission de gaz mesurés et calculés conformément aux procédures de l'Appendice 3 ou de l'Appendice 5, selon le cas, et ramenés aux niveaux caractéristiques suivant les procédures de l'Appendice 6 ne doivent pas dépasser les niveaux réglementaires donnés par les formules ci-après :

Hydrocarbures (HC): $D_p/F^*_{00} = 140(0{,}92)^{\pi_{00}}$

Monoxyde de carbone (CO): $D_p/F^*_{00} = 4\ 550\ (\pi_{00})^{-1{,}03}$

Oxydes d'azote (NO_x): $D_p/F^*_{00} = 36 + 2{,}42\pi_{00}$

Note.- Le niveau caractéristique de l'indice de fumée ou émissions de gaz polluants est défini comme étant le quotient de la moyenne des valeurs de tous les moteurs essayés, mesurées et corrigées pour les ramener au moteur de référence et aux conditions ambiantes de référence, par le coefficient correspondant au nombre de moteurs essayés, figurant à l'Appendice 6.

3.4. RENSEIGNEMENTS NÉCESSAIRES

Note:- Les renseignements nécessaires sont divisés en trois groupes: 1) renseignements généraux pour identifier les caractéristiques du moteur, le carburant utilisé et la méthode d'analyse des données; 2) données tirées des essais du moteur; 3) résultats tirés des données d'essai.

3.4.1. Les renseignements suivants doivent être fournis pour chaque type de moteur soumis aux essais de certification-émissions:

a) identification du moteur;

b) régime nominal de décollage (en Kilonewton);
c) régime nominal de décollage avec postcombustion, s'il y a lieu (en Kilonewton);
d) rapport de pression de référence;
e) spécification du carburant;
f) rapport hydrogène/carbone du carburant;
g) méthodes d'obtention des données;
h) méthode de correction pour les conditions ambiantes;
i) méthode d'analyse des données.

3.4.2. Renseignements sur les essais

Les renseignements suivants doivent être fournis pour chaque moteur essayé aux fins de certification à chacun des réglages de poussée spécifiés au § 3.1.5.2. Ces renseignements doivent être fournis après avoir été ramenés aux conditions ambiantes de référence, s'il y a lieu:

a) débit de carburant (en kilogrammes/seconde);

b) indice d'émission (en grammes/kilogramme) pour chaque polluant gazeux;

c) pourcentage de poussée fourni par la postcombustion;

d) indice de fumée mesuré.

3.4.3. Renseignements tirés des essais

3.4.3.1. Les renseignements tirés des essais ci-après doivent être fournis pour chaque moteur essayé aux fins de certification:

a) taux d'émission, c'est-à-dire l'indice d'émission multiplié par le débit de carburant (en grammes/seconde) pour chaque polluant;

b) émission brute totale de chaque polluant gazeux mesurée sur un cycle CAD (en grammes);

c) valeur de D_p/F^*_{00} pour chaque polluant gazeux (en grammes/Kilonewton);

d) indice de fumée maximal.

3.4.3.2. L'indice de fumée caractéristique et les niveaux d'émission des polluants gazeux doivent être fournis pour chaque type de moteur pour lequel la certification est demandée.

Note.- Le niveau caractéristique de l'indice de fumée ou des émissions de gaz polluants est défini comme étant le quotient de la moyenne des valeurs de tous les moteurs essayés, mesurées et corrigées pour les ramener au moteur de référence et aux conditions ambiantes de référence, par le coefficient correspondant au nombre de moteurs essayés, figurant à l'Appendice 6.

CHAPITRE 4. ÉMISSIONS DE PARTICULES

4.1. GENERALITES

4.1.1 Application

4.1.1.1 Les dispositions du présent chapitre s'appliquent à tous les moteurs d'aviation, comme spécifié en détail dans la section 4.2, destinés à la propulsion aux vitesses subsoniques seulement.

4.1.1.2 Les dispositions particulières aux catégories pertinentes de moteur s'appliquent, comme il est spécifié en détail dans la section 4.2, sauf si l'autorité primaire de certification ou l'autorité compétente qui a juridiction sur l'organisme responsable de la production des moteurs accorde des dérogations à un nombre limité de moteurs pendant une période spécifique au-delà des dates d'applicabilité indiquées dans la section 4.2 pour la construction du moteur visé.

4.1.1.3 Dans de tels cas, une attestation de dérogation est émise par l'autorité primaire de certification ou l'autorité compétente qui a juridiction sur l'organisme responsable de la production des moteurs, les plaques d'identification sur les moteurs doivent porter la marque « EXEMPTÉ » et la délivrance de la dérogation doit être consignée dans le dossier permanent du moteur. L'autorité primaire de certification ou l'autorité compétente ayant juridiction sur l'organisme responsable de la production des moteurs tiendra compte du nombre de moteurs exemptés qui doivent être produits et de leurs incidences sur l'environnement. Les dérogations doivent être consignées par numéro de série de moteur et mises à disposition dans un registre officiel public. L'exemption accordée par l'autorité primaire de certification ou l'autorité compétente qui a juridiction sur l'organisme responsable de la production des moteurs doit être accepté par l'Autorité de l'aviation civile.

Note.— D'autres éléments indicatifs sur l'octroi de dérogations figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume 2 — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

4.1.2 Émissions considérées

La présente section porte sur le contrôle des émissions massiques de particules non volatiles ($nvPM_{mass}$).

4.1.3 Unités de mesure aux fins de la communication

4.1.3.1 Les concentrations massiques de nvPM sont exprimées en microgrammes/m^3.

4.1.3.2 La masse de nvPM émises durant le cycle d'émissions de référence à l'atterrissage et au décollage (LTO), définies au § 4.1.4.2 (LTO_{mass}), est exprimée en milligrammes.

4.1.4 4.1.3.3 Le nombre de nvPM émises durant le cycle d'émissions de référence à l'atterrissage et au décollage (LTO), définies au § 4.1.4.2 (LTO_{num}), est exprimé en nombre de particules. **Conditions de référence**

4.1.4.1 Conditions atmosphériques

4.1.4.2 Les conditions atmosphériques de référence pour le moteur de référence standard doivent être celles de l'atmosphère type internationale (ISA) au niveau de la mer, sauf l'humidité absolue de référence qui doit être de 0,00634 kg d'eau par kg d'air sec. **Émissions de référence correspondant au cycle d'atterrissage et de décollage (LTO)**

Le moteur doit être essayé à des réglages de poussée suffisants pour définir ses caractéristiques d'émission de nvPM, de façon à ce que les indices d'émissions massiques de nvPM (EI_{mass}) et les indices d'émissions en nombre de nvPM (EI_{num}) puissent être déterminés aux réglages de poussée de référence du cycle LTO et aux poussées produisant la concentration massique maximale de $nvPM_{mass}$, l'EI_{mass} maximal et l'EI_{num} maximal, comme convenu avec l'autorité primaire de certification :Aux fins de calcul et de communication des émissions de nvPM, les émissions durant le cycle LTO de référence doivent être représentées par les réglages et la durée de poussée ci-après, pour chaque régime d'utilisation :

Régime d'utilisation CAD	*Réglage % de F_{oo}*	*Durée en régime d'utilisation Minutes*
Décollage	100	0,7
Montée	85	2,2
Approche	30	4,0
Circulation au sol et ralenti	7	26,0

4.1.4.3 Spécifications du carburant

Le carburant utilisé au cours des essais doit répondre aux spécifications de l'Appendice 4.

4.1.5 Conditions d'essai

4.1.5.1 Pour l'exécution des essais, le moteur doit être monté sur son banc d'essai.

4.1.5.2 Le moteur doit être représentatif de la configuration de certification (voir Appendice 6) ; les prélèvements d'air et les entraînements des accessoires autres que ceux qui sont nécessaires au fonctionnement de base du moteur ne doivent pas être simulés.

4.1.5.3 Lorsque les conditions d'essai diffèrent des conditions atmosphériques de référence spécifiées au § 4.1.4.1, l'EI_{mass} et l'EI_{num} sont ramenés à la température de l'entrée de la chambre de combustion dans les conditions atmosphériques de référence conformément aux procédures de l'Appendice 7.

4.2. ÉMISSIONS DE PARTICULES NON VOLATILES

4.2.1. Application

4.2.1.1 Les dispositions spécifiées de façon plus précise aux § 4.2.2 et 4.2.3 s'appliquent à tous les turboréacteurs et réacteurs à turbosoufflante d'un type ou d'un modèle dont la poussée nominale est supérieure à 26,7 kN.

4.2.2. 4.2.1.2 Les dispositions du présent chapitre s'appliquent également aux moteurs conçus pour des applications qui autrement auraient été exécutées par des turboréacteurs ou des réacteurs à turbosoufflante, et qui sont conçus comme un groupe motopropulseur intégré et certifié avec une poussée nominale. **Niveaux réglementaires**

4.2.2.1 Concentration massique maximale de nvPM

Dans le cas des moteurs dont la date de construction est le 1er janvier 2020 ou une date ultérieure, la concentration maximale massique de nvPM obtenue par des mesures à des réglages de poussée suffisants, de manière à ce que le maximum d'émission puisse être déterminé, et qui aura été calculée conformément aux procédures de l'Appendice 7 et ramenée à des niveaux caractéristiques suivant les procédures de l'Appendice 6 ne doit pas dépasserle niveau réglementaire obtenu par la formule ci-après :

Limite réglementaire de la concentration massique de $\mathrm{nvPM} = 10^{(3 + 2{,}9\, F_{oo}{}^{-0{,}274})}$

Note 1.— Puisqu'il y a corrélation entre la concentration massique de nvPM et l'indice de fumée, le niveau réglementaire du §4.2.2.1 a été établi à partir du niveau réglementaire de l'indice de fumée. Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient de plus amples détails.

Note 2.— Les dispositions du § 4.2.2.1 s'appliquent aux moteurs d'une poussée nominale supérieure à 26,7 kN dont la date de construction est le 1er janvier 2020 ou une date ultérieure. En conséquence, elles s'appliquent aussi aux moteurs d'une poussée nominale supérieure à 26,7 kN, y compris leurs versions dérivées d'une poussée nominale supérieure à 26,7 kN, qui ont été certifiés à l'origine en fonction de l'indice de fumée réglementaire spécifié au Chapitre 2, § 2.2.2, et qui ne doivent pas obligatoirement satisfaire aux dispositions du Chapitre 2, § 2.2.2, s'ils ont été construits le 1 er janvier 2023 ou à une date ultérieure. Des éléments indicatifs figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

4.2.2.2 Masse et nombre de nvPM émises durant le cycle de référence LTO

Les niveaux d'émissions en masse et en nombre de nvPM, mesurés et calculés selon les procédures de l'Appendice 7 et convertis à des niveaux caractéristiques relevant des procédures de l'Appendice 6, ne doivent pas dépasser les niveaux réglementaires déterminés selon les formules ci-après :

a) LTO_{mass} :

1) Moteurs dont la date de construction est le 1er janvier 2023 ou une date ultérieure :

i) moteurs dont la poussée nominale est supérieure à 200 kN :

$$LTO_{mass}/F_{oo} = 347{,}5$$

ii) moteurs dont la poussée nominale est supérieure à 26,7 kN mais égale ou inférieure à 200 kN :

$$LTO_{mass}/F_{oo} = 4646{,}9 - 21{,}497F_{oo}$$

2) Moteurs d'un type ou d'un modèle pour lequel une demande de certificat de type est soumise le 1er janvier 2023 ou à une date ultérieure :

i) moteurs dont la poussée nominale est supérieure à 150 kN :

$$LTO_{mass}/F_{oo} = 214{,}0$$

ii) moteurs dont la poussée nominale est supérieure à 26,7 kN mais égale ou inférieure à 150 kN :

$$LTO_{mass}/F_{oo} = 1251{,}1 - 6{,}914F_{oo}$$

b) LTO num :

1) Moteurs dont la date de construction est le 1er janvier 2023 ou une date ultérieure :

i) moteurs dont la poussée nominale est supérieure à 200 kN :

$$LTO_{num}/F_{oo} = 4{,}170 \text{ x } 10^{15}$$

ii) moteurs dont la poussée nominale est supérieure à 26,7 kN mais égale ou inférieure à 200 kN :

$$LTO_{num}/F_{oo} = 2{,}669 \text{ x } 10^{16} - 1{,}126 \text{ x } 10^{14}F_{oo}$$

2) Moteurs d'un type ou d'un modèle pour lequel une demande de certificat de type est soumise le 1er janvier 2023 ou à une date ultérieure :

i) moteurs dont la poussée nominale est supérieure à 150 kN :

$$LTO_{num}/F_{oo} = 2{,}780 \text{ x } 10^{15}$$

ii) moteurs dont la poussée nominale est supérieure à 26,7 kN mais égale ou inférieure à 150 kN :

$$LTO_{num}/F_{oo} = 1{,}490 \text{ x } 10^{16} - 8{,}080 \text{ x } 10^{13}F_{oo}$$

4.2.3. Exigence de communication

Le constructeur doit communiquer les valeurs suivantes pour les émissions de nvPM mesurées et calculées conformément aux procédures de l'Appendice 7 :

a) EI_{mass} maximal (milligrammes/kg de carburant) ;

b) EI_{num} maximal (particules/kg de carburant).

4.3. RENSEIGNEMENTS NECESSAIRES

4.3.1. *Note.— Les renseignements nécessaires sont divisés en trois groupes : 1) renseignements généraux pour identifier les caractéristiques du moteur, le carburant utilisé et la méthode d'analyse des données ; 2) données obtenues à partir des essais moteur ; 3) renseignements dérivés.* **Renseignements généraux**

Les renseignements suivants doivent être fournis pour chaque type de moteur pour lequel une certification en matière d'émissions est demandée :a) identification du moteur ;

b) poussée nominale (kN) ;

c) rapport de pression de référence ;

d) spécification du carburant ;

e) rapport hydrogène/carbone du carburant ;

f) méthodes d'obtention des données ;

g) méthode d'analyse des données.

4.3.2. Renseignements concernant les essais

4.3.2.1 Les renseignements suivants doivent être fournis pour chaque moteur mis à l'essai aux fins de certification :

a) chaleur nette de combustion du carburant (MJ/kg) ;

b) teneur en hydrogène du carburant (% de masse) ;

c) teneur totale en hydrocarbures aromatiques du carburant (% de volume) ;

d) teneur en naphtalènes du carburant (% de volume) ;

e) teneur en soufre du carburant (ppm en masse).

4.3.2.2 Les renseignements ci-après, mesurés et calculés selon les procédures de l'Appendice 7, doivent être fournis pour chaque moteur mis à l'essai aux fins de certification :

a) débit de carburant (kg/s) à chaque réglage de poussée du cycle LTO ;

b) EI_{mass} (milligrammes/kg de carburant) à chaque réglage de poussée du cycle LTO ;

c) EI_{num} (particules/kg de carburant) à chaque réglage de poussée du cycle LTO.

4.3.3 Renseignements dérivés

4.3.3.1 Les renseignements dérivés ci-après doivent être fournis pour chaque moteur mis à l'essai aux fins de certification :

a) taux d'émissions, EI_{mass} × débit de carburant, (milligrammes/s) pour la masse de nvPM ;

b) taux d'émissions, EI_{num} × débit de carburant, (particules/s) pour le nombre de nvPM ;

c) émissions totales brutes en masse de nvPM sur la durée du cycle LTO (milligrammes) ;

d) émissions totales brutes en nombre de nvPM sur la durée du cycle LTO (particules) ;

e) valeurs de LTO_{mass} /F_{oo} (milligrammes/kN) ;

f) valeurs de LTO_{num} /F_{oo} (particules/kN) ;

g) concentration massique maximale de nvPM (microgrammes/m^3).

4.3.3.2 Les niveaux caractéristiques doivent être fournis pour la concentration massique maximale de nvPM, la LTO_{mass} /Foo et la LTO_{num} /F oo pour chaque type de moteur pour lequel la certification-émissions est demandée.

PARTIE 4- ÉVALUATION DES PARTICULES NON VOLATILES À DES FINS D'INVENTAIRE ET DE MODÉLISATION

Note.— Les facteurs de correction de pertes dans le système, en masse et en nombre de nvPM, permettent une estimation de la concentration des nvPM en masse et en nombre à la sortie du moteur d'aviation à partir de la concentration de nvPM en masse et en nombre obtenue conformément aux procédures de l'Appendice 7.

Pour les moteurs de type ou de modèle visés par le Chapitre 4 de la Partie 3, et dont la date de construction individuelle est le 1er janvier 2023 ou une date ultérieure, les facteurs de correction de pertes dans le système, en masse et en nombre de nvPM (k_{SLmass} et k_{SLnum}), et les valeurs EI_{mass} et EI_{num} corrigées pour tenir compte des pertes, doivent être estimés conformément aux procédures de l'Appendice 8 ou à d'autres procédures approuvées par le service compétent désigné par l'autorité de l'aviation civile. Les estimations obtenues pour k_{SL_mass}, k_{SL_num}, EI_{mass} et EI_{num} doivent être communiquées au service compétent désigné par l'autorité de l'aviation civile.

APPENDICES ET SUPPLEMENTS

APPENDICE 1 : MESURE DU RAPPORT DE PRESSION DE RÉFÉRENCE

1. GÉNÉRALITÉS

1.1 Le rapport de pression doit être déterminé en utilisant un moteur représentatif.

1.2 Le rapport de pression de référence doit être obtenu en établissant la corrélation entre le rapport de pression mesuré ou les rapports de pression mesurés et la poussée du moteur ramenée aux conditions de pression ambiante du jour type, et en reportant cette corrélation sur le rapport de pression correspondant à la poussée nominale de décollage standard du jour type.

2. MESURELa pression totale doit être mesurée au niveau de la sortie du dernier étage du compresseur et à l'entrée du compresseur en disposant au moins quatre sondes de pression de façon à diviser la section du flux d'air en quatre secteurs égaux et en prenant la moyenne des quatre valeurs obtenues.

Note.- La pression totale de sortie doit être mesurée en un point aussi proche que possible de la sortie du compresseur. Cependant, l'autorité primaire de certification peut approuver d'autres moyens d'estimation de la pression totale à la sortie du compresseur si le moteur est conçu de façon que l'installation des sondes de pression mentionnée ci-dessus soit pratiquement impossible pour l'analyse des émissions.

2.2 Les facteurs de corrélation nécessaires doivent être déterminés au cours de l'essai de certification de type en utilisant les essais et l'analyse d'au moins un moteur et de tous ses éléments associés.

2.3 Les procédures utilisées doivent être jugées acceptables par l'autorité primaire de certification.

APPENDICE 2 : ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE FUMÉE

1. INTRODUCTION ET DÉFINITIONS

Note.- La méthode spécifiée ci-après a pour but le prélèvement d'échantillons représentatifs des gaz d'échappement, leur acheminement jusqu'au dispositif de mesure des émissions et leur analyse dans ce dispositif.

Lorsque les expressions et les symboles suivants sont utilisés dans le présent appendice, ils ont les significations indiquées ci-dessous:

Masse d'échantillon de référence : Masse d'échantillon de 16,2 kg/m² de superficie de tache de fumée sur le filtre qui, si elle traversait le filtre, produirait une variation de réflectivité représentant la valeur du paramètre SN.

Masse de l'échantillon : Masse d'un échantillon choisi, dont la valeur (exprimée en kilogrammes par mètre carré de superficie de la tache de fumée sur le filtre) se situe dans la gamme prescrite au § 2.5.3 alinéa h), du présent appendice qui produit, si elle traverse le filtre, une variation de réflectivité représentant la valeur du paramètre SN'.

SN : Indice de fumée; expression sans dimension exprimant quantitativement le niveau d'émissions de fumée, déterminé d'après la tache de fumée produite sur un filtre par la masse d'échantillon de référence de gaz d'échappement selon un barème allant de 0 à 100 (voir § 3 du présent appendice).

SN' : Indice de fumée d'un échantillon donné dont la taille n'est pas nécessairement égale à celle de l'échantillon de référence, tel qu'il est défini au § 3 du présent appendice.

Volume de l'échantillon : Volume d'un échantillon choisi (exprimé en mètres cubes) dont la masse équivalente, calculée de la manière indiquée dans le § 3 du présent appendice, est conforme à la définition ci-dessus.

W **:** Masse en kilogrammes d'un échantillon donné de gaz d'échappement calculée d'après les mesures du volume, de la pression et de la température de l'échantillon (voir § 3 du présent appendice).

2. MESURES DES ÉMISSIONS DE FUMÉE

2.1. SONDE DE PRÉLÈVEMENTS DE FUMÉE

La sonde de prélèvement doit répondre aux exigences suivantes :

a) La partie de la sonde avec laquelle l'échantillon de gaz d'échappement est en contact doit être en acier inoxydable ou d'un autre métal non réactif.

b) Si une sonde de prélèvement à orifices de prélèvement multiples est utilisée :

   1) tous les orifices de prélèvement doivent avoir le même diamètre. Et

   2) La sonde de prélèvement doit être conçue de telle manière que 80 % au moins de la chute de pression à travers la sonde se produise aux orifices.

c) Le nombre de points de prélèvement ne doit pas êtreinférieur à 12.

d) La section d'échantillonnage doit être aussi proche de la sortie de la tuyère d'échappement du moteur que le permet le fonctionnement du moteur, mais elle ne doit en aucun cas se trouver à une distance de la sortie de la tuyère supérieure au rayon de cette dernière.

e) Le postulant doit fournir à l'autorité primaire de certification, au moyen de coupes détaillées, la preuve que le modèle et la position de la sonde qu'il propose fournissent un échantillon représentatif pour chaque réglage de poussée prescrit.

2.2. ACHEMINEMENT DES ÉCHANTILLONS DE FUMÉE

2.2.1. L'échantillon doit être acheminé de la sonde jusqu'au système de collecte des échantillons au moyen d'une tuyauterie de 4,0 mm à 8,5 mm de diamètre intérieur par la voie la plus directe dont la longueur ne doit en aucun cas être supérieure à 25 m. La température de la tuyauterie doit être maintenue ente 60 °C et 175 °C avec une stabilité de ±15 °C, sauf sur la distance nécessaire pour refroidir le gaz de la température d'échappement du moteur à la température de contrôle de la tuyauterie.

2.2.2. La tuyauterie d'échantillonnage doit être aussi rectiligne que possible. Tout coude inévitable doit avoir un rayon supérieur à dix fois le diamètre intérieur de la tuyauterie. Le matériau de la tuyauterie doit être de nature à empêcher les dépôts de particules ou la production d'électricité statique.

Note.- L'acier inoxydable et le polytétrafluoréthylène (PTFE) chargé de carbone et mis à la masse répondent à cette condition.

2.3. DISPOSITIF D'ANALYSE DE LA FUMÉE

Note.- La méthode prescrite ici est fondée sur la mesure de la diminution de la réflectivité d'un filtre lorsque celui-ci a été traversé par une masse donnée d'un échantillon de gaz d'échappement.

La disposition des divers éléments du dispositif utilisés à cette fin doit être celle qui est indiquée schématiquement sur la Figure A2-1. Une dérivation facultative contournant le débitmètre pourra être installée pour en faciliter la lecture. Les principaux éléments du système correspondront aux spécifications suivantes ***:***

a) *Mesure du volume de l'échantillon.* Un compteur humide ou sec doit être utilisé pour mesurer le volume de l'échantillon avec une précision de ±2 %. La pression et la température *à* l'entrée de ce compteur doivent être également mesurées avec des précisions respectives de 0,2 % et ±2°C.

b) *Débit du prélèvement.* Le débit du prélèvement doit être maintenu à une valeur de 14 ± 0,5 L/min et le débitmètre à cette fin doit pouvoir effectuer cette mesure avec une précision de ±5 %.

c) *Filtre et support.* Le support de filtre doit être construit dans un matériau résistant à la corrosion et placé comme il est indiqué sur la Figure A2-1. Le filtre doit être du type Whatman n°4 ou constitué par un matériau équivalent approuvé par l'autorité primaire de certification .

d) *Robinets.* Quatre robinets doivent être prévus comme l'indique la Figure A2-1.

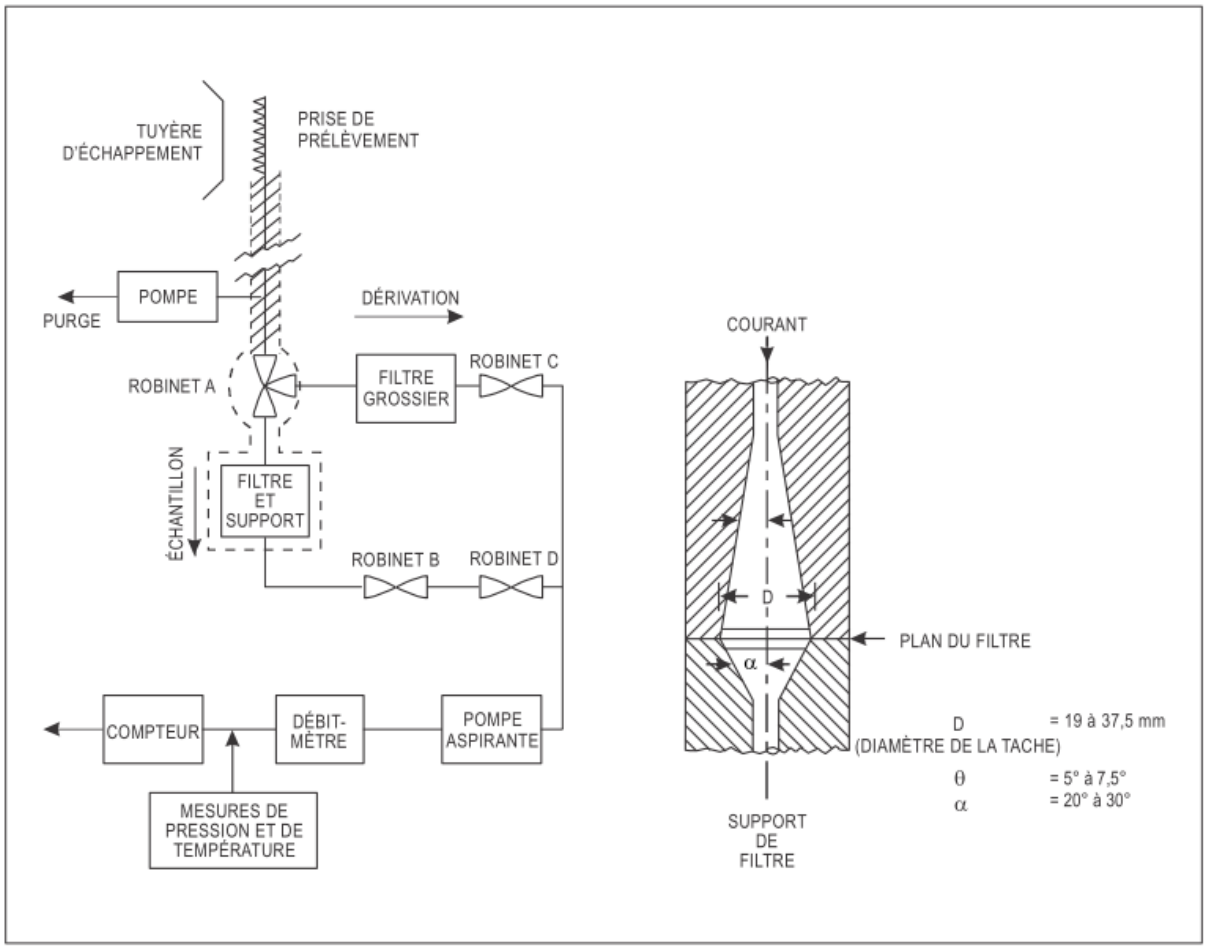

Figure A2-1. Système d'analyse de la fumée

1) Le robinet A doit être un robinet de dérivation à commande rapide à plein débit permettant de diriger l'échantillon à travers le filtre ou vers des circuits de dérivation ou de fermer l'arrivée des gaz.

Note.- Selon la configuration, le robinet A peut, être composé de deux robinets interconnectés pour exécuter la fonction nécessaire.

2) Les robinets B et C doivent être des robinets de réglage et ils doivent être utilisés pour régler le débit dans le dispositif.

3) Le robinet D est un robinet d'arrêt permettant d'isoler le support de filtre.

Tous les robinets doivent être fabriqués dans un matériau résistant à la corrosion.

e) *Pompe aspirante.* Cette pompe doit supporter sans débiter une dépression de -75 kPa par rapport à la pression atmosphérique; son débit à plein régime ne doit pas être inférieur à 26L/min à température et pression standard.

f) *Contrôle de la température.* La tuyauterie de prélèvement interne de l'analyseur jusqu'au support de filtre doit être maintenue à une température comprise entre 60 °C et 175 °C avec une stabilité de ±15 °C.

Note.- L'objet de ce contrôle est d'empêcher la condensation de l'eau avant le support de filtre et à l'intérieur de celui-ci.

g) Si l'on veut obtenir un débit plus élevé à la sonde de prélèvement qu'au support de filtre, on peut installer facultativement un séparateur de débit entre la sonde et le robinet A (Figure A2-1), pour rejeter le débit excédentaire. La tuyauterie de rejet doit être aussi proche que possible de la sonde et ne doit pas compromettre l'aptitude du dispositif d'échantillonnage à maintenir le niveau requis de 80 % de chute de pression à travers la sonde. Le débit rejeté peut aussi être envoyé à l'analyseur de CO_2 ou à un système d'analyse complète des émissions.

h) Si l'on emploie un séparateur de débit, on doit faire un essai pour démontrer qu'il ne modifie pas la quantité de fumée qui parvient au support de filtre. On pourra y effectuer cet essai en inversant l'écoulement de la tuyauterie de rejet à partir du séparateur de débit et en montrant que, dans la mesure où la méthode est précise, la quantité de fumée ne change pas.

i) *Fuite.* Le dispositif doit subir avec succès l'essai suivant:

1) fixer un filtre propre dans le support de filtre;

2) fermer le robinet A et ouvrir à fond les robinets B, C et D;

3) mettre en marche la pompe aspirante pendant 1 minute pour atteindre les conditions d'équilibre ;

4) continuer à faire fonctionner la pompe et mesurer le débit à travers le compteur pendant une période de 5 minutes. Ce débit ne doit pas excéder 1L/min (à température et pression standard) et le dispositif ne doit pas être utilisé tant que ce résultat ne est pas atteint.

j) *Réflectomètre.* Les mesures de la densité de réflexion diffuse du filtre doivent être effectuées à l'aide d'un instrument conforme à la norme ISO 5-4 de l'Organisation internationale de normalisation (norme ISO 5-4:1995 « Photographie – Mesurage des densités – Partie 4: Conditions géométriques pour la densité instrumentale par réflexion ». Le diamètre du faisceau lumineux du réflectomètre sur le filtre ne doit ni dépasser D/2 ni être inférieur à D/10, D étant le diamètre de la tache sur le filtre indiquée sur la Figure A2-1.

2.4. SPÉCIFICATIONS DU CARBURANT

Le carburant doit être conforme aux spécifications de l'Appendice 4.

2.5. MÉTHODE DE MESURE DE LA FUMÉE

2.5.1. Fonctionnement du moteur

2.5.1.1. Le moteur doit être placé sur un banc d'essai statique approprié et convenablement équipé pour des essais de performances de haute précision.

2.5.1.2. Les essais doivent être effectués aux réglages de poussée approuvés par l'autorité primaire de certification. Le moteur doit être stabilisé à chaque régime.

2.5.2. Vérifications d'étanchéité et de propreté

On ne doit pas effectuer de mesures tant que toutes les tuyauteries d'acheminement des échantillons et les robinets ne sont pas chauds et stables. Avant d'entamer une série d'essais le système doit être vérifié aux points de vue étanchéité et propreté de la manière suivante:

a) *Vérification d'étanchéité.* Isoler la sonde et fermer le robinet de la tuyauterie d'acheminement, effectuer l'essai d'étanchéité spécifié au § 2.3 alinéa h) du présent appendice, mais avec le robinet A ouvert et sur «dérivation», le robinet D fermé et une limite de fuite de 0,4L/min à température et pression standard. Remettre en communication la sonde et la tuyauterie.

b) *Vérification de propreté:*

1) ouvrir les robinets B, C et D ;

2) mettre en marche la pompe à vide et mettre alternativement le robinet A sur «dérivation» et «échantillon» pour purger tout le système avec de l'air propre pendant 5 minutes;

3) mettre le robinet A sur «dérivation»;

4) fermer le robinet D et mettre un filtre propre dans le support de filtre. Ouvrir le robinet D;

5) mettre le robinet A sur «échantillon» et lorsque 50 kg d'air par mètre carré de filtre ont traversé le filtre, le tourner sur «dérivation»;

6) mesurer SN' de la tache de fumée du filtre selon la méthode décrite à la section 3 du présent appendice;

7) si la valeur de SN' dépasse 3, le système doit être nettoyé (ou corrigé de toute autre façon) jusqu'à ce qu'on obtienne une valeur inférieure à 3.

Le système ne doit pas être utilisé tant que les spécifications de ces vérifications d'étanchéité et de propreté n'ont pas été obtenues.

2.5.3. Mesure de la fumée

La mesure de la fumée doit être effectuée indépendamment des autres mesures à moins que les valeurs de la fumée ainsi mesurées soient sensiblement inférieures aux valeurs limites ou qu'il puisse être démontré que les valeurs de la fumée obtenues par des mesures simultanées de la fumée et des gaz sont valides, auquel cas cette mesure peut être effectuée en même temps que la mesure des émissions gazeuses. Dans tous les cas, la condition de rayon de courbure de la tuyauterie de prélèvement indiquée au § 2.2.2 du présent appendice doit être rigoureusement respectée. Le dispositif d'analyse de la fumée doit être établi conformément aux spécifications du § 2.3 du présent appendice. Si l'on se reporte à la Figure A2-I, les principales opérations pour l'obtention des taches sur les filtres doivent être les suivantes:

a) Lorsque le moteur tourne avec la sonde en place, le robinet A ne doit pas être fermé, sinon il pourrait se produire des dépôts dans la tuyauterie ;

b) Tourner le robinet A sur «dérivation», fermer le robinet D et placer un filtre propre dans le support de filtre. Continuer à aspirer les gaz d'échappement dans la dérivation pendant au moins 5 minutes tandis que le moteur a atteint ou presque les conditions d'utilisation prescrites, le robinet C étant réglé de façon à donner un débit de 14 ± 0,5 L/min ;

c) Ouvrir le robinet D et tourner le robinet A sur «échantillon»; utiliser le robinet B pour rétablir le débit à la valeur indiquée à l'alinéa b) ;

d) Tourner le robinet A sur «dérivation» et fermer le robinet D, placer un filtre propre dans le support de filtre ;

e) Tandis que le moteur est stabilisé au régime voulu, laisser fonctionner 1 minute avec les réglages indiqués à l'alinéa d) ;

f) Ouvrir le robinet D, tourner le robinet A sur «échantillon», ajuster le débit, si cela est nécessaire, et laisser passer le volume choisi [voir alinéa h).)] avant de tourner le robinet A à nouveau sur «dérivation» et de fermer le robinet D ;

g) Retirer le filtre taché pour analyse et mettre un filtre propre dans le support de filtre ;

h) Le volume des échantillons choisis doit être tel que la quantité de gaz d'échappement par

mètre carré de filtre soit comprise entre 12 kg et 21 kg et les prélèvements doivent comprendre des échantillons correspondant soit à la valeur de 16,2 kg de gaz d'échappement par mètre carré de filtre, soit à des valeurs l'encadrant de part et d'autre. Le nombre des échantillons pour chaque régime de fonctionnement du moteur ne doit pas être inférieur à 3 et les manœuvres e) à g) doivent être répétées si cela est nécessaire.

3. CALCUL DE L'INDICE DE FUMÉE À PARTIR DES DONNÉES DE MESURE

3.1 Les échantillons de filtre taché obtenus comme il est indiqué au § 2.5.3 du présent appendice doivent être analysés à l'aide du réflectomètre spécifié au § 2.3 du présent appendice. Le matériau de fond utilisé doit être noir et avoir une réflectivité absolue inférieure à 3 %. La valeur de la réflectivité absolue de chaque filtre taché R_s doit être utilisée pour calculer la réduction de réflectivité au moyen de la formule :

$$SN' = 100 (1 - R_s / R_W)$$

où R_W est la réflectivité absolue du filtre propre.

3.2 Les masses des différents échantillons doivent être calculées à l'aide de la formule :

$W = 0{,}348\ PV/T\ x\ 10^{-2}$ (kg)

dans laquelle P et T sont respectivement la pression de l'échantillon en pascals et la température en kelvins mesurée immédiatement avant l'entrée du compteur. V est le volume mesuré de l'échantillon en mètres cubes.

3.3 Pour chaque régime de moteur, au cas où la taille des échantillons se situerait de part et d'autre de la valeur de référence, les diverses valeurs de SN' et de W doivent être portées sur un graphique en fonction de log W/A, A étant la surface de la zone tachée du filtre (en mètres carrés). En utilisant la méthode des moindres carrés, la valeur de SN' pour W/A = 16,2 kg/m^2 doit être évaluée et doit constituer l'indice de fumée (SN) pour le régime moteur considéré. Si l'on n'utilise que des échantillons qui ont la taille de référence, la valeur déclarée de SN doit être la moyenne arithmétique des différentes valeurs de SN'.

4. COMMUNICATION DES DONNÉES A L'AUTORITE PRIMAIRE DE CERTIFICATION

Les données mesurées doivent être communiquées à l'autorité primaire de certification. De plus, les données suivantes doivent être communiquées pour chaque essai:

a) température de l'échantillon;
b) pression de l'échantillon;
c) volume réel de l'échantillon dans les conditions de prélèvement;
d) débit réel de l'échantillon dans les conditions de prélèvement;
e) résultat des essais de vérification de fuite et de propreté (voir § 2.5.2 du présent appendice).

APPENDICE 3 : INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURE DES ÉMISSIONS GAZEUSES

1. INTRODUCTION

Note.- La méthode spécifiée dans le présent appendice porte sur le prélèvement d'échantillons représentatifs de gaz d'échappement, la transmission de ces échantillons au dispositif de mesure des émissions et l'analyse de ces échantillons dans ce dispositif. La méthode proposée, qui ne s'applique pas aux moteurs avec postcombustion, représente la meilleure et la plus répandue des méthodes dont on dispose.

2. DÉFINITIONS

Les expressions ci-dessous, employées dans le présent appendice, ont les significations indiquées :

Analyseur non dispersif à infrarouges : Instrument qui mesure certains composants par absorption de l'énergie infrarouge.

Bruit de fond : Variation aléatoire des indications d'un instrument qui n'est pas associée aux caractéristiques de l'échantillon que l'instrument mesure et qui se distingue des caractéristiques de dérive du zéro de l'instrument ;

Concentration de gaz : Proportion en volume d'un composant dans un mélange de gaz exprimé sous forme de pourcentage en volume ou de parties par million ;

Dérive du zéro : Déplacement avec le temps du zéro d'un instrument par rapport à la position fixée à l'origine lorsqu'il fonctionne avec un gaz exempt du composant à mesurer ;

Détecteur à ionisation de flamme : Détecteur à flamme air-hydrogène qui produit un signal nominalement proportionnel au débit massique des hydrocarbures qui pénètrent dans la flamme par unité de temps; ce signal est généralement fonction du nombre d'atomes de carbone qui entrent dans la flamme ;

Gaz de référence : Mélange de gaz de composition spécifiée et connue, utilisé comme base pour interpréter les réactions d'un instrument en fonction de la concentration du gaz auquel l'instrument réagit ;

Gaz d'étalonnage : Gaz de référence de haute précision utilisé pour l'étalonnage, le réglage et les vérifications périodiques des instruments ;

Gaz zéro : Gaz à utiliser pour déterminer le zéro d'un instrument ;

Interférence : Réaction de l'instrument due à la présence de composants autres que le gaz à mesurer ;

Parties de carbone par million (ppmC) : Proportion en moles d'hydrocarbure multipliées par 10^6, mesurée en équivalent de méthane. Ainsi, une ppm de méthane est exprimée par une ppmC. Pour convertir la concentration en ppm d'un hydrocarbure en ppmC équivalente, on multiplie la concentration de gaz en ppm par le nombre d'atomes de carbone par molécule du gaz. Par exemple, une ppm de propane devient 3 ppmC; une ppm d'hexane, 6 ppmC ;

Parties par million (ppm) : Concentration en unités de volume d'un gaz par million d'unités de volume du mélange dont le gaz considéré fait partie ;

Pouvoir séparateur : Plus petite variation d'une mesure qui puisse être décelée ;

Précision : Approximation d'une mesure par rapport à la valeur réelle établie indépendamment ;

Rapport air/carburant : Quotient du débit massique d'air à travers la section chaude du moteur par le débit massique de carburant qui arrive au moteur ;

Réponse : Variation du signal émis par un instrument sous l'effet d'une variation de la concentration de gaz d'un échantillon ;

Reproductibilité : Précision avec laquelle la mesure d'un échantillon donné immuable peut être reproduite à de courts intervalles sans ajustement de l'instrument ;

Stabilité : Précision avec laquelle la mesure d'un échantillon donné stable peut être maintenue sur une période de temps donnée ;

3. DONNÉES NÉCESSAIRES

3.1 ÉMISSIONS GAZEUSES

On doit déterminer les concentrations de gaz des émissions gazeuses suivantes :

a) Hydrocarbures (HC): évaluation globale de tous les hydrocarbures présents dans les gaz d'échappement.

b) Oxyde de carbone (CO).

c) Dioxyde de carbone (CO_2).

Note.- Le CO_2 ne fait pas partie des polluants gazeux réglementés mais la concentration du CO_2 est nécessaire pour les calculs et les vérifications.

d) Oxydes d'azote (NO**x**): on doit procéder à une estimation de la somme des deux oxydes, le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2).

e) Monoxyde d'azote (NO).

3.2 AUTRES RENSEIGNEMENTS

Afin de normaliser les données de mesure des émissions et de déterminer quantitativement les caractéristiques d'essai du moteur, les renseignements suivants doivent être fournis :

a) température d'admission ;
b) humidité d'admission ;
c) pression atmosphérique ;
d) rapport hydrogène/carbone du carburant ;
e) autres paramètres moteurs nécessaires (par exemple, poussée, vitesses du rotor, températures de la turbine et débit d'air du générateur de gaz).

Ces données doivent être obtenues soit par mesure directe, soit par calcul comme il est indiqué au § 3.2.1 du présent appendice.

3.2.1 Spécifications de données supplémentaires

Comme il est spécifié au § 3.2 du présent appendice, en plus des concentrations de gaz mesurées des éléments de l'échantillon, il doit falloir également fournir les données suivantes :

a) température d'admission : température totale mesurée en un point situé à une distance de la prise d'air du moteur égale au diamètre de cette prise d'air avec une précision de ±0,5 °C ;

b) humidité de l'air d'admission (kg d'eau/kg d'air sec) : cette humidité est mesurée en un point situé dans une limite de 50 mètres de la prise d'air en avant du moteur avec une précision de :

   1) ± 5 % de la mesure pour une humidité de l'air ambiant supérieure ou égale à 0,00634 kg d'eau/kg d'air sec, ou
   2) ± 0,000317 kg d'eau/kg d'air sec pour une humidité de l'air ambiant inférieure à 0,00634 kg d'eau/kg d'air sec ;

c) pression atmosphérique : cette pression est mesurée dans un rayon de 1 km du banc d'essai du moteur et corrigée selon les besoins pour tenir compte de l'altitude du banc d'essai avec une précision de ±100 Pa ;

d) débit massique de carburant : ce débit est mesuré directement avec une précision de ±2% ;

e) rapport H/C du carburant : ce rapport est égal à la valeur *n/m,* C_m, H_n représentant l'hydrocarbure équivalent du carburant utilisé dans l'essai et évalué en fonction de l'analyse du type de carburant du moteur.

f) paramètres du moteur :

   1) poussée : mesurée directement avec une précision de ±1 % à la puissance de décollage et ±5 % à la poussée minimale utilisée dans l'essai de certification avec variation linéaire entre ces deux points ;

   2) vitesses de rotation: mesurées directement avec précision d'au moins ±0,5 % ;

   3) débit de l'air dans le générateur de gaz: déterminé avec une précision de ±2 % en fonction de l'étalonnage des performances du moteur.

Les paramètres spécifiés aux alinéas a), b), d) et f) doivent être déterminés pour chaque régime moteur de l'essai d'émissions tandis que le paramètre spécifié à l'alinéa c) doit être déterminé à des intervalles ne dépassant pas une heure pendant la durée des essais d'émissions.

4. DISPOSITION GÉNÉRALE DE L'APPAREILLAGE

Le carburant utilisé au cours des essais doit répondre aux spécifications ci-dessous, sauf si une exemption et toutes les corrections nécessaires. Le carburant ne doit pas contenir d'additifs destinés à supprimer la fumée (tels que des composés organo-métalliques).

On ne doit utiliser aucun produit ni aucun appareil de déshydratation pour traiter l'échantillon qui est acheminé vers les analyseurs d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures. Les spécifications requises pour les divers éléments du dispositif sont données au § 5, mais la liste ci-dessous indique certaines conditions et dérogations :

a) Il est admis que chacun des éléments du dispositif comprend les moyens nécessaires de contrôle du débit, de conditionnement et de mesure.

b) La nécessité d'une pompe de purge et/ou d'une pompe de prélèvement doit dépendre de

l'aptitude du dispositif à répondre aux spécifications de durée d'acheminement de l'échantillon et de débit dans l'élément analytique du dispositif. Cette aptitude dépend à son tour de la pression de propulsion de l'échantillon et des pertes de charge dans la tuyauterie. On estime que dans la plupart des cas ces pompes doivent être nécessaires dans certaines conditions de fonctionnement du moteur.

c) La position de la pompe de prélèvement par rapport à l'élément analytique du dispositif peut être différente si cela est nécessaire. (Par exemple, certains analyseurs d'hydrocarbures comprennent des pompes de prélèvement et, de ce fait, peuvent être jugés capables d'être utilisés en amont de la pompe de prélèvement du dispositif).

Note.- La Figure A3-1 est un schéma du dispositif de prélèvement et d'analyse des gaz d'échappement qui indique les spécifications fondamentales des essais sur les émissions des moteurs.

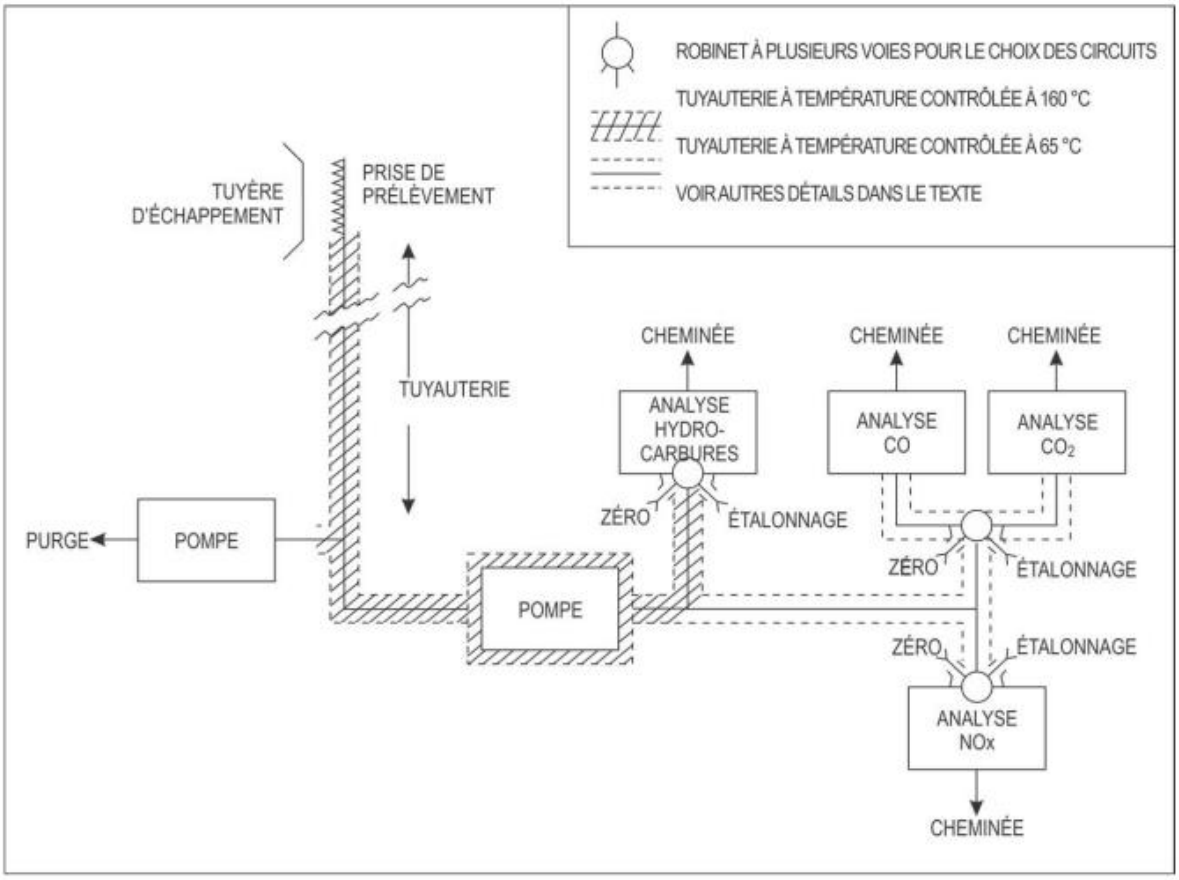

Figure A3-1. Schéma du dispositif de prélèvement et d'analyse

5. DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS

Note.- Une description et une spécification générales des principaux éléments du dispositif de mesure des gaz d'échappement des moteurs sont présentées ci-après. En cas de besoin, des détails complémentaires figurent aux § 5.2.1, 5.3.1 et 5.4.1 du présent appendice.

5.1 SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT

5.1.1. **Sonde de prélèvement**

La sonde de prélèvement doit répondre aux exigences suivantes :

a) La partie de la sonde avec laquelle l'échantillon de gaz d'échappement est en contact doit être en acier inoxydable ou d'un autre métal non réactif.

b) Si une sonde de prélèvement à orifice de prélèvement multiples est utilisée :

1) tous les orifices de prélèvement doivent avoir le même diamètre

2) la sonde de prélèvement doit être conçue de telle manière que 80 % au moins de la chute de pression à travers la sonde se produisent aux orifices.

c) Le nombre de points de prélèvement ne doit pas être inférieur à 12.

d) La section d'échantillonnage doit être aussi proche de la sortie de tuyère d'échappement du moteur que le permet le fonctionnement du moteur, mais elle ne doit en aucun cas se trouver à une distance de la sortie de la tuyère supérieure au rayon de cette dernière.

e) Le postulant doit fournir à l'autorité primaire de certification, au moyen de coupes détaillées, la preuve que le modèle et la position de la sonde qu'il propose fournissent un échantillon représentatif pour chaque réglage de poussée prescrit.

5.1.2. **Tuyauteries de prélèvement**

L'échantillon doit être acheminé de la sonde de prélèvement aux analyseurs au moyen d'une tuyauterie de 4,0 mm à 8,5 mm de diamètre intérieur par la voie la plus directe et en utilisant un débit tel que la durée d'acheminement soit inférieure à 10 secondes. La tuyauterie doit être maintenue à une température de 160 °C ± 15 °C, sauf a) sur la distance nécessaire pour refroidir le gaz de la température d'échappement du moteur à la température de contrôle de la tuyauterie, et b) sur l'embranchement qui amène les échantillons aux analyseurs de CO, CO_2 et NOx. Cet embranchement doit être maintenu à une température de 65 °C ± 15 °C . Lorsque le prélèvement a pour objet de mesurer les éléments HC, CO, CO_2 et NOx, la tuyauterie doit être en acier inoxydable ou en PTFE avec charge de carbone et mise à la masse.

5.2 ANALYSEUR D'HYDROCARBURES

La mesure de la teneur globale en hydrocarbures de l'échantillon doit être faite au moyen d'un analyseur utilisant un détecteur à ionisation de flamme entre les électrodes duquel passe un courant d'ionisation proportionnel au débit massique des hydrocarbures qui pénètrent dans une flamme d'hydrogène. L'analyseur doit comprendre des éléments destinés à contrôler la température et les débits de l'échantillon, la dérivation, le carburant et les gaz de dilution et à permettre une vérification effective de l'étalonnage et du zéro.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet au § 5.2.1 du présent appendice.

5.2.1 Spécification de l'analyseur d'hydrocarbures

Note 1.- Comme il est indiqué au § 5.2 du présent appendice, l'élément de mesure de cet analyseur est le détecteur à ionisation de flamme dans lequel l'échantillon ou une partie représentative de celui-ci est envoyé dans une flamme d'hydrogène. Au moyen d'électrodes convenablement disposées, un courant d'ionisation, qui est fonction du débit massique d'hydrocarbures à travers la flamme, peut être établi. C'est ce courant qui, rapporté à un zéro approprié, est amplifié pour donner une indication qui représente la concentration des hydrocarbures gazeux, exprimés en ppmC équivalente.

Note 2.- Voir les § 6.2.4 et 6.3.3 du présent Appendice pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

5.2.1.1 Généralités

Précautions : Les spécifications de performances indiquées s'entendent généralement pour la déviation maximale de l'analyseur. Des erreurs commises sur une déviation partielle peuvent représenter un pourcentage sensiblement plus élevé de la lecture. La pertinence et l'importance de ces augmentations doivent être prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent doivent être prises.

L'instrument utilisé doit être tel que la température du détecteur et des éléments d'acheminement des composants soit maintenue à une valeur qui ne descende pas sous 150°C. Les éléments principaux de la spécification doivent être les suivants, la réaction du détecteur étant optimale et l'instrument étant généralement stabilisé:

a) *Gamme complète de valeurs: 0* à 5 000 ppmC subdivisée en plages appropriées ;

b) *Pouvoir séparateur:* meilleur que 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou que 0,5 ppmC , si cette valeur est plus grande.

c) *Reproductibilité:* meilleur que ±1 % de la déviation maximale utilisée ou que ±0,5 ppmC, si cette valeur est plus grande.

d) *Stabilité:* meilleur que ±2 % de la déviation maximale utilisée ou que ±1 ppmC , si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure.

e) *Dérive du zéro:* inférieure à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±0,5 ppmC , si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure.

f) *Bruit de fond:* 0,5 Hz et plus, inférieur à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±0,5 ppmC , si cette valeur est plus grande.

g) *Temps de réponse:* ne doit pas dépasser 10 secondes depuis l'entrée de l'échantillon dans le dispositif d'analyse jusqu'à l'obtention de 90 % de la lecture finale ;

h) *Linéarité:* la réaction avec un mélange de propane et d'air doit être linéaire pour chaque plage dans les limites de ±2 % de la déviation maximale, sinon des corrections d'étalonnage doivent être utilisées.

5.2.1.2 Effets secondaires

Note.- Dans l'application de cette méthode, deux phénomènes peuvent influer sur la précision de la mesure :

a) *l'effet de l'oxygène (en raison duquel des proportions différentes d'oxygène dans l'échantillon donnent des concentrations indiquées d'hydrocarbures gazeux différentes pour une même concentration réelle d'hydrocarbures gazeux);*

b) *la réponse relative aux hydrocarbures (réponse différente à une même concentration d'hydrocarbures gazeux dans l'échantillon exprimée en ppmC équivalente, selon la nature ou le mélange des hydrocarbures).*

L'ampleur de l'effet de l'oxygène et de la réponse relative aux hydrocarbures doit être déterminée comme suit et limitée selon qu'il convient :

*Réponse à l'oxygène***.** Mesurer la réponse avec deux mélanges de propane à une concentration de gaz d'environ 500 ppmC, connue avec une précision relative de ±1 %:

a) propane dans un mélange d'oxygène et d'azote contenant 10 ± 1 % d'oxygène;

b) propane dans un mélange d'oxygène et d'azote contenant 21 ± 1 % d'oxygène.

Si on appelle R_1 et R_2 les réponses respectives normalisées, $(R_1 - R_2)$ doit être inférieure à 3 % de R_1.

Réponse différentielle aux hydrocarbures. Mesurer la réponse avec les quatre mélanges d'hydrocarbures différents ci-dessous dans l'air, à des concentrations de gaz d'environ 500 ppmC, connues avec une précision relative de ±1 %:

a) propane dans l'air zéro;

b) propylène dans l'air zéro;

c) toluène dans l'air zéro;

d) n-hexane dans l'air zéro.

Si R_a, R_b, R_c et R_d sont respectivement les réponses normalisées (par rapport au propane), $(R_a - R_b)$, $(R_a - R_c)$ et $(R_a - R_d)$ doivent être inférieures à 5 % de R_a.

5.2.1.3 Obtention de la réponse optimale du détecteur et réglage

5.2.1.3.1 Il y a lieu de respecter les instructions du constructeur en ce qui concerne la méthode de réglage initial ainsi que les services et le matériel auxiliaires nécessaires et de laisser l'instrument se stabiliser. Tous les réglages doivent comprendre des vérifications répétées du zéro et sa correction s'il y a lieu. En utilisant comme échantillon un mélange d'environ 500 ppmC de propane dans l'air, on doit d'abord déterminer la caractéristique de réaction à des variations dans le débit de carburant puis, au voisinage du débit optimal de carburant, à des variations de débit de l'air de dilution afin de choisir sa valeur optimale. On doit évaluer ensuite la réponse à l'oxygène et la réponse différentielle aux hydrocarbures comme il est indiqué ci-dessus.

5.2.1.3.2 La linéarité de chaque plage de l'analyseur doit être vérifiée au moyen d'échantillons de propane dans l'air à des concentrations correspondant approximativement à 30 %, 60 % et 90 % de la déviation maximale. L'écart maximal de la réponse en chacun de ces points par rapport à la droite des moindres carrés (entre ces points et le zéro) ne doit pas dépasser ±2 % de la déviation maximale. Si l'écart est supérieur à cette valeur, une courbe d'étalonnage doit être établie pour l'utilisation opérationnelle de l'analyseur.

5.3 ANALYSEURS DE CO ET DE CO_2

Pour la mesure de ces éléments on doit utiliser des analyseurs non dispersifs à infrarouges fondés sur la différence d'absorption d'énergie entre un gaz de référence et le gaz échantillon, l'élément ou le groupe d'éléments de mesure pour chacun de ces gaz étant sensibilisé de manière appropriée. Cet élément analytique doit comprendre toutes les fonctions nécessaires au contrôle et à l'acheminement des courants de gaz échantillon, zéro et d'étalonnage. Le contrôle de la température doit être approprié à la base de mesure, qu'elle soit sèche ou humide.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet au § 5.3.1 du présent appendice.

5.3.1 Spécification des analyseurs de CO et de CO_2

5.3.1.1 Le *§ 5.3 du présent appendice résume les caractéristiques du dispositif d'analyse à employer pour la mesure des concentrations de CO et de CO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement. Les instruments sont fondés sur le principe de l'absorption non dispersive d'un rayonnement infrarouge comparée entre un échantillon de référence et l'échantillon de gaz à analyser. Les plages nécessaires de sensibilité sont obtenues en utilisant un empilage d'éléments d'analyse ou une modification des circuits électroniques ou les deux à la fois. Les interférences produites par des gaz présentant des bandes d'absorption qui chevauchent celles de l'échantillon peuvent être réduites au minimum en utilisant des filtres d'absorption de ces gaz, des filtres optiques, ou ces deux types de filtre. Cela dit, des filtres optiques devraient être utilisés.*

Note.- Voir les § 6.2.4 et 6.3.3 du présent appendice pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

5.3.1.2 ***Précautions :*** Les spécifications de performances indiquées s'entendent généralement pour la déviation maximale de l'analyseur. Des erreurs commises sur une déviation partielle peuvent représenter un pourcentage sensiblement plus élevé de la lecture. La pertinence et l'importance de ces augmentations doivent être prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent doivent être prises.

5.3.1.3 Les principales spécifications de fonctionnement doivent être les suivantes:

Analyseur de CO

a) *Gamme complète de valeurs: 0* à 2 500 ppm subdivisée en plages appropriées ;

b) *Pouvoir séparateur:* meilleur que 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou que 1 ppm, si cette valeur est plus grande.

c) *Reproductibilité:* meilleur que ±1 % de la déviation maximale utilisée ou que ±2 ppm, si cette valeur est plus grande.

d) *Stabilité:* meilleur que ±2 % de la déviation maximale utilisée ou que ±2 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure.

e) *Dérive du zéro:* inférieure à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±2 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure.

f) *Bruit de fond:* 0,5 Hz et plus, inférieur à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±1 ppm, si cette valeur est plus grande.

g) *Interférences: doivent être limitées par rapport à la concentration de CO indiquée de la façon suivante:*

1) moins de 500 ppm pour une concentration d'éthylène de 1%;

2) moins de 2 ppm pour une concentration de CO_2 de 1 %;

3) moins de 2 ppm pour une concentration de vapeur d'eau de1%.*

* Inutile si les mesures sont effectuées à l'état sec

Si les limites relatives aux interférences pour le CO_2 et/ou la vapeur d'eau ne peuvent pas être respectées, des facteurs de correction appropriés doivent être déterminés, signalés et appliqués.

5.3.1.4 *Des facteurs de correction devraient toujours être appliqués pour les limites liées aux interférences dues au CO2 et à la vapeur d'eau.*

Note.— Des méthodes relatives à l'application des facteurs de correction appropriés pour les effets des interférences figurent dans le Supplément A, sections 3 et 4.

Analyseur de CO_2

a) *Gamme complète de valeurs: 0* à 10 % subdivisée en plages appropriées ;

b) *Pouvoir séparateur:* meilleur que 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou que 100 ppm, si cette valeur est plus grande.

c) Reproductibilité: meilleur que ±1 % de la déviation maximale utilisée ou que ±100 ppm, si cette valeur est plus grande.

d) Stabilité: meilleur que ±2 % de la déviation maximale utilisée ou que ±100 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure *;*

e) Dérive du zéro: inférieure à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±100 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure *;*

f) Bruit de fond: 0,5 Hz et plus, inférieur à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±100 ppm, si cette valeur est plus grande.

g) L'effet de l'oxygène (0_2) sur la réponse de l'analyseur de CO_2 doit être vérifié. Si la teneur en 0_2 passe de 0 % 0_2 à 21 % 0_2, la réponse d'une concentration donnée de CO_2 ne doit pas varier de plus de 2 % de la lecture. Si cette limite ne peut être respectée, un coefficient de correction approprié doit être appliqué.

5.3.1.5 *Un facteur de correction devrait toujours être appliqué pour l'effet de l'oxygène sur la réponse de l'analyseur de CO2.*

Note.— Une procédure permettant de déterminer le facteur de correction approprié pour l'effet de l'oxygène figure dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

Analyseurs de CO et de CO_2

a) *Temps de réponse: ce temps ne doit pas dépasser 10 secondes depuis le moment où l'échantillon arrive dans le dispositif d'analyse jusqu'à l'obtention de 90 % de la lecture finale ;*

b) *Température de l'échantillon:* normalement, on procède à l'analyse de l'échantillon dans son état «humide» (non traité), ce qui exige que l'élément d'analyse de l'échantillon et tous les autres éléments en contact avec l'échantillon soient maintenus à une température égale ou supérieure à 50 °C avec une stabilité de ±2 °C. Il est admis de procéder à la mesure du CO et du $C0_2$ sur un échantillon sec (avec des moyens appropriés de dessiccation); dans ce cas on peut utiliser des analyseurs non chauffés et supprimer les limites d'interférence pour la vapeur d'eau, une correction ultérieure pour la vapeur d'eau à l'entrée et la vapeur d'eau de combustion étant nécessaire.

c) Courbes d'étalonnage :

1) On doit vérifier les analyseurs à caractéristique linéaire de sortie du signal dans toutes les plages de fonctionnement en utilisant des gaz d'étalonnage à des concentrations connues, correspondant approximativement à 0 %, 30 %, 60 % et 90 % de la déviation maximale. La déviation à la réponse maximale de n'importe lequel de ces points par rapport à une droite des moindres carrés, ajustée sur ces points et la lecture zéro, ne doit pas dépasser ±2 % de la déviation maximale. Si elle est supérieure à cette valeur, une courbe d'étalonnage doit être établie pour l'utilisation opérationnelle.

2) Pour les analyseurs à caractéristique non linéaire de sortie du signal et ceux qui ne remplissent pas les conditions de linéarité données ci-dessus, on doit établir des courbes d'étalonnage pour toutes les plages de fonctionnement, en utilisant des gaz d'étalonnage à des concentrations connues correspondant approximativement à 0 %, 30 %, 60 % et 90 % de la déviation maximale. Des mélanges supplémentaires doivent être employés au besoin pour bien définir la forme de la courbe.

5.4 ANALYSEUR DE NOx

La concentration de NO doit être mesurée par la méthode de chimiluminescence dans laquelle la concentration de NO est donnée par l'intensité du rayonnement émis au cours de la réaction de NO de l'échantillon sur l'ozone (O_3) ajouté. Le NO_2 doit être converti en NO dans un convertisseur ayant le rendement voulu avant la mesure. Le dispositif de mesure des NOx doit comprendre toutes les commandes de débit, de température et autres commandes et doit permettre des vérifications courantes de zéro et d'étalonnage ainsi que de rendement du convertisseur.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet dans au § 5.4.1 du présent appendice.

5.4.1 Spécification de l'analyseur d'oxydes d'azote

Note.- Voir les § 6.2.4 et 6.3.3 du présent appendice pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

5.4.1.1 Comme il est indiqué au § 5.4 du présent appendice, la mesure de la concentration des oxydes d'azote doit être effectuée au moyen d'une technique de chimiluminescence dans laquelle le rayonnement émis par la réaction du NO sur O3 est mesuré. Cette méthode n'est pas applicable au NO2 et, en conséquence, l'échantillon doit passer à travers un convertisseur qui transforme le NO2 en NO avant de procéder à la mesure de l'ensemble des oxydes d'azote. Il doit falloir consigner à la fois la concentration de NO originale et la concentration totale de NOx On doit obtenir ensuite la concentration de NO2 par différence.

5.4.1.2 L'instrument utilisé doit être complet avec tous les éléments nécessaires de contrôle du débit, tels que régulateurs, robinets, débitmètres, etc. Les matériaux en contact avec l'échantillon de gaz doivent être des matériaux inattaquables par les oxydes d'azote, tels que de l'acier inoxydable, du verre, etc. La température de l'échantillon doit être maintenue partout à des valeurs compatibles avec les pressions locales qui empêchent la condensation de l'eau.

Précautions *:* Les spécifications de performances indiquées s'entendent généralement pour la déviation maximale de l'analyseur. Des erreurs commises sur une déviation partielle peuvent représenter un pourcentage sensiblement plus élevé de la lecture. La pertinence et l'importance de ces augmentations doivent être prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent doivent être prises.

5.4.1.3 Les principales spécifications de fonctionnement, déterminées pour un instrument utilisé dans une température ambiante stable à ±2°C près, doivent être les suivantes :

a) *Gamme complète de valeurs : 0* à 2 500 ppm subdivisée en plages appropriées ;

b) *Pouvoir séparateur :* meilleur que 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 1 ppm, si cette valeur est plus grande.

c) *Reproductibilité :* meilleur que ±1 % de la déviation maximale utilisée ou que ±1 ppm, si cette valeur est plus grande.

d) *Stabilité :* meilleur que ±2 % de la déviation maximale utilisée ou que ±1 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure.

e) *Dérive du zéro :* inférieure à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±1 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure.

f) *Bruit de fond :* 0,5 Hz et plus, inférieur à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±1 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période de deux heures.

g) *Interférences :* doivent être maintenues, pour des échantillons contenant du CO_2 et de la vapeur d'eau, dans les limites suivantes :

1) moins de 0,05 % de la lecture pour une concentration de CO_2 de 1 %;

2) moins de 0,1 % de la lecture pour une concentration de vapeur d'eau de 1 %.

Si les limites relatives aux interférences pour le CO_2 et/ou la vapeur d'eau ne peuvent pas être respectées, des facteurs de correction appropriés doivent être déterminés, signalés et appliqués.

5.4.1.4 *Des facteurs de correction devraient toujours être appliqués pour les limites liées aux interférences dues au CO2 et à la vapeur d'eau.*

Note.— Des méthodes relatives à l'application des facteurs de correction appropriés pour les effets des interférences figurent dans le Supplément A, sections 3 et 4.

h) *Temps de réponse :* ne doit pas dépasser 10 secondes depuis l'entrée de l'échantillon dans le dispositif d'analyse jusqu'à l'obtention de 90 % de la lecture finale.

i) *Linéarité:* meilleure que±2 % de la déviation maximale utilisée ou que ±2 ppm, si cette valeur est plus grande.

j) *Convertisseur :* le convertisseur doit être conçu et utilisé de façon à convertir le NO_2 présent dans l'échantillon en NO. Le convertisseur ne doit pas modifier le NO qui se trouvait à l'origine dans l'échantillon.

L'efficacité du convertisseur ne doit être pas inférieure à 90 %. Cette valeur de l'efficacité doit être utilisée pour corriger la valeur mesurée du NO_2 de l'échantillon (c'est-à-dire $[NOx]_c$ - [NO]) pour la ramener à celle qui aurait été obtenue si l'efficacité avait été de 100 %.

6. MÉTHODE GÉNÉRALE D'ESSAI

6.1. FONCTIONNEMENT DU MOTEUR

6.1.1. Le moteur doit être placé sur un banc d'essai statique convenablement équipé pour des essais de performances de haute précision.

6.1.2. Les essais d'émissions doivent être effectués aux réglages de poussée prescrits par l'autorité primaire de certification. Le moteur doit être stabilisé à chaque régime.

6.2. ÉTALONNAGE PRINCIPAL DE L'INSTRUMENT

Note.- Le but général de cet étalonnage est de confirmer la stabilité et la linéarité des mesures

6.2.1. Le postulant doit montrer à l'autorité primaire de certification que l'étalonnage du dispositif analytique est valide au moment de l'essai.

6.2.2. En ce qui concerne l'étalonnage de l'analyseur d'hydrocarbures, il doit falloir vérifier que les réponses à l'oxygène du détecteur et les réponses différentielles aux hydrocarbures sont dans les limites précisées au § 5.2.1 du présent appendice. Il foit falloir également vérifier l'efficacité du convertisseur NO_2/NO afin de s'assurer qu'elle est conforme au § 5.4.1 du présent appendice.

6.2.3. La méthode de vérification du fonctionnement de chaque analyseur doit être la suivante (en utilisant les gaz d'étalonnage et d'essai indiqués aux § 6.2.4 et 6.3.3 du présent appendice):

a) Introduire le gaz zéro et ajuster le zéro de l'instrument en notant ce zéro s'il y a lieu.

b) Pour chaque plage de valeurs à utiliser en exploitation, introduire le gaz d'étalonnage à une concentration correspondant (nominalement) à 90 % de la déviation maximale; ajuster l'indication de l'instrument et noter cette indication.

c) Introduire des concentrations de gaz correspondant approximativement à 30 %, 60 % et 90 % de la déviation maximale et noter les indications de l'analyseur.

d) Tracer la droite des moindres carrés entre les points correspondant aux concentrations de gaz zéro, 30 %, 60 % et 90 %. Pour les analyseurs de CO ou de CO_2 utilisés sous leur forme élémentaire sans linéarisation des résultats, on doit tracer la courbe de moindres carrés d'une formule mathématique appropriée en utilisant des points d'étalonnage supplémentaires, si on le juge nécessaire. Si un point s'écarte de plus de 2 % de la déviation maximale, ou ±1ppm*, dans le cas de l'analyseur de CO et ±100 ppm dans le cas de l'analyseur de CO2, si cette valeur est supérieure, une courbe d'étalonnage pour l'utilisation en exploitation doit être établie.

* Sauf pour l'analyseur de CO_2 pour lequel la valeur doit être de ±100 ppm.

6.2.4. Gaz d'étalonnage

Tableau A3-1. Tableau des gaz d'étalonnage

Analyseur	*Gaz*	*Précision **
HC	propane dans l'air zéro	±2% ou ±0,05 ppm**
CO_2	CO_2 dans l'air zéro	±2% ou ±100 ppm**
CO	CO dans l'air zéro	±2 % ou ±2ppm**
NOx	NOx dans l'azote zéro	±2 % ou ±1 ppm**

* Prise dans l'intervalle de confiance de 95 %.

** La plus grande des deux valeurs

Les gaz ci-dessus sont requis pour effectuer l'étalonnage de routine des analyseurs durant l'utilisation opérationnelle normale.

6.2.4.1. Dans les gaz d'étalonnage des analyseurs de CO et CO_2, ces derniers peuvent être mélangés séparément ou ensemble. Des mélanges ternaires de CO, CO_2 et propane dans l'air zéro peuvent être utilisés à condition que la stabilité du mélange soit assurée.

6.2.4.2. Le gaz zéro spécifié pour l'analyseur de CO, CO_2 et d'hydrocarbures doit être l'air zéro (qui comprend l'air «artificiel» composé de 20 % à 22 % d'oxygène mélangé à de l'azote). Pour l'analyseur de NOx, l'azote zéro doit être utilisé comme gaz zéro. Les impuretés dans les deux sortes de gaz zéro doivent être inférieures aux concentrations de gaz ci-dessous :

1 ppm de carbone

1 ppm de CO

100 ppm de CO_2

1 ppm de NOx

6.2.4.3. Le postulant doit veiller à ce que les gaz qui lui sont fournis commercialement répondent bien à cette spécification, ou soient garantis conformes par le vendeur.

6.3. EXÉCUTION DES MESURES

6.3.1. Aucune mesure ne doit être faite avant que tous les instruments et les tuyauteries d'acheminement de l'échantillon aient été réchauffés et aient atteint une température stable et avant qu'il ait été procédé aux vérifications suivantes :

a) Contrôle des fuites : avant une série d'essais, il doit falloir s'assurer que le système ne présente pas de fuites en isolant la sonde de prélèvement et les analyseurs, en branchant une pompe aspirante afin de vérifier que le débit des fuites dans le système est inférieur à 0,4 L/min, rapporté à la température et à la pression standard. La pompe aspirante doit supporter sans débiter une dépression de –75 kPa par rapport à la pression atmosphérique, et son débit à plein régime ne doit pas être inférieur à 26 L/min à température et pression standard.

b) Contrôle de la propreté : isoler de la sonde de prélèvement le dispositif d'échantillonnage des gaz et relier l'extrémité de la tuyauterie d'échantillonnage à une source de gaz zéro. Réchauffer le système afin de le porter à la température d'utilisation nécessaire pour les mesures d'hydrocarbures. Actionner la pompe de prélèvement et régler le débit au niveau employé pendant les essais sur les émissions du moteur. Enregistrer la lecture de l'analyseur d'hydrocarbures. Elle ne doit pas dépasser 1 % du niveau d'émission moteur à l'arrêt ou 1 ppm si cette valeur est supérieure (dans les deux cas en équivalent méthane).

6.3.1.1. *Une rétro-purge des sondes de prélèvement devrait être effectuée pendant le démarrage et l'arrêt du moteur lorsque les analyseurs sont isolés.*

Note 1.— La rétro-purge permet d'éviter une contamination significative du dispositif de prélèvement par du carburant.

Note 2.— La présence de niveaux importants de composés provenant d'autres sources dans l'air ambiant à l'entrée du moteur pourrait influer sur les niveaux des composés de l'échappement du moteur. En pareil cas, il peut être justifié de contrôler ces composés et de tenir compte de la qualité de l'air ambiant dans les niveaux d'émissions communiqués

6.3.1.2. *Si une procédure tenant compte de la qualité de l'air ambiant dans les niveaux d'émissions communiqués est justifiée, cette procédure devrait être utilisée, sous réserve de l'approbation du service de certification.*

6.3.2. La méthode à adopter pour l'exécution des mesures doit comprendr les opérations suivantes:

a) Introduire le gaz zéro approprié et effectuer les réglages nécessaires de l'instrument.

b) Introduire le gaz d'étalonnage approprié à une concentration nominale correspondant à 90 % de la déviation maximale pour les plages à utiliser, et effectuer les réglages correspondants et les consigner.

c) Lorsque le moteur a été stabilisé au réglage de poussée prescrit, relever les concentrations de gaz polluants jusqu'à ce qu'on obtienne une lecture stabilisée qui doit être alors notée.

d) Vérifier à nouveau le zéro et l'étalonnage à la fin de l'essai ainsi qu'à des intervalles n'excédant pas une heure au cours des essais. Si le zéro et les points d'étalonnage ont varié de plus de ±2 % de la déviation maximale, l'essai doit être repris après avoir ramené l'instrument dans les limites spécifiées.

6.3.3. Gaz d'essai

Tableau A3-2.Tableau des gaz d'essai

Analyseur	*Gaz*	*Précision **
HC	propane dans un mélange d'oxygène et d'azote zéro contenant 10 % ±1 % d'oxygène	±1 %
HC	propane dans un mélange d'oxygène et d'azote zéro contenant 21 % ±1 % d'oxygène	±1 %
HC	propylène dans l'air zéro	±1 %
HC	toluène dans l'air zéro	±1 %
HC	n-hexane dans l'air zéro	±1 %
HC	propane dans l'air zéro	±1 %
CO_2	CO_2 dans l'air zéro	±1 %
CO_2	CO_2 dans l'azote zéro	±1 %
CO	CO dans l'air zéro	±1 %

NOx	NO dans l'azote zéro	±1 %

*Prise dans l'intervalle de confiance de 95 %

Les gaz ci-dessus sont requis pour effectuer les essais décrits aux § 5.2.1, 5.3.1 et 5.4.1 du présent appendice.

6.4. VÉRIFICATION DU RAPPORT AIR/CARBURANT

Chaque essai doit comprendre une vérification afin de s'assurer que le rapport air/carburant évalué à partir de la concentration globale de carbone dans l'échantillon, à l'exclusion de la fumée, concorde avec l'évaluation fondée sur le rapport air/carburant du moteur à ±15 % près pour le régime de circulation au sol et de ralenti et à ±10 % près pour les autres régimes (voir § 7.1.2).

7. CALCULS

7.1. ÉMISSIONS GAZEUSES

7.1.1. Généralités

Les mesures d'analyse effectuées doivent porter sur les concentrations de gaz des diverses émissions gazeuses, décelées dans les analyseurs correspondants, à différentes températures à l'entrée du foyer (T_B) associées aux quatre régimes d'utilisation LTO. Les indices d'émission (IE) pour chaque polluant gazeux doivent être établis au moyen des calculs exposés au § 7.1.2 ou de la méthode de remplacement définie au Supplément A, section 4. Pour tenir compte des écarts par rapport aux conditions atmosphériques de référence, les corrections indiquées au § 7.1.3 doivent être appliquées. Il convient de noter que ces corrections peuvent aussi être utilisées pour rendre compte des écarts présentés par les moteurs faisant l'objet des essais et le moteur standard de référence, s'il y a lieu [voir Appendice 6, § 1, alinéa f]. La température à l'entrée du foyer (T_B) étant utilisée comme paramètre de corrélation, les indices d'émission (IE) et le débit de carburant correspondant au fonctionnement aux quatre régimes d'utilisation LTOd'un moteur standard de référence dans les conditions du jour de référence doivent être établis au moyen des procédures décrites au § 7.2.

7.1.2. Paramètres fondamentaux

$$\mathrm{IE}_p(\text{indice d'émissions du composant } p) = \frac{\text{masse de } p \text{ produite en g}}{\text{masse de carburant utilisée en kg}}$$

$$\mathrm{IE(CO)} = \left(\frac{[\mathrm{CO}]}{[\mathrm{CO_2}] + [\mathrm{CO}] + [\mathrm{HC}]}\right)\left(\frac{10^3 M_{\mathrm{CO}}}{M_{\mathrm{C}} + (n/m)M_{\mathrm{H}}}\right)\left(1 + [\mathrm{CO_2}]_b \left(\mathrm{P_0}/m\right)\right)$$

$$\mathrm{IE(HC)} = \left(\frac{[\mathrm{HC}]}{[\mathrm{CO_2}] + [\mathrm{CO}] + [\mathrm{HC}]}\right)\left(\frac{10^3 M_{\mathrm{HC}}}{M_{\mathrm{C}} + (n/m)M_{\mathrm{H}}}\right)\left(1 + [\mathrm{CO_2}]_b \left(\mathrm{P_0}/m\right)\right)$$

$$\mathrm{IE(NOx) \text{ en } NO_2} = \left(\frac{[\mathrm{NOx}]}{[\mathrm{CO_2}] + [\mathrm{CO}] + [\mathrm{HC}]}\right)\left(\frac{10^3 M_{\mathrm{NO_2}}}{M_{\mathrm{C}} + (n/m)M_{\mathrm{H}}}\right)\left(1 + [\mathrm{CO_2}]_b \left(\mathrm{P_0}/m\right)\right)$$

$$\text{Rapport}\frac{\text{air}}{\text{carburant}} = \mathrm{P_0}/m\left(\frac{M_{\mathrm{AIR}}}{M_{\mathrm{C}} + (n/m)M_{\mathrm{H}}}\right)$$

où

$$\mathrm{P_0}/m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{vol} - [[\mathrm{CO_2}]_b Z/2])}$$

et

$$Z = \frac{2 - [\mathrm{CO}] - ([2/x] - [y/2x])\ [\mathrm{HC}] + [\mathrm{NO_2}]}{[\mathrm{CO_2}] + [\mathrm{CO}] + [\mathrm{HC}]}$$

M_{AIR} masse moléculaire de l'air sec = 28,966 g ou, s'il y a lieu,
= (32$[O_2]_b$ + 28,1564 $[N_2]_b$ + 44,011 $[CO_2]_b$) g.

M_{HC} masse moléculaire des hydrocarbures d'échappement, considérée comme CH_4 =16,043g.

M_{CO} masse moléculaire du CO= 28,011 g.

M_{NO2} masse moléculaire du NO_2 = 46,008 g.

M_c masse atomique du carbone = 12,011 g.

M_H masse atomique de l'hydrogène = 1,008 g.

$[O_2]_b$ concentration de l'oxygène dans l'air sec en volume =0,209 5.

$[N_2]_b$ concentration de l'azote et des gaz rares dans l'air sec en volume = 0,790 2.

$[CO_2]_b$ concentration de CO_2 dans l'air sec en volume = 0,000 3.

[HC] concentration moyenne des hydrocarbures dans les gaz d'échappement en volume, à l'état humide, exprimée en carbone.

[CO] concentration moyenne de CO en volume à l'état humide.

[CO_2] concentration moyenne de CO_2 en volume à l'état humide

[NOx] concentration moyenne de NO et de NO_2 en volume à l'état humide =[NO+NO_2].

[NO] concentration moyenne de NO dans l'échantillon, en volume à l'état humide.

[NO_2] concentration moyenne de NO_2 dans l'échantillon, en volume à l'état humide.

$$= \frac{([NO_x]_c - [NO])}{\eta}$$

$[NOx]_c$ concentration moyenne de NO dans l'échantillon après passage dans le convertisseur de NO_2 en NO, en volume, à l'état humide.

η efficacité du convertisseur de NO_2 en NO.

h_{vol} humidité de l'air ambiant en volume d'eau /volume d'air sec.

m nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant.

n nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique du carburant.

x nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique des hydrocarbures des gaz d'échappement.

y nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique des hydrocarbures des gaz d'échappement.

La valeur de *n/m,* rapport du nombre d'atomes de carbone au nombre d'atomes d'hydrogène du carburant utilisé, est évaluée au moyen d'une analyse du type de carburant. L'humidité de l'air ambiant *h* doit être mesurée pour chaque condition d'essai. En l'absence de preuve du contraire en ce qui concerne la caractérisation *(x, y)* des hydrocarbures des gaz d'échappement, on doit utiliser les valeurs x = 1 et y = 4. Si l'on doit utiliser des mesures de CO et de CO_2 à l'état sec ou semi-humide, celles-ci doivent être d'abord converties en concentration de gaz équivalente à l'état humide.

Note. — Des méthodes de conversion en concentration de gaz équivalente à l'état humide figurent dans le Supplément A, sections 3 et 4.

7.1.3. Correction des indices d'émission pour les ramener aux conditions de référence

7.1.3.1. Des corrections des indices d'émission mesurés doivent être effectuées pour tous les polluants à tous les régimes applicables du moteur pour les écarts entre la température et la pression réelles de l'air à l'admission et les conditions atmosphériques de référence (ISA au niveau de la mer). Ces corrections peuvent aussi être utilisées pour rendre compte des écarts présentés par les moteurs faisant l'objet des essais et le moteur standard de référence, s'il y a lieu [Appendice 6.§ 1,alinéa f)]. La valeur de référence pour l'humidité doit être 0,00634 kg d'eau/kg d'air sec.

Ainsi IE corrigé = *K* x IE mesuré *où*

K représente l'expression généralisée suivante:

$$K = (P_{Bréf}/P_B)^a \times (FAR_{réf}/FAR_B)^b \times \exp([T_{Bréf} - T_B]/c) \times \exp(d[h_{masse} - 0{,}00634])$$

P_B Pression mesurée à l'entrée du foyer.

T_B Température mesurée à l'entrée du foyer.

FAR_B Rapport carburant / air dans le foyer.

h_{masse} Humidité de l'air ambiant, kg d'eau/kg d'air sec.

$P_{réf}$ Pression ISA au niveau de la mer.

$T_{réf}$ Température ISA au niveau de la mer.

$P_{Bréf}$ Pression à l'entrée du foyer du moteur essayé (ou du moteur de référence si la donnée est corrigée pour la ramener à un moteur de référence) associée à T_B dans les conditions ISA au niveau de la mer.

$T_{Bréf}$ Température à l'entrée du foyer dans des conditions ISA au niveau de la mer pour le moteur essayé (ou le moteur de référence si la donnée doit être corrigée pour la ramener à un moteur de référence).Cette température est la température associée à chaque niveau de poussée spécifié pour chaque régime.

$FAR_{réf}$ Rapport carburant /air dans le foyer dans des conditions ISA au niveau de la mer pour le moteur essayé (ou le moteur de référence si la donnée doit être corrigée pour la ramener à un moteur de référence).

a, b, c, d Constantes spécifiques qui peuvent varier pour chaque polluant et chaque type de moteur.

Les paramètres à l'entrée du foyer doivent être de préférence mesurés, mais ils pourront être calculés à partir des conditions ambiantes au moyen de formules appropriées.

7.1.3.2. L'utilisation de la technique recommandée d'adaptation à la courbe décrite au § 7.2 pour rapporter les indices d'émission à la température l'entrée du foyer élimine effectivement le terme (|TBréf –TB|Ic) de l'équation généralisée et, dans la plupart des cas, le terme (FARréf / FARB) peut être considéré comme égal à 1. Pour les indices d'émissions de CO et de HC, de nombreux établissements d'essais ont établi que le terme représentant l'humidité est suffisamment proche de l'unité pour qu'on puisse l'éliminer de l'expression et que l'exposant du terme (PBréf / PB) est proche de l'unité. Ainsi :

IE(CO) corrigé = IE calculé à partir de la courbe de $(P_B / P_{Bréf})$ x IE(CO) en fonction de T_B;

IE (HC) corrigé = IE calculé à partir de la courbe de $(P_B / P_{Bréf})$ x IE(HC) en fonction de T_B;

IE (NOx) corrigé = IE calculé à partir de la courbe de IE(NOx) x $(P_{Bréf} / P_B)^{0,5}$ x exp (19 [h_{masse} – 0,00634]) en fonction de T_B

Si cette méthode recommandée pour la correction de l'indice d'émissions de CO et de HC ne donne pas une corrélation satisfaisante, on pourra employer une méthode de rechange utilisant des paramètres tirés des essais sur les composants.

Toute autre méthode utilisée pour corriger les indices d'émission de CO, HC et NOx, doit être approuvée par l'autorité primaire de certification.

7.2. PARAMÈTRES DE CONTRÔLE

(D_P, F_{oo}, et π)

7.2.1 Définitions

D_p Masse de tout polluant gazeux émis au cours d'un cycle d'émission de référence à l'atterrissage et au décollage.

F_{oo} Poussée nominale (voir Partie 1,Chapitre 1,Définitions)..

F_n Poussée au régime d'utilisation CAD *n* (en kN)

W_f Débit massique de carburant du moteur standard de référence dans les conditions de l'atmosphère type internationale (ISA) au niveau de la mer. (en kg/s)

W_{fn} Débit massique de carburant du moteur standard de référence dans les conditions de l'atmosphère

type internationale (ISA) au niveau de la mer au régime d'utilisation CAD *n*.

π Rapport entre la pression totale moyenne à la sortie du dernier étage du compresseur et la pression totale moyenne à l'entrée du compresseur lorsque la poussée du moteur est égale à la poussée nominale du décollage dans les conditions statiques en atmosphère type internationale (ISA) au niveau de la mer.

7.2.2 Les indices d'émission (IE_n) pour chaque polluant, corrigés pour les ramener aux conditions de l'atmosphère de référence et, si cela est nécessaire, au moteur standard de référence, IE_n (corrigés) doivent être déterminés pour chaque régime d'utilisation LTO. Un minimum de trois points d'essai doit être nécessaire pour définir le régime de ralenti. Les relations suivantes doivent être déterminées dans les conditions atmosphériques de référence pour chaque polluant gazeux:

a) entre IE(corrigé) et T_B *;*

b) entre W_f et *TB* ;

c) entre *F* et *TB*;

Note1.- Ces relations sont illustrées par exemple sur la Figure A3-2 a), b et c).

Note 2.— Les relations b) et c) peuvent être déterminées à partir des données d'essai des moteurs ou tirées d'un modèle validé de performances des moteurs.

7.2.2.1 Un moteur de référence est défini comme étant un moteur dont la configuration répond sensiblement à la norme de production de ce type de moteur et dont les caractéristiques de fonctionnement et de performances sont parfaitement représentatives.

7.2.2.2 Le constructeur doit fournir également à l'autorité primaire de certification toutes les données nécessaires sur les performances du moteur à l'appui de ces relations et, pour les conditions ambiantes de l'atmosphère type internationale au niveau de la mer :

a) la poussée nominale (Foo) ;

b) le rapport de pression de référence (π_{oo})

Note.- Ces données sont illustrées sur la Figure A3-2 d)

7.2.3 L'évaluation de IE (corrigé) pour chaque polluant gazeux aux quatre régimes d'utilisation, doit être conforme à la méthode générale suivante :

a) déterminer la température à l'entrée du foyer T_B [Figure A3-2 c)] aux valeurs de *Fn* correspondant aux quatre régimes d'utilisation LTO, n, dans les conditions atmosphériques de référence ;

b) à partir de la caractéristique IE(corrigé) / TB [Figure A3-2 a)],déterminer la valeur IEn correspondant à TB

c) à partir de la caractéristique Wf / TB [Figure A3-2b)], déterminer la valeur Wfn correspondant à TB ;

d) enregistrer les valeurs de F_{oo} et π_{oo} [Figure A3-2 d)]

e) calculer pour chaque polluant DP= Σ (IEn) (Wfn)(t) où

t temps au régime CAD (en minutes).

W_{fn} débit massique de carburant (en kilogrammes/minute).

Σ est la somme pour l'ensemble des régimes du cycle CAD de référence.

Note .— Bien que la méthode décrite ci-dessus soit la méthode requise, l'autorité primaire de certification peut accepter une méthode mathématique équivalente qui utilise des expressions mathématiques représentant les courbes illustrées si ces expressions ont été établies en utilisant

une technique agréée d'adaptation aux courbes.

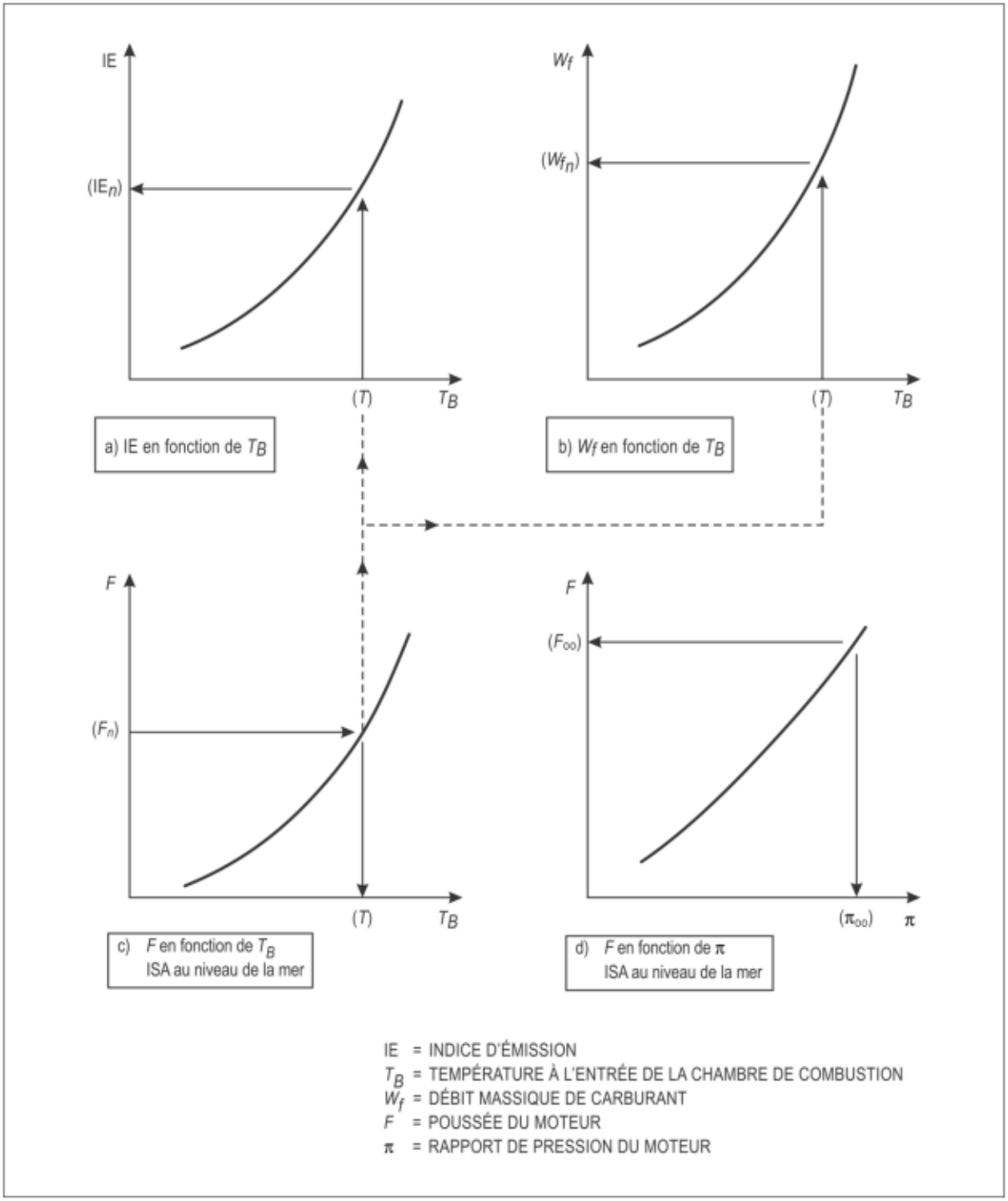

Figure A3-2. Méthode de calcul

APPENDICE 4 : SPÉCIFICATIONS SUR LE CARBURANT À UTILISER POUR LES ESSAIS D'ÉMISSIONS DE TURBOMACHINES

Le carburant utilisé au cours des essais doit répondre aux spécifications ci-dessous, sauf si une exemption et toutes corrections nécessaires ont été accordées par l'Autorité primaire de certification. Le carburant ne doit pas contenir d'additifs destinés à supprimer la fumée (tels que des composés organo-métalliques).

Propriété	*Plage de valeurs admissibles*
Densité en kg/m^3 à 15 °C	780 – 820
Plage de distillation (°C)	
Température de tête (10 %)	155 – 201
Température finale de queue	235 – 285
Chaleur nette de combustion (MJ/kg)	42,86 – 43,50
Pourcentage en volume des carburants aromatiques	15 – 23
Pourcentage en volume des naphtalènes	0,0 – 3,0
Point de fumée (mm)	20 – 28
Pourcentage d'hydrogène (masse)	13,4 – 14,3
Soufre ppm en masse	moins de 3000
Viscosité cinématique à –20 °C (mm^2/s)	2,5 – 6,5

APPENDICE 5 : INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURE DES ÉMISSIONS GAZEUSES DES TURBOMACHINES À POSTCOMBUSTION

1. INTRODUCTION

Note.- La méthode spécifiée dans le présent appendice porte sur le prélèvement d'échantillons représentatifs de gaz d'échappement, la transmission de ces échantillons au dispositif de mesure des émissions et l'analyse de ces échantillons dans ce dispositif. La méthode proposée ne s'applique qu'aux moteurs avec postcombustion. Elle représente la meilleure et la plus répandue des méthodes modernes dont on dispose. Des corrections sont nécessaires pour tenir compte des conditions ambiantes et une méthode de correction doit être spécifiée lorsqu'on en aura trouvé une. En attendant, toute méthode de correction appliquée aux moteurs avec postcombustion pourra être utilisée si elle est approuvée par l'Autorité primaire de certification.

2. DÉFINITIONS

Quand elles sont employées dans le présent appendice sans autre explication, les expressions ci-dessous ont les significations indiquées:

Analyseur non dispersif à infrarouges : Instrument qui mesure certains composants par absorption de l'énergie infrarouge.

Bruit de fond : Variation aléatoire des indications d'un instrument qui n'est pas associée aux caractéristiques de l'échantillon que l'instrument mesure et qui se distingue des caractéristiques de dérive du zéro de l'instrument.

Concentration : Proportion en volume d'un composant dans un mélange de gaz exprimé sous forme de pourcentage en volume ou de parties par million.

Dérive du zéro : Déplacement avec le temps du zéro d'un instrument par rapport à la position fixée à l'origine lorsqu'il fonctionne avec un gaz exempt du composant à mesurer.

Détecteur à ionisation de flamme : Détecteur à flamme air-hydrogène qui produit un signal nominalement proportionnel au débit massique des hydrocarbures qui pénètrent dans la flamme par unité de temps; ce signal est généralement fonction du nombre d'atomes de carbone qui entrent dans la flamme.

Gaz de référence : Mélange de gaz de composition spécifiée et connue, utilisé comme base pour interpréter les réactions d'un instrument en fonction de la concentration du gaz auquel l'instrument réagit.

Gaz d'étalonnage : Gaz de référence de haute précision utilisé pour l'étalonnage, le réglage et les vérifications périodiques des instruments.

Gaz zéro : Gaz à utiliser pour déterminer le zéro d'un instrument.

Interférence : Réaction de l'instrument due à la présence de composants autres que le gaz à mesurer.

Panache : Flux total des gaz d'échappement du moteur, y compris l'air ambiant auquel ils se mélangent.

Parties de carbone par million (ppmC) : Proportion en moles d'hydrocarbure multipliées par 10^6, mesurée en équivalent de méthane. Ainsi, une ppm de méthane est exprimée par une ppmC. Pour convertir la concentration en ppm d'un hydrocarbure en ppmC équivalente, on multiplie la

concentration en ppm par le nombre d'atomes de carbone par molécule du gaz. Par exemple, une ppm de propane devient 3 ppmC; une ppm d'hexane, 6 ppmC.

Parties par million (ppm) : Concentration en unités de volume d'un gaz par million d'unités de volume du mélange dont le gaz considéré fait partie.

Pouvoir séparateur : Plus petite variation d'une mesure qui puisse être décelée.

Précision : *Approximation d'une mesure par rapport à la valeur réelle établie indépendamment.*

Réponse : Variation du signal émis par un instrument sous l'effet d'une variation de la concentration d'un échantillon. Ce terme désigne également k signal émis correspondant à une concentration donnée de l'échantillon.

Reproductibilité : Précision avec laquelle la mesure d'un échantillon donné immuable peut être reproduite à de courts intervalles sans ajustement de l'instrument.

Stabilité : Précision avec laquelle la mesure d'un échantillon donné immuable peut être maintenue sur une période de temps donnée.

3. DONNÉES NÉCESSAIRES

3.1. ÉMISSIONS GAZEUSES

On doit déterminer les concentrations des émissions suivantes :

a) Hydrocarbures (HC) : évaluation globale de tous les hydrocarbures présents dans les gaz d'échappement.

b) Monoxyde de carbone (CO).

c) Dioxyde de carbone (CO_2).

Note.- Le $C0_2$ n'est pas considéré comme un polluant mais sa concentration est nécessaire pour les calculs et les vérifications.

d) Oxydes d'azote (NO_X): on doit procéder à une estimation de la somme de deux oxydes, le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2).

e) Monoxyde d'azote (NO).

3.2. AUTRES RENSEIGNEMENTS

Afin de normaliser les données de mesure des émissions et de déterminer quantitativement les caractéristiques d'essai du moteur, outre les spécifications du chapitre 3,§ 3.4 du présent règlement, les renseignements suivants doivent être fournis:

- température d'admission;
- humidité d'admission;
- pression atmosphérique;
- composantes du vent par rapport à l'axe des échappements du moteur ;
- rapport hydrogène/carbone du carburant;
- détails d'installation du moteur ;
- autres paramètres moteurs nécessaires (par exemple, poussée, vitesses du rotor, températures de la turbine et débit d'air du générateur de gaz);
- concentration en polluants et paramètres de validation statistique.

Ces données doivent être obtenues soit par mesure directe, soit par calcul comme il est indiqué au § 3.2.1 du présent appendice.

3.2.1. Spécifications de données supplémentaires

Comme il est spécifié au § 3.2 du présent appendice, en plus des concentrations mesurées des éléments de l'échantillon, il doit falloir également fournir les données suivantes :

a) température d'admission : température totale mesurée en un point situé à une distance de la prise d'air du moteur égale au diamètre de cette prise d'air avec une précision de ±0,5 °C ;

b) humidité de l'air d'admission (kg d'eau/kg d'air sec) : cette humidité est mesurée en un point situé dans une limite de 15 m de la prise d'air en avant du moteur avec une précision de ±5 % ;

c) pression atmosphérique : cette pression est mesurée dans un rayon de 1 km du banc d'essai du moteur et corrigée selon les besoins pour tenir compte de l'altitude du banc d'essai avec une précision de ±100 Pa ;

d) débit massique de carburant : ce débit est mesuré directement avec une précision de ±2 % ;

e) rapport H/C du carburant : ce rapport est égal à la valeur *n/m,* C_m, H_n représentant l'hydrocarbure équivalent du carburant utilisé dans l'essai et évalué en fonction de l'analyse du type de carburant du moteur ;

f) paramètres du moteur :

1) poussée : mesurée directement avec une précision de ±1 % à la puissance de décollage et ±5 % à la poussée minimale utilisée dans l'essai de certification avec variation linéaire entre ces deux points ;

2) vitesses de rotation : mesurées directement avec précision d'au moins ±0,5 %;

3) débit de l'air dans le générateur de gaz : déterminé avec une précision de ±2 % en fonction de l'étalonnage des performances du moteur.

Les paramètres spécifiés aux alinéas a), b), d) et f) doivent être déterminés pour chaque régime moteur de l'essai d'émissions tandis que le paramètre spécifié à l'alinéa c) doit être déterminé à des intervalles ne dépassant pas une heure pendant la durée des essais d'émissions.

4. DISPOSITION GÉNÉRALE DE L'APPAREILLAGE

Étant donné la nature réactive du panache d'échappement des moteurs à postcombustion, il faut s'assurer que les émissions mesurées correspondent bien à celles qui sont effectivement produites dans l'atmosphère environnante. Ce résultat est obtenu en prélevant des échantillons dans le panache suffisamment loin du moteur pour que les gaz d'échappement se soient refroidis jusqu'à une température à laquelle il n'y a plus de réaction. Il ne doit falloir utiliser ni dessiccateurs, ni séchoirs, ni condenseurs ni autre équipement de ce genre pour traiter les échantillons de gaz d'échappement qui sont acheminés vers les analyseurs d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures. Les spécifications concernant les divers éléments du dispositif sont données plus loin mais la liste ci-dessous indique certaines conditions et dérogations.

a) Il est admis que chacun des éléments du dispositif comprend les moyens nécessaires de contrôle du débit, de conditionnement et de mesure.

b) La nécessité d'une pompe de purge et/ou d'une pompe de prélèvement doit dépendre de l'aptitude du dispositif à répondre aux spécifications de durée d'acheminement de l'échantillon et de débit dans l'élément analytique du dispositif. Cette aptitude dépend à son tour de la pression de propulsion de l'échantillon et des pertes de charge dans la tuyauterie. On estime que dans la plupart des cas ces pompes doivent être nécessaires dans certaines conditions de fonctionnement du moteur.

c) La position de la pompe de prélèvement par rapport à l'élément analytique du dispositif peut être différente si cela est nécessaire. (Par exemple, certains analyseurs d'hydrocarbures comprennent des pompes de prélèvement et, de ce fait, peuvent être jugés capables d'être utilisés en amont de la pompe de prélèvement du dispositif.)

Note.- Les Figures A5-1 et A5-2 sont des schémas du dispositif de prélèvement et d'analyse des gaz d'échappement qui indiquent les spécifications fondamentales des essais sur les émissions des moteurs.

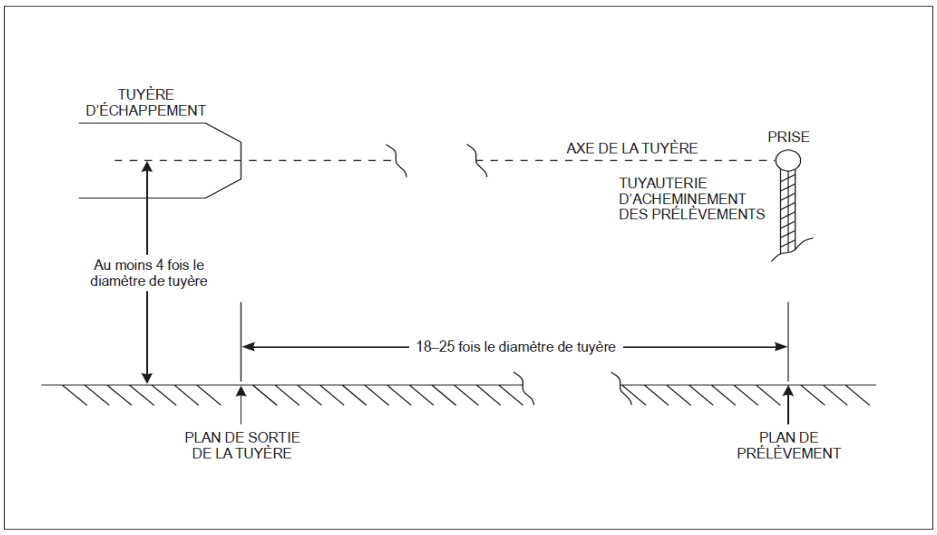

Figure A5-1. Schéma du dispositif de prélèvement des gaz d'échappement

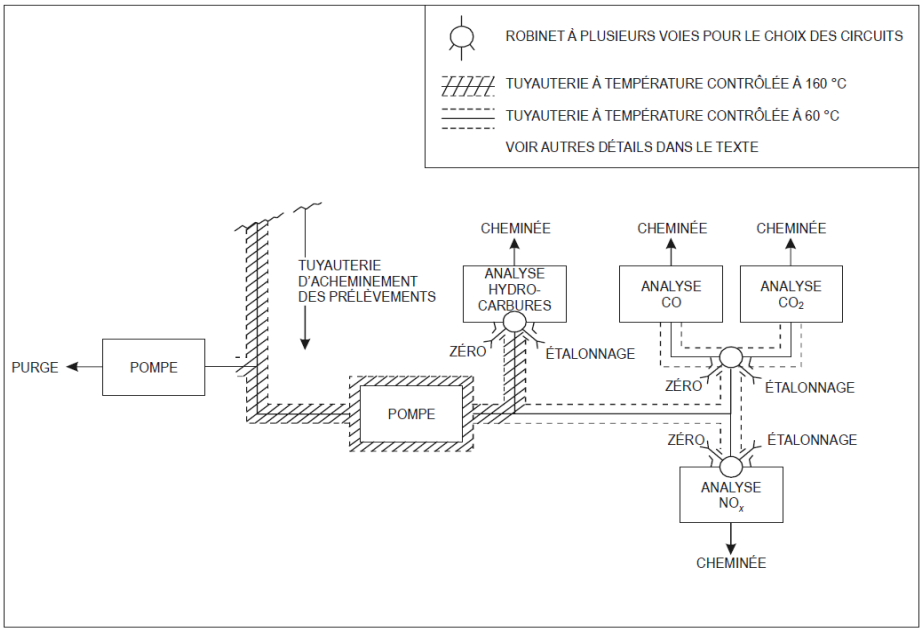

Figure A5-2. Schéma du dispositif d'acheminement et d'analyse

5. DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS

Note.- Une description et une spécification générales des principaux éléments du dispositif de mesure des gaz d'échappement des moteurs sont présentées ci-après. En cas de besoin, des détails complémentaires figurent aux § 5.2.1, 5.3.1 et 5.4.1 duprésent appendice.

5.1. SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT

5.1.1. Sonde de prélèvement

a) La sonde doit être construite de façon que les différents prélèvements puissent être effectués en divers emplacements le long d'un diamètre du panache. Les mélanges d'échantillons ne doivent pas être autorisés.

b) L'équipement avec lequel l'échantillon est en contact doit être en acier inoxydable et sa température maintenue à une valeur qui ne doit pas être inférieure à 60 °C.

c) Le plan de prélèvement doit être perpendiculaire à l'axe de la tuyère du moteur étudié et situé à une distance aussi proche que possible de 18 fois le diamètre de la tuyère par rapport au plan de sortie de la tuyère, compatible avec les dispositions du § 7.1.2, mais en aucun cas supérieure à 25 fois le diamètre de la tuyère. Le diamètre de sortie de la tuyère doit correspondre au régime maximal du moteur. Du plan de sortie de la tuyère au plan de prélèvement, il doit y avoir une zone dégagée cylindrique dont le rayon doit être égal à au moins quatre diamètres de sortie de la tuyère et dont l'axe doit être dans le prolongement de l'axe de la tuyère.

d) Le nombre de points de prélèvement doit être au minimum de 11. Le plan de mesure, situé à une distance *X* du moteur, doit être divisé en trois parties délimitées par des circonférences centrées sur l'axe du panache et dont les rayons sont respectivement :
R1 = 0,05*X*

R2 = 0,09*X*

et un minimum de trois échantillons doit être prélevé dans chaque partie. La différence entre les nombres d'échantillons prélevés dans les différentes parties doit être inférieure à 3. L'échantillon prélevé le plus loin de l'axe doit être prélevé à une distance de l'axe comprise entre 0,11*X* et 0,16*X*.

5.1.2. Tuyauteries de prélèvement

L'échantillon doit être acheminé de la sonde de prélèvement aux analyseurs au moyen d'une tuyauterie de 4,0 mm à.8,5 mm de diamètre intérieur par la voie la plus directe et en utilisant un débit tel que la durée d'acheminement soit inférieure à 10 secondes. Lorsque le prélèvement a pour objet de mesurer les éléments HC, CO, CO_2 et NO_x, la tuyauterie doit être en acier inoxydable ou en PTFE avec charge de carbone et mise à la masse.

5.2. ANALYSEUR D'HYDROCARBURES

La mesure de la teneur globale en hydrocarbures de l'échantillon doit être faite au moyen d'un analyseur utilisant un détecteur à ionisation de flamme entre les électrodes duquel passe un courant d'ionisation proportionnel au débit massique des hydrocarbures qui pénètrent dans une flamme d'hydrogène. L'analyseur doit comprendre des éléments destinés à contrôler la température et les débits de l'échantillon, la dérivation, le carburant et les gaz de dilution et à permettre une vérification effective de l'étalonnage et du zéro.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet au § 5.2.1 du présent appendice.

5.2.1. Spécification de l'analyseur d'hydrocarbures

Note 1.- Comme il est indiqué au § 5.2 du présent appendice, l'élément de mesure de cet analyseur est le détecteur à ionisation de flamme dans lequel l'échantillon ou une partie représentative de celui-ci est envoyé dans une flamme d'hydrogène. Au moyen d'électrodes convenablement disposées, un courant d'ionisation, qui est fonction du débit massique d'hydrocarbures à travers la flamme, peut être établi. C'est ce courant qui, rapporté à un zéro approprié, est amplifié pour donner une indication qui représente la concentration des hydrocarbures exprimés en ppmC équivalente.

Note 2.- Voir les § 6.3.4 et 6.4.3 du présent appendice pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

5.2.1.1.Généralités

Précautions : Les spécifications de performances indiquées s'entendent généralement pour la déviation maximale de l'analyseur. Des erreurs commises sur une déviation partielle peuvent représenter un pourcentage sensiblement plus élevé de la lecture. La pertinence et l'importance de ces augmentations doivent être prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent doivent être prises.

L'instrument utilisé doit être tel que la température du détecteur et des éléments d'acheminement des composants soit maintenue à une valeur située entre 155 °C et 165 °C avec une stabilité de ±2 °C. Les éléments principaux de la spécification doivent être les suivants, la réaction du détecteur étant optimale et l'instrument étant généralement stabilisé :

a) *Gamme complète de valeurs : 0* à 500 ppmC subdivisée en plages appropriées ;

b) *Pouvoir séparateur :* meilleur que 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou que 0,5 ppmC, si cette valeur est plus grande.

c) *Reproductibilité :* meilleur que ±1 % de la déviation maximale utilisée ou que ± 0,5 ppmC, si cette valeur est plus grande.

d) *Stabilité :* meilleur que ±2 % de la déviation maximale utilisée ou que ±1 ppmC, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure ;

e) *Dérive du zéro :* inférieure à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ± 0,5 ppmC, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure ;

f) *Bruit de fond :* 0,5 Hz et plus, inférieur à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±0,5 ppmC, si cette valeur est plus grande.

g) *Temps de réponse :* ne doit pas dépasser 10 secondes depuis l'entrée de l'échantillon dans le dispositif d'analyse jusqu'à l'obtention de 90 % de la lecture finale ;

h) *Linéarité :* la réaction avec un mélange de propane et d'air doit être linéaire pour chaque plage dans les limites de ±2 % de la déviation maximale, sinon des corrections d'étalonnage doivent être utilisées.

5.2.1.2.Effets secondaires

Note.- Dans l'application de cette méthode, deux phénomènes peuvent influer sur la précision de la mesure :

a) l'effet de l'oxygène (en raison duquel des proportions différentes d'oxygène dans l'échantillon donnent des concentrations indiquées d'hydrocarbures différentes pour une même concentration réelle d'hydrocarbures) ;

b) la réponse relative aux hydrocarbures (réponse différente à une même concentration d'hydrocarbures dans l'échantillon exprimée en ppmC équivalente, selon la nature ou le mélange des hydrocarbures).

L'ampleur des effets notés ci-dessus doit être déterminée comme suit et limitée en conséquence.

Réponse à l'oxygène : Mesurer la réponse avec deux mélanges de propane à une concentration d'environ 500 ppmC, connue avec une précision relative de ±1 % :

1) propane dans un mélange d'oxygène et d'azote contenant 10 ± 1 % d'oxygène ;

2) propane dans un mélange d'oxygène et d'azote contenant 21 ± 1 % d'oxygène.

Si on appelle R_1 et R_2 les réponses respectives normalisées, $(R_1 – R_2)$ doit être inférieure à 3 % de R_1.

Réponse différentielle aux hydrocarbures : Mesurer la réponse avec les quatre mélanges d'hydrocarbures différents ci-dessous dans l'air, à des concentrations d'environ 500 ppmC, connues avec une précision relative de ±1 % :

a) propane dans l'air zéro ;

b) propylène dans l'air zéro ;

c) toluène dans l'air zéro ;

d) n-hexane dans l'air zéro.

Si R_a, R_b, R_c et R_d sont respectivement les réponses normalisées (par rapport au propane), $(R_a – R_b)$, $(R_a – R_c)$ et $(R_a – R_d)$ doivent être inférieures à 5 % de R_a.

5.2.1.3.Obtention de la réponse optimale du détecteur et réglage

5.2.1.3.1. Il y a lieu de respecter les instructions du constructeur en ce qui concerne la méthode de réglage initial ainsi que les services et le matériel auxiliaires nécessaires et de laisser l'instrument se stabiliser. Tous les réglages doivent comprendre des vérifications répétées du zéro et sa correction s'il y a lieu. En utilisant comme échantillon un mélange d'environ 500 ppmC de propane dans l'air, on doit déterminer d'abord la caractéristique de réaction à des variations dans le débit de carburant puis, au voisinage du débit optimal de carburant, à des variations de débit de l'air de dilution afin de choisir sa valeur optimale. On doit ensuite évaluer la réponse à l'oxygène et la réponse différentielle aux hydrocarbures comme il est indiqué ci-dessus.

5.2.1.3.2. La linéarité de chaque plage de l'analyseur doit être vérifiée au moyen d'échantillons de propane dans l'air à des concentrations correspondant approximativement à 30 %, 60 % et 90 % de la déviation maximale. L'écart maximal de la réponse en chacun de ces points par rapport à la droite des moindres carrés (entre ces points et le zéro) ne doit pas

dépasser ±2 % de la déviation maximale. Si l'écart est supérieur à cette valeur, une courbe d'étalonnage doit être établie pour l'utilisation opérationnelle de l'analyseur.

5.3. ANALYSEURS de CO et de CO_2

Pour la mesure de ces éléments on doit utiliser des analyseurs non dispersifs à infrarouges fondés sur la différence d'absorption d'énergie entre un gaz de référence et le gaz échantillon, l'élément ou le groupe d'éléments de mesure pour chacun de ces gaz étant sensibilisé de manière appropriée. Cet élément analytique doit comprendre toutes les fonctions nécessaires au contrôle et à l'acheminement des courants de gaz échantillon, zéro et d'étalonnage. Le contrôle de la température doit être approprié à la base de mesure, qu'elle soit sèche ou humide.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet au § 5.3.1 du présent appendice.

5.3.1. Spécification des analyseurs de CO et de CO_2

Note 1.- Au § 5.3 du présent appendice sont résumées les caractéristiques du dispositif d'analyse à employer pour la mesure des concentrations de CO et CO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement. Les instruments sont fondés sur le principe de l'absorption non dispersive d'un rayonnement infrarouge comparée entre un échantillon de référence et l'échantillon de gaz à analyser. Les plages nécessaires de sensibilité sont obtenues en utilisant un empilage d'éléments d'analyse ou une modification des circuits électroniques ou les deux à la fois. Les interférences produites par des gaz présentant des bandes d'absorption qui chevauchent celles de l'échantillon peuvent être réduites au minimum en utilisant des filtres d'absorption de ces gaz, des filtres optiques, ou ces deux types de filtre. Cela dit, des filtres optiques devraient être utilisés.

Note 2.- Voir les § 6.3.4 et 6.4.3 du présent appendice pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

Précautions : Les spécifications de performances indiquées s'entendent généralement pour la déviation maximale de l'analyseur. Des erreurs commises sur une déviation partielle peuvent représenter un pourcentage sensiblement plus élevé de la lecture. La pertinence et l'importance de ces augmentations doivent être prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent doivent être prises.

Les principales spécifications de fonctionnement doivent être les suivantes:

Analyseur de CO

a) *Gamme complète de valeurs : 0* à 2 500 ppm subdivisée en plages appropriées ;

b) *Pouvoir séparateur :* meilleur que 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou que 1 ppm, si cette valeur est plus grande.

c) *Reproductibilité :* meilleur que ±1 % de la déviation maximale utilisée ou que ±2 ppm, si cette valeur est plus grande.

d) *Stabilité :* meilleur que ±2 % de la déviation maximale utilisée ou que ±2 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure ;

e) *Dérive du zéro :* inférieure à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±2 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure ;

f) *Bruit de fond :* 0,5 Hz et plus, inférieur à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±1 ppm, si cette valeur est plus grande.

g) *Interférences :* doivent être limitées par rapport à la concentration de CO indiquée de la façon suivante :

1) moins de 500 ppm pour une concentration d'éthylène de 1%;

2) moins de 2 ppm pour une concentration de CO_2 de 1 %;

3) moins de 2 ppm pour une concentration de vapeur d'eau de 1 %.*

*Inutile si les mesures sont effectuées à l'état sec.

Si les limites relatives aux interférences pour le CO_2 et/ou la vapeur d'eau ne peuvent pas être respectées, les facteurs de correction appropriés doivent être déterminés, signalés et appliqués.

Note.- Ces procédures de correction doivent être adoptées dans tous les cas.

Analyseur de CO_2

a) *Gamme complète de valeurs :* 0 à 10 % subdivisée en plages appropriées ;

b) *Pouvoir séparateur :* meilleur que 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou que 100 ppm, si cette valeur est plus grande.

c) *Reproductibilité :* meilleur que ±1 % de la déviation maximale utilisée ou que ±100 ppm, si cette valeur est plus grande.

d) *Stabilité :* meilleur que ± 2 % de la déviation maximale utilisée ou que ±100 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure ;

e) *Dérive du zéro :* inférieure à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±100 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure ;

f) *Bruit de fond :* 0,5 Hz et plus, inférieur à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±100 ppm, si cette valeur est plus grande.

g) L'effet de l'oxygène (O_2) sur la réponse de l'analyseur de CO_2 doit être vérifié. Si la teneur en O_2 passe de 0% O_2 à 21 % O_2, la réponse d'une concentration donnée de CO_2 ne doit pas varier de plus de 2 % de la lecture. Si cette limite ne peut être respectée, un coefficient de correction approprié doit être appliqué.

Note.- Ces procédures de correction doivent être adoptées dans tous les cas.

Analyseurs de CO et de CO_2

a) *Temps de réponse :* ce temps ne doit pas dépasser 10 secondes depuis le moment où l'échantillon arrive dans le dispositif d'analyse jusqu'à l'obtention de 90 % de la lecture finale ;

b) *Température de l'échantillon :* normalement, on procède à l'analyse de l'échantillon dans son état « humide » (non traité), ce qui exige que l'élément d'analyse de l'échantillon et tous les autres éléments en contact avec l'échantillon soient maintenus à une température égale ou supérieure à 50 °C avec une stabilité de ±2 °C. Il est admis de procéder à la mesure du CO et du CO_2 sur un échantillon sec (avec des moyens appropriés de dessiccation); dans ce cas on peut utiliser des analyseurs non chauffés et supprimer les limites d'interférence pour la vapeur d'eau, une correction

ultérieure pour la vapeur d'eau à l'entrée et la vapeur d'eau de combustion étant nécessaire ;

c) *Courbes d'étalonnage :*

1) On doit vérifier les analyseurs à caractéristique linéaire de sortie du signal dans toutes les plages de fonctionnement en utilisant des gaz d'étalonnage à des concentrations connues, correspondant approximativement à 0%, 30%, 60% et 90% de la déviation maximale. La déviation à la réponse maximale de n'importe lequel de ces points par rapport à une droite des moindres carrés, ajustée sur ces points et la lecture zéro, ne doit pas dépasser ±2 % de la déviation maximale. Si elle est supérieure à cette valeur, une courbe d'étalonnage doit être établie pour l'utilisation opérationnelle ;

2) Pour les analyseurs à caractéristique non linéaire de sortie du signal et ceux qui ne remplissent pas les conditions de linéarité données ci-dessus, on doit établir des courbes d'étalonnage pour toutes les plages de fonctionnement, en utilisant des gaz d'étalonnage à des concentrations connues correspondant approximativement à 0 %, 30 %, 60 % et 90 % de la déviation maximale. Des mélanges supplémentaires doivent être employés au besoin pour bien définir la forme de la courbe.

5.4. ANALYSEUR de NO_X

La concentration de NO doit être mesurée par la méthode de chimiluminescence dans laquelle la concentration de NO est donnée par l'intensité du rayonnement émis au cours de la réaction de NO de l'échantillon sur l'ozone (O_3) ajouté. Le NO_2 doit être converti en NO dans un convertisseur ayant le rendement voulu avant la mesure. Le dispositif de mesure des NO_X doit comprendre toutes les commandes de débit, de température et autres commandes et doit permettre des vérifications courantes de zéro et d'étalonnage ainsi que de rendement du convertisseur.

***Note**.- Une spécification générale est fournie à cet effet dans au § 5.4.1 du présent appendice.*

5.4.1. Spécification de l'analyseur d'oxydes d'azote

***Note**.- Voir les § 6.3.4 et 6.4.3 du présent Appendice pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.*

5.4.1.1. Comme il est indiqué au § 5.4 du présent appendice, la mesure de la concentration des oxydes d'azote doit être effectuée au moyen d'une technique de chimiluminescence dans laquelle le rayonnement émis par la réaction du NO sur O_3 est mesuré. Cette méthode n'est pas applicable au NO_2 et, en conséquence, l'échantillon doit passer à travers un convertisseur qui transforme le NO_2 en NO avant de procéder à la mesure de l'ensemble des oxydes d'azote. Il doit falloir consigner à la fois la concentration de NO originale et la concentration totale de NO_X. On doit ensuite obtenir la concentration de NO_2 par différence.

5.4.1.2. L'instrument utilisé doit être complet avec tous les éléments nécessaires de contrôle du débit, tels que régulateurs, robinets, débitmètres, etc. Les matériaux en contact avec l'échantillon de gaz doivent être des matériaux inattaquables par les oxydes d'azote, tels que de l'acier inoxydable, du verre, etc. La température de l'échantillon doit être maintenue partout à des valeurs compatibles avec les pressions locales qui empêchent la condensation de l'eau.

Précautions *:* Les spécifications de performances indiquées s'entendent généralement pour la déviation maximale de l'analyseur. Des erreurs commises sur une déviation partielle peuvent représenter un pourcentage sensiblement plus élevé de la lecture. La pertinence et l'importance de ces augmentations doivent être prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent doivent être prises.

5.4.1.3. Les principales spécifications de fonctionnement, déterminées pour un instrument utilisé dans une température ambiante stable à ±2 °C près, doivent être les suivantes :

a) *Gamme complète de valeurs : 0 à* 2 500 ppm subdivisée en plages appropriées ;

b) *Pouvoir séparateur :* meilleur que 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou que 1 ppm, si cette valeur est plus grande.

c) *Reproductibilité :* meilleur que ±1 % de la déviation maximale utilisée ou que ±1 ppm, si cette valeur est plus grande.

d) *Stabilité :* meilleur que 2 % de la déviation maximale utilisée ou que ±1 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure ;

e) *Dérive du zéro :* inférieure à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à 1 ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période d'une heure ;

f) *Bruit de fond :* 0,5 Hz et plus, inférieur à ±1 % de la déviation maximale utilisée ou à ±1ppm, si cette valeur est plus grande, sur une période de deux heures ;

g) *Interférences :* doivent être maintenues, pour des échantillons contenant du CO_2 et de la vapeur d'eau, dans les limites suivantes :

— moins de 0,05 % de la lecture pour une concentration de $C0_2$ de 1 %;

— moins de 0,1 % de la lecture pour une concentration de vapeur d'eau de 1 % ;

Si les limites relatives aux interférences pour le CO_2 et/ou la vapeur d'eau ne peuvent pas être respectées, les facteurs de correction appropriés doivent être déterminés, signalés et appliqués ;

Note.- Ces procédures de correction doivent être adoptées dans tous les cas.

h) *Temps de réponse :* ne doit pas dépasser 10 secondes depuis l'entrée de l'échantillon dans le dispositif d'analyse jusqu'à l'obtention de 90 % de la lecture finale ;

i) *Linéarité :* meilleur que ±2 % de la déviation maximale utilisée ou que ±2 ppm, si cette valeur est plus grande.

j) *Convertisseur :* le convertisseur doit être conçu et utilisé de façon à convertir le NO_2 présent dans l'échantillon en NO. Le convertisseur ne doit pas modifier le NO qui se trouvait à l'origine dans l'échantillon.

L'efficacité du convertisseur ne doit pas être inférieure à 90 %.

Cette valeur de l'efficacité doit être utilisée pour corriger la valeur mesurée du NO_2 de l'échantillon (c'est-à-dire $[NO_x]_c$ - [NO]) pour la ramener à celle qui aurait été obtenue si l'efficacité avait été de 100 %.

6. MÉTHODE GÉNÉRALE D'ESSAI

6.1. FONCTIONNEMENT DU MOTEUR

Le moteur doit être placé sur un banc d'essai statique à l'air libre convenablement équipé pour des essais de performances de haute précision et conforme aux spécifications concernant l'installation de la sonde de prélèvement indiquées au § 5.1. Les essais d'émissions doivent être effectués au régime de puissance prescrit par l'Autorité primaire de certification. Le moteur doit être stabilisé à chaque régime.

6.2. CONDITIONS ATMOSPHERIQUES AMBIANTES

6.2.1. On doit vérifier les concentrations de l'air ambiant en CO, HC, CO2 et NOx, le moteur à essayer étant en fonctionnement dans les conditions d'essai. Des concentrations exceptionnellement élevées indiquent des conditions anormales : recirculation des gaz d'échappement, par exemple, une fuite de carburant ou la présence d'autres sources d'émissions indésirables dans la zone d'essai, situation qu'il doit falloir corriger ou éviter, selon le cas.

Note.— À titre indicatif, la concentration normale ambiante est de 0,03 % pour le CO_2, et il est peu probable que les niveaux de concentration de 5 ppm pour le CO et les HC et de 0,5 ppm pour le NOx soient dépassés dans les conditions ambiantes normales.

6.2.2. Il doit falloir également éviter des conditions climatiques extrêmes (pluie ou vent trop fort, par exemple).

6.3. ÉTALONNAGE PRINCIPAL DE L'INSTRUMENT

Note.- Le but général de cet étalonnage est de confirmer la stabilité et la linéarité des mesures.

6.3.1. Le postulant doit démontrer à l'autorité primaire de certification que l'étalonnage du dispositif analytique est valide au moment de l'essai.

6.3.2. En ce qui concerne l'étalonnage de l'analyseur d'hydrocarbures, il doit falloir vérifier que les réactions à l'oxygène du détecteur et les réactions différentielles aux hydrocarbures sont dans les limites précisées au § 5.2.1 du présent appendice. Il doit falloir également vérifier l'efficacité du convertisseur NO_2/NO afin de s'assurer qu'elle est conforme au § 5.4.1 du présent appendice.

6.3.3. La méthode de vérification du fonctionnement de chaque analyseur doit être la suivante (en utilisant les gaz d'étalonnage et d'essai indiqués aux § 6.3.4 et 6.4.3 du au présent appendice) :

a) Introduire le gaz zéro et ajuster le zéro de l'instrument en notant ce zéro, s'il y a lieu.

b) Pour chaque plage de valeurs à utiliser en exploitation, introduire le gaz d'étalonnage à une concentration correspondant (nominalement) à 90 % de la déviation maximale; ajuster l'indication de l'instrument et noter cette indication.

c) Introduire des concentrations de ce gaz correspondant approximativement à 30 %, 60 % et 90 % de la déviation maximale et noter les indications de l'analyseur.

d) Tracer la droite des moindres carrés entre les points correspondant aux concentrations zéro, 30 %, 60 % et 90 %. Pour les analyseurs de CO et/ou de $C0_2$ utilisés sous leur forme élémentaire sans linéarisation des résultats, on doit tracer la courbe des moindres carrés d'une formule mathématique appropriée en utilisant de points d'étalonnage supplémentaires, si on le juge nécessaire. Si un point s'écarte de plus de 2 % de la déviation maximale (ou ±1 ppm*, si cette valeur est supérieure), une courbe d'étalonnage pour l'utilisation en exploitation doit être établie.

*Sauf pour l'analyseur de CO_2, pour lequel la valeur doit être de ±100 ppm.

6.3.4. Gaz d'étalonnage

Tableau A5-1. Tableau des gaz d'étalonnage

Analyseur	*Gaz*	*Précision **
HC	propane dans l'air zéro	±2 % ou ±0,05 ppm**
CO_2	CO_2 dans l'air zéro	±2% ou ±100 ppm**
CO	CO dans l'air zéro	±2 % ou ±2 ppm**
NO_x	NO_x dans l'azote zéro	±2 % ou ±1 ppm**

* Prise dans l'intervalle de confiance de 95 %.

** La plus grande des deux valeurs.

Les gaz ci-dessus sont requis pour effectuer l'étalonnage de routine des analyseurs durant l'utilisation opérationnelle normale.

6.3.4.1. Dans les gaz d'étalonnage des analyseurs de CO et CO2, ces derniers peuvent être mélangés séparément ou ensemble. Des mélanges ternaires de CO, CO2 et propane dans l'air zéro peuvent être utilisés à condition que la stabilité du mélange soit assurée.

6.3.4.2. Le gaz zéro spécifié pour l'analyseur de CO, CO_2 et d'hydrocarbures doit être l'air zéro (qui comprend l'air « artificiel » composé de 20 % à 22 % d'oxygène mélangé à de l'azote). Pour l'analyseur de NO_X, l'azote zéro doit être utilisé comme gaz zéro. Les impuretés dans les deux sortes de gaz zéro doivent être inférieures aux concentrations ci-dessous :

- 1 ppm de carbone ;
- 1 ppm de CO ;
- 100 ppm de CO_2 ;
- 1 ppm de NO_X.

6.3.4.3. Le postulant doit veiller à ce que les gaz qui lui sont fournis commercialement répondent bien à cette spécification, ou sont garantis conformes par le vendeur.

6.4. EXÉCUTION DES MESURES

6.4.1. Aucune mesure ne doit être faite avant que tous les instruments et les tuyauteries d'acheminement de l'échantillon aient été réchauffés et aient atteint une température stable et avant qu'il ait été procédé aux vérifications suivantes:

a) contrôle des fuites: avant une série d'essais, il doit falloir s'assurer que le système ne présente pas de fuites en isolant la sonde de prélèvement et les analyseurs, en branchant

une pompe aspirante de performances équivalentes à celles de la pompe utilisée dans le dispositif de mesure de la fumée et en la faisant fonctionner, afin de vérifier que le débit des fuites dans le système est inférieur à 0,4 L/min, rapporté à la température et à la pression normales;

b) contrôle de la propreté: isoler de la sonde de prélèvement le dispositif d'échantillonnage des gaz et relier l'extrémité de la tuyauterie d'échantillonnage à une source de gaz zéro. Réchauffer le système afin de le porter à la température d'utilisation nécessaire pour les mesures d'hydrocarbures. Actionner la pompe de prélèvement et régler le débit au niveau employé pendant les essais sur les émissions du moteur. Enregistrer la lecture de l'analyseur d'hydrocarbures. Elle ne doit pas dépasser 1 % du niveau d'émission moteur à l'arrêt ou 1 ppm si cette valeur est supérieure (dans les deux cas en équivalent méthane).

Note 1.- Il est bon de purger la tuyauterie pendant que le moteur fonctionne et que la sonde de prélèvement se trouve dans les gaz d'échappement, mais sans que les émissions soient mesurées, pour qu'il ne se produise aucune contamination appréciable.

Note 2.- Il est bon aussi de surveiller la qualité de l'air introduit, et cela au début et à la fin de l'essai ainsi qu'au moins une fois par heure pendant un essai. Si les niveaux sont jugés importants, il convient d'en tenir compte.

6.4.2. La méthode à adopter pour l'exécution des mesures doit comprendre les opérations suivantes:

a) Introduire le gaz zéro approprié et effectuer les réglages nécessaires de l'instrument ;
b) Introduire le gaz d'étalonnage approprié à une concentration nominale correspondant à 90 % de la déviation maximale pour les plages à utiliser et effectuer les réglages correspondants et les consigner.
c) Lorsque le moteur a été stabilisé au régime de fonctionnement et à l'emplacement de prélèvement voulus, le laisser tourner et relever les concentrations de polluants jusqu'à ce qu'on obtienne une lecture stabilisée qui doit être alors notée. Répéter la même procédure de mesure pour chacun des autres emplacements de prélèvement, avec le même régime de fonctionnement du moteur.
d) Vérifier à nouveau le zéro et l'étalonnage à la fin de l'essai ainsi qu'à des intervalles n'excédant pas 1 heure au cours des essais. Si le zéro et les points d'étalonnage ont varié de plus de ±2 % de la déviation maximale, l'essai doit être repris après avoir ramené l'instrument dans les limites spécifiées.

6.4.3. Gaz d'essai

Tableau A5-2. Tableau des gaz d'essai

Analyseur	*Gaz*	*Précision **
HC	propane dans un mélange d'oxygène et d'azote zéro contenant 10 % ±1 % d'oxygène	±1 %
HC	propane dans un mélange d'oxygène et d'azote zéro contenant 21 % ±1 % d'oxygène	±1 %
HC	propylène dans l'air zéro	±1 %
HC	toluène dans l'air zéro	±1 %
HC	n-hexane dans l'air zéro	±1 %
HC	propane dans l'air zéro	±1 %
CO_2	CO_2 dans l'air zéro	±1 %

CO_2	CO2 dans l'azote zéro	±1 %
CO	CO dans l'air zéro	±1 %
NOx	NO dans l'azote zéro	±1 %

* Prise dans l'intervalle de confiance de 95 %.

Les gaz ci-dessus sont requis pour effectuer les essais décrits aux § 5.2.1, 5.3.1 et 5.4.1 du présent appendice.

6.4.3.1. Dans les gaz d'étalonnage des analyseurs de CO et CO2, ces derniers peuvent être mélangés séparément ou ensemble. Des mélanges ternaires de CO, CO2 et propane dans l'air zéro peuvent être utilisés à condition que la stabilité du mélange soit assurée.

6.4.3.2. Le gaz zéro spécifié pour l'analyseur de CO, CO_2 et d'hydrocarbures doit être l'air zéro (qui comprend l'air « artificiel » composé de 20 % à 22 % d'oxygène mélangé à de l'azote). Pour l'analyseur de NO_X, l'azote zéro doit être utilisé comme gaz zéro. Les impuretés dans les deux sortes de gaz zéro doivent être inférieures aux concentrations ci-dessous :

- 1 ppm de carbone ;
- 1 ppm de CO ;
- 100 ppm de CO_2 ;
- 1 ppm de NO_X.

6.4.3.3. Le postulant doit veiller à ce que les gaz qui lui sont fournis commercialement répondent bien à cette spécification, ou sont garantis conformes par le vendeur.

7. CALCUL

7.1. ÉMISSIONS GAZEUSES

7.1.1. Généralités

Les mesures d'analyse effectuées doivent porter sur les concentrations des différentes catégories de polluants, aux régimes indiqués de postcombustion du moteur et aux divers points dans le plan de prélèvement. On doit consigner ces paramètres de base, et on doit calculer et consigner également les autres paramètres, comme il est indiqué ci-après.

7.1.2. Analyse et validation des mesures

a) La moyenne des concentrations mesurées pour chaque régime du moteur en différents points de prélèvement doit être calculée comme suit :

$$C_{i\ moy} = \sum_{j=1}^{n} C_{ij}$$

Où

$\sum_{j=1}^{n}$ somme du nombre total n de points de prélèvements utilisés ;

C_{ij} concentrations de l'élément i mesurées au point de prélèvement j ;

$C_{i\,moy}$ concentration moyenne de l'élément i.

Toutes les mesures de concentration à l'état sec doivent être converties en concentrations réelles à l'état humide (voir le Supplément B).

b) La qualité des mesures pour chaque polluant doit être déterminée au moyen d'une comparaison avec les mesures de CO_2 en utilisant le coefficient de corrélation suivant :

$$r_i = \frac{n\sum_{j=1}^{n} C_{ij}CO_{2\,j} - \sum_{j=1}^{n} C_{ij} \sum_{j=1}^{n} CO_{2j}}{\sqrt{\left\{n\sum_{j=1}^{n}(CO_{2j})^2 - \left(\sum_{j=1}^{n} CO_{2j}\right)^2\right\}\left\{n\sum_{j=1}^{n} C_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^{n} C_{ij}\right)^2\right\}}}$$

Les valeurs de r_i qui sont voisines de 1 indiquent que les mesures prises pendant la période de prélèvement toute entière sont suffisamment stables et que les courbes sont gaussiennes. Si r_i est inférieur à 0,95, de nouvelles mesures doivent être faites dans un plan de prélèvement situé à une plus grande distance du moteur. Le processus de mesure proprement dit est ensuite suivi des mêmes calculs et de la même démonstration que précédemment.

7.1.3. Paramètres fondamentaux

Pour les mesures correspondant à chaque régime de fonctionnement du moteur, la concentration moyenne de chaque élément gazeux est calculée comme il est indiqué au § 7.1.2, les corrections nécessaires pour les mesures faites sur échantillon à l'état sec et/ou pour interférence ont été faites comme il est indiqué au Supplément B. Ces concentrations moyennes sont utilisées pour calculer les paramètres fondamentaux ci-après :

$$\text{IE}_p \text{ (indice d'émission du composant } p) = \frac{\text{masse de } p \text{ produite en g}}{\text{masse de carburant utilisée en kg}}$$

$$\text{IE(CO)} = \left(\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}\right)\left(\frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}}\right)(1 + T(\text{P}_0/m))$$

$$\text{IE(HC)} = \left(\frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}\right)\left(\frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}}\right)(1 + T(\text{P}_0/m))$$

$$\text{IE}(\text{NO}_x)\ (\text{en NO}_2) = \left(\frac{[\text{NO}_x]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}\right)\left(\frac{10^3 M_{\text{NO}_2}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}}\right)(1 + T(\text{P}_0/m))$$

$$\text{Rapport air/carburant} = (\text{P}_0/m)\left(\frac{M_{\text{AIR}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}}\right)$$

où

$$P_0 / m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])}$$

et

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x])[HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}$$

M_{AIR} masse moléculaire de l'air sec = 28,966 g ou, s'il y a lieu,
= (32R+ 28,1564 S + 44,011 T) g

M_{HC} masse moléculaire des hydrocarbures d'échappement, considérée comme
CH_4 = 16,043 g

M_{CO} masse moléculaire du CO = 28,011 g

M_{NO2} masse moléculaire du NO_2 = 46,008 g

M_C masse atomique du carbone = 12,011 g

M_H masse atomique de l'hydrogène = 1,008 g

R concentration de l'oxygène dans l'air sec en volume =0,209 5 normalement

S concentration de l'azote et des gaz rares dans l'air sec en volume = 0,790 2 normalement

T concentration de CO2 dans l'air sec en volume = 0,000 3 normalement

[HC] concentration moyenne des hydrocarbures des gaz d'échappement en volume, à l'état humide, exprimée en carbone.

[CO] concentration moyenne de CO en volume à l'état humide.

[CO_2] concentration moyenne de CO_2 en volume à l'état humide

[NO_x] concentration moyenne de NO_x en volume à l'état humide =[NO+NO_2]

[NO] concentration moyenne de NO dans l'échantillon, en volume à l'état humide.

[NO_2] concentration moyenne de NO_2 dans l'échantillon, en volume à l'état humide

$$= \frac{([NO_x]_c - [NO])}{\eta}$$

($[NO_x]_c$ concentration moyenne de NO dans l'échantillon après passage dans le convertisseur de NO_2 en NO, en volume, à l'état humide

η efficacité du convertisseur de NO_2 en NO

h_{vol} humidité de l'air ambiant en volume d'eau /volume d'air sec

m nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant

n nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique du carburant

x nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique des hydrocarbures des gaz d'échappement

y nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique des hydrocarbures des gaz d'échappement.

La valeur de *n/m,* rapport du nombre d'atomes de carbone au nombre d'atomes d'hydrogène du carburant utilisé, est évaluée au moyen d'une analyse du type de carburant. L'humidité de l'air ambiant *h* doit être mesurée pour chaque condition d'essai. En l'absence de preuve du contraire en ce qui concerne la caractérisation *(x, y)* des hydrocarbures des gaz d'échappement, on doit utiliser les valeurs x = 1 et y = 4. Si l'on doit utiliser des mesures de CO et de CO_2 à l'état sec ou semi-humide, celles-ci doivent être d'abord converties en concentration équivalente à l'état humide comme il est indiqué au Supplément B qui contient également des formules de correction des interférences à utiliser en cas de besoin.

Note.— Les procédures indiquées aux § 7.1.4 et 7.2 sont applicables aux essais lorsque la postcombustion n'est pas utilisée. Pour les essais avec postcombustion, on peut employer ces procédures, sous réserve de l'accord de l'autorité primaire de certification.

7.1.4. Correction des indices d'émission pour les ramener aux conditions de référence.

Des corrections des indices d'émission mesurés doivent être effectuées pour tous les polluants à tous les régimes applicables de fonctionnement du moteur pour les écarts entre la température et la pression réelles de l'air à l'admission et les conditions de référence (ISA au niveau de la mer). La valeur de référence pour l'humidité doit être 0,00634 kg d'eau/kg d'air sec.

Ainsi IE corrigé = K x lE mesuré

où K représente l'expression généralisée suivante:

$K = (P_{Bréf} / P_B)^a \times (FAR_{réf} / FAR_B)^b \times \exp(|T_{Bréf} - T_B| Ic) \times \exp(d|h_{vol} - 0{,}00634|)$

P_B Pression mesurée à l'entrée du foyer.

T_B Température mesurée à l'entrée du foyer.

FAR_B Rapport carburant / air dans le foyer.

h_{vol} Humidité de l'air ambiant, en volume d'eau / volume d'air sec.

$P_{réf}$ Pression ISA au niveau de la mer.

$T_{réf}$ Température ISA au niveau de la mer.

$P_{Bréf}$ Pression à l'entrée du foyer du moteur essayé (ou du moteur de référence si la donnée est corrigée pour la ramener à un moteur de référence) associée à T_B dans les conditions ISA au niveau de la mer.

$T_{Bréf}$ Température à l'entrée du foyer dans des conditions ISA au niveau de la mer pour le moteur essayé (ou le moteur de référence si la donnée doit être corrigée pour la ramener à un moteur de référence).Cette température est la température associée à chaque niveau de poussée spécifié pour chaque régime.

$FAR_{réf}$ Rapport carburant /air dans le foyer dans des conditions ISA au niveau de la mer pour le moteur essayé (ou le moteur de référence si la donnée doit être corrigée pour la ramener à un moteur de référence).

a, b, c, d Constantes spécifiques qui peuvent varier pour chaque polluant et chaque type de moteur.

Les paramètres à l'entrée du foyer doivent être de préférence mesurés, mais ils pourront être calculés à partir des conditions ambiantes au moyen de formules appropriées.

7.1.5. L'utilisation de la technique recommandée d'adaptation à la courbe pour rapporter les indices d'émission à la température l'entrée du foyer élimine effectivement le terme ($|T_{Bréf} - T_B| Ic$) de

l'équation généralisée et, dans la plupart des cas, le terme ($FAR_{réf} / FAR_B$) peut être considéré comme égal à 1. Pour les indices d'émissions de CO et de HC, de nombreux établissements d'essais ont établi que le terme représentant l'humidité est suffisamment proche de l'unité pour qu'on puisse l'éliminer de l'expression et que l'exposant du terme ($P_{Bréf} / P_B$) est proche de l'unité.

Ainsi

IE(CO) corrigé = IE calculé à partir de la courbe de $(P_B / P_{Bréf})$ IE(CO) en fonction de T_B ;

IE (HC) corrigé = IE calculé à partir de la courbe de $(P_B / P_{Bréf})$ IE(HC) en fonction de T_B;

IE (NO_x) corrigé = IE calculé à partir de la courbe de IE(NO_x) $(P_{Bréf} / P_B)^{0,5} \exp(19|h_{vol}-0,00634|)$ en fonction de T_B .

Si cette méthode recommandée pour la correction de l'indice d'émissions de CO et de HC ne donne pas une corrélation satisfaisante, on pourra employer une méthode de rechange utilisant des paramètres tirés des essais sur les composants.

Toute autre méthode utilisée pour corriger les indices d'émission de CO, HC et NO_x, doit être approuvée par l'Autorité primaire de certification.

7.2. PARAMÈTRES DE CONTRÔLE (D_P, F_{OO}, π)

7.2.1. Définitions

D_p Masse de tout polluant gazeux émis au cours d'un cycle d'émission de référence à l'atterrissage et au décollage.

F_{oo} Poussée maximale disponible pour le décollage en exploitation normale dans les conditions statiques en atmosphère type internationale au niveau de la mer, sans injection d'eau, approuvée par l'autorité primaire de certification compétent.

π Rapport entre la pression totale moyenne à la sortie du dernier étage du compresseur et la pression totale moyenne à l'entrée du compresseur lorsque la poussée du moteur est égale à la poussée nominale du décollage dans les conditions statiques en atmosphère type internationale (ISA) au niveau de la mer.

7.2.2. Les indices d'émission (IE) pour chaque polluant, corrigés pour la pression et l'humidité (s'il y a lieu) pour les ramener aux conditions de l'atmosphère ambiante de référence comme il est indiqué au § 7.1.4 et, si cela est nécessaire, au moteur de référence, doivent être déterminés pour les régimes *n* nécessaires de ralenti, d'approche, de montée et d'atterrissage du cycle d'atterrissage et de décollage CAD pour chacune des conditions de poussée corrigée équivalentes. Un minimum de trois points d'essai doit être nécessaire pour définir le régime de ralenti. Les relations suivantes doivent être déterminées pour chaque polluant :

a) entre IE et T_B ;
b) entre W_f (débit massique de carburant) et T_B ;
c) entre F_n (corrigé pour le ramener aux conditions ISA au niveau de la mer) et T_B (corrigé pour le ramener aux conditions ISA au niveau de la mer) ;

Note.- Ces relations sont illustrées par exemple sur la Figure A5-3 a), b) et c).

Si un moteur soumis aux essais n'est pas un moteur «de référence», les données peuvent être corrigées pour les ramener aux conditions du moteur de référence en utilisant les relations b) et c) obtenues à partir d'un moteur de référence. Un moteur de référence est défini comme étant un moteur ayant une configuration sensiblement identique à celle du moteur certifié et accepté par l'Autorité primaire de certification comme étant représentatif du type de moteur pour lequel la certification est demandée.

Le constructeur doit également fournir à l'autorité primaire de certification toutes les données nécessaires sur les performances du moteur à l'appui de ces relations et, pour les conditions ambiantes de l'atmosphère type internationale au niveau de la mer :

a) la poussée nominale maximale (F_{oo}) ;
b) le rapport de pression du moteur (π) à la poussée nominale maximale.

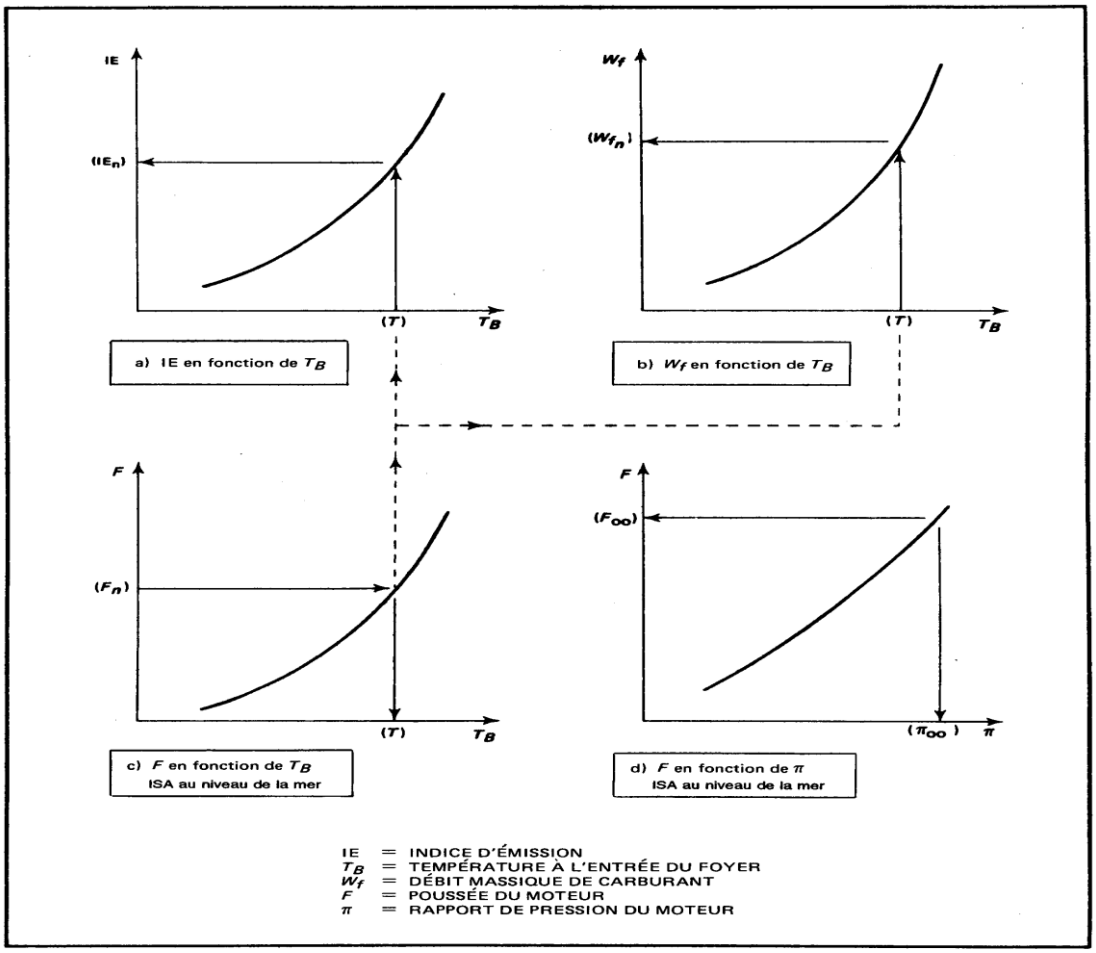

Figure A5-3 . Méthode de Calcul

Note. — Ces données sont illustrées sur la Figure A5-3 d).

7.2.3. L'évaluation de IE pour chaque polluant à chacun des régimes moteur nécessaires, ramenée aux conditions ambiantes de référence, doit être conforme à la méthode générale suivante :

a) pour la valeur F_n de la poussée en atmosphère type internationale à chaque régime, déterminer la température équivalente à l'entrée du foyer T_B [Figure A5-3 c)] ;

b) à partir de la caractéristique IE/T_B [Figure A5-3 a)], déterminer la valeur IE_n correspondant à T_B ;

c) à partir de la caractéristique W_f/T_B[Figure A5-3 b)],déterminer la valeur W_{fn} correspondant à T_B.

d) noter les valeurs maximales de la poussée nominale et du rapport de pression en atmosphère type internationale. Ces valeurs sont respectivement F_{oo} et π [Figure A5-3 d)] ;

e) calculer pour chaque polluant $D_P = \Sigma\ (IE_n)\ (W_{fn})(t)$ où

t temps au régime CAD (en minutes).

W_{fn} débit massique de carburant (en kilogrammes/minute).

Σ est la somme pour l'ensemble des régimes du cycle CAD de référence.

7.2.4. Bien que la méthode décrite ci-dessus soit la méthode recommandée, l'Autorité primaire de certification peut accepter une méthode mathématique équivalente qui utilise des expressions mathématiques représentant les courbes illustrées si ces expressions ont été établies en utilisant une technique agréée d'adaptation aux courbes.

APPENDICE 6 : PROCÉDURE DE DÉMONSTRATION DE LA CONFORMITÉ POUR LES ÉMISSIONS DE GAZ, DE FUMÉE ET DE PARTICULES.

1. GÉNÉRALITÉS

Les principes généraux suivants doivent être respectés pour démontrer la conformité aux niveaux maximaux admissibles stipulés aux § 2.2, 2.3, 3.2 et 3.3 et 4.2 de la Partie 3.

a) Le constructeur doit être autorisé à choisir pour les essais de certification un nombre quelconque de moteurs, même un seul moteur, s'il le désire ;

b) L'Autorité primaire de certification doit tenir compte de tous les résultats obtenus au cours des essais de certification ;

c) Trois essais de moteur au moins doivent être effectués, de sorte que si un seul moteur est présenté aux essais de certification il doit être essayé au moins trois fois ;

d) Si un même moteur *(i)* est essayé plusieurs fois, la valeur moyenne (X_i) des résultats des essais doit être considérée comme étant la valeur moyenne pour ce moteur. Le résultat des essais de certification doit être alors la valeur moyenne arithmétique des valeurs (X_i) obtenue pour chaque moteur essayé ;

e) Le constructeur doit fournir à l'autorité primaire de certification les renseignements spécifiés au § 2.4,3.4, 4.2 et/ou 4.3 de la Partie 3, selon le cas ;

f) Les moteurs présentés pour les essais doivent avoir des caractéristiques d'émissions représentatives du type de moteur pour lequel la certification est demandée. Toutefois, un des moteurs au moins doit avoir une configuration qui doit répondre sensiblement à la norme de production de ce type de moteur et des caractéristiques de fonctionnement et de performances parfaitement représentatives. Un de ces moteurs doit être appelé le moteur standard de référence. Les méthodes de correction pour ramener les résultats à ce moteur de référence à partir des résultats d'essai des autres moteurs doivent être approuvées par l'Autorité primaire de certification. Les méthodes de correction des résultats d'essai pour les effets de l'air ambiant doivent être celles qui sont indiquées au § 7.1.3 de l'Appendice 3 ou au § 7.1.4 de l'Appendice 5 ou au §6 de l'Appendice 7, selon le cas.

2. PROCÉDURE DE DÉMONSTRATION DE LA CONFORMITÉ

2.1. Émissions gazeuses et indice de fumée

L'Autorité primaire de certification délivre un certificat de conformité si la moyenne des valeurs mesurées et corrigées (pour les ramener au moteur type et aux conditions atmosphériques de référence) pour tous les moteurs essayés ne dépasse pas le niveau réglementaire lorsqu'elle est ramenée à un niveau caractéristique en divisant par le facteur approprié qui est déterminé en fonction du nombre de moteurs essayés (i), comme il est indiqué dans le Tableau A6-1..

Note.- Le niveau caractéristique de l'indice de fumée ou des émissions de gaz est défini comme étant le quotient de la moyenne des valeurs de tous les moteurs essayés, et, pour les émissions gazeuses uniquement, corrigées de manière adéquate pour les ramener au moteur de référence et aux conditions

atmosphériques de référence, par le facteur correspondant au nombre de moteurs essayés, figurant dans le tableau A6-1.

Tableau A6-1. Facteurs pour déterminer les niveaux caractéristiques

Nombre de moteurs essayés (i)	*CO*	*HC*	*NOx*	*SN*	*Concentration massique des nvPM*	*En masse de nvPM CAD*	*En nombre de nvPM CAD*
1	0,814 7	0,649 3	0,862 7	0,776 9	0,776 9	0,719 4	0,719 4
2	0,877 7	0,768 5	0,909 4	0,852 7	0,852 7	0,814 8	0,814 8
3	0,924 6	0,857 2	0,944 1	0,909 1	0,909 1	0,885 8	0,885 8
4	0,934 7	0,876 4	0,951 6	0,921 3	0,921 3	0,901 1	0,901 1
5	0,941 6	0,889 4	0,956 7	0,929 6	0,929 6	0,911 6	0,911 6
6	0,946 7	0,899 0	0,960 5	0,935 8	0,935 8	0,919 3	0,919 3
7	0,950 6	0,906 5	0,963 4	0,940 5	0,940 5	0,925 2	0,925 2
8	0,953 8	0,912 6	0,965 8	0,944 4	0,944 4	0,930 1	0,930 1
9	0,956 5	0,917 6	0,967 7	0,947 6	0,947 6	0,934 1	0,934 1
10	0,958 7	0,921 8	0,969 4	0,950 2	0,950 2	0,937 5	0,937 5
plus de 10	$1-\frac{0,130\,59}{\sqrt{i}}$	$1-\frac{0,247\,24}{\sqrt{i}}$	$1-\frac{0,096\,78}{\sqrt{i}}$	$1-\frac{0,157\,36}{\sqrt{i}}$	$1-\frac{0,157\,36}{\sqrt{i}}$	$1-\frac{0,197\,78}{\sqrt{i}}$	$1-\frac{0,197\,78}{\sqrt{i}}$

2.2. Émissions de particules

2.2.1. L'autorité primaire de certification délivre un certificat de conformité si la moyenne des valeurs maximales de concentration massique des nvPM, pour tous les moteurs essayés, ne dépasse pas le niveau réglementaire lorsqu'elle est ramenée à un niveau caractéristique en divisant par le facteur approprié qui est déterminé en fonction du nombre de moteurs essayés (i), comme il est indiqué dans le Tableau A6-1.

Note.— Le niveau caractéristique de la concentration massique maximale des nvPM correspond au quotient de la moyenne des valeurs maximales de tous les moteurs essayés,, par le facteur correspondant au nombre de moteurs essayés, comme il est indiqué dans le Tableau A6-1.

2.2.2. L'autorité primaire de certification délivre un certificat de conformité si la moyenne des valeurs des émissions de nvPM, en masse et en nombre, , pour tous les moteurs essayés, ne dépasse pas le niveau réglementaire lorsqu'elle est ramenée à un niveau caractéristique en divisant par le facteur approprié qui est déterminé en fonction du nombre de moteurs essayés (i), comme il est indiqué dans le Tableau A6-1.

Note.— Le niveau caractéristique des émissions de nvPM en masse et en nombre correspond au quotient de la moyenne des valeurs de tous les moteurs essayés par le facteur correspondant au nombre de moteurs essayés, comme il est indiqué dans le Tableau A6-1.

2.3. Niveau caractéristique

Les facteurs nécessaires à la détermination des niveaux caractéristiques des émissions de moteur figurent au Tableau A6-1.

3. PROCÉDURE EN CAS D'ÉCHEC

3.1 *Si un moteur subit un échec aux essais de certification, cela ne signifie pas nécessairement que le type de moteur ne répond pas aux spécifications, mais cela peut indiquer que le niveau de confiance dans la conformité du moteur aux spécifications donné au service de certification n'est pas suffisamment élevé, c'est-à-dire est inférieur à 90 %. En conséquence, il devrait être permis au constructeur de présenter des preuves supplémentaires de la conformité du type de moteur.*

3.2 Si un type de moteur subit un échec aux essais de certification, l'Autorité primaire de certification doit permettre au constructeur de procéder, si le constructeur le désire, à des essais supplémentaires sur les moteurs soumis à la certification. Si, au total, les résultats d'essai montrent que le type de moteur ne répond pas encore aux spécifications de certification, le constructeur doit être autorisé à soumettre aux essais autant de moteurs supplémentaires qu'il le désire. Les résultats de ces essais doivent être alors pris en considération avec les données antérieures.

3.3 S'il y a encore échec, le constructeur doit être autorisé à choisir un ou plusieurs moteurs en vue de leur modification. Les résultats des essais déjà effectués sur le ou les moteurs choisis avant modification doivent être alors examinés et de nouveaux essais doivent être effectués de sorte que l'on dispose des résultats d'au moins trois essais. La moyenne de ces résultats doit être déterminée pour chaque moteur et appelée «moyenne avant modification».

3.4 Le ou les moteurs peuvent alors être modifiés et trois essais au moins doivent être effectués sur le moteur ou les moteurs modifiés; la moyenne des résultats de ces essais doit être appelée «moyenne après modification» pour chaque moteur. Cette «moyenne après modification» doit être comparée à la «moyenne avant modification» afin de juger de l'amélioration relative qui doit être ensuite appliquée aux résultats antérieurs des essais de certification afin de déterminer s'il y a finalement conformité. Il y a lieu de noter qu'avant de pouvoir procéder à des essais d'émissions sur ces moteurs modifiés, la modification doit être conforme aux spécifications de navigabilité appropriées.

3.5 Cette procédure doit être répétée jusqu'à ce que la conformité du type de moteur ait été démontrée ou que la demande de certification ait été retirée.

APPENDICE 7 : INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURE DES ÉMISSIONS DE PARTICULES NON VOLATILES

1. INTRODUCTION

Note.— La méthode figurant dans le présent appendice concerne le prélèvement d'échantillons représentatifs des particules non volatiles (nvPM) contenues dans les gaz d'échappement de turbomachines, leur acheminement au système de prélèvement et de mesure des nvPM et leur analyse dans ce système. La méthode ne s'applique pas aux moteurs avec postcombustion.

2. DÉFINITIONS, SIGLES ET SYMBOLES

2.1. Définitions

Les expressions ci-dessous, employées dans le présent appendice, ont les significations indiquées :

Carbone élémentaire (EC). Carbone qui absorbe la lumière et qui n'est pas retiré d'un échantillon prélevé sur un filtre chauffé à 870 °C dans une atmosphère inerte durant l'analyse de transmittance thermo-optique (TOT), à l'exclusion du noir de charbon.

Carbone organique (OC). Carbone qui se volatilise dans l'hélium lorsqu'on chauffe à 870 °C un échantillon prélevé sur un filtre en fibre de quartz durant une analyse de transmittance thermo-optique (TOT). Inclut le noir de charbon formé durant la pyrolyse de certaines matières.

Concentration de gaz. Proportion en volume d'un composant dans un mélange de gaz.

Concentration en nombre de particules. Nombre de particules par unité de volume d'échantillon.

Concentration massique de particules. Masse de particules par unité de volume d'échantillon.

Diamètre aérodynamique d'une particule. Diamètre d'une sphère équivalente de densité unitaire ayant la même vitesse de sédimentation que la particule concernée, appelé aussi « diamètre aérodynamique classique».

Diamètre de mobilité électrique d'une particule. Diamètre d'une sphère qui se déplace avec exactement la même mobilité dans un champ électrique que la particule concernée.

Distribution granulométrique des particules. Une liste des valeurs ou fonction mathématique qui représente la concentration en nombre des particules en fonction de leur taille.

Flamme de diffusion comme source d'aérosols de combustion*. Appareil à combustion par flamme de diffusion qui utilise un carburant donné produisant des particules de matière volatiles.*

Fraction de pénétration. Rapport entre la concentration de particules en aval et en amont d'un élément du système de prélèvement.

Gaz d'étalonnage. Gaz de référence de haute précision utilisé pour l'étalonnage, le réglage et les vérifications périodiques des instruments.

Indice d'émissions en nombre de particules. Nombre de particules émises par unité de masse de carburant utilisée.

Indice d'émissions massique de particules. Masse des particules émises par unité de masse de carburant utilisé.

Laboratoire compétent. Laboratoire d'essai et d'étalonnage qui établit, met en œuvre et tient à jour un système qualité approprié à son domaine d'activité, en conformité avec la norme ISO/IEC 17025:2005, modifiée périodiquement, ou une norme équivalente, et pour lequel le programme d'étalonnage de l'équipement est conçu et appliqué de manière à assurer que les étalonnages et les mesures effectués par le laboratoire soient traçables au Système international d'unités (SI). L'accréditation officielle du laboratoire au titre de la norme ISO/IEC 17025:2005 n'est pas requise.

Particules non volatiles (nvPM). Particules émises présentes dans le plan de sortie de la tuyère d'échappement d'un moteur à turbine à gaz, qui ne se volatilisent pas lorsqu'elles sont chauffées à une température de 350 °C.

Parties par million (ppm). Concentration en unités de volume d'un gaz par million d'unités de volume du mélange dont le gaz considéré fait partie.

Perte de particules. Perte de particules durant le passage dans un système de prélèvement. Cette perte est due aux différents mécanismes de dépôt, dont certains sont fonction de la taille.

Pouvoir séparateur. Plus petite variation d'une mesure qui puisse être décelée.

***Précision*.** Approximation d'une mesure par rapport à la valeur réelle établie indépendamment.

Séparateur catalytique. Dispositif catalytique qui extrait par oxydation les composés volatils.

Séparateur cyclonique. Séparation par rotation ou par gravité des particules d'une taille supérieure à un diamètre aérodynamique prescrit. Le diamètre aérodynamique de coupure spécifié est lié au pourcentage de particules qui pénètrent dans le séparateur cyclonique.

Réponse. Variation du signal émis par un instrument sous l'effet d'une variation de la concentration d'un échantillon.

Reproductibilité. Précision avec laquelle la mesure d'un échantillon donné immuable peut être reproduite à de courts intervalles sans ajustement de l'instrument.

Stabilité. Précision avec laquelle des mesures répétées sur un échantillon donné stable peuvent être maintenues sur une période de temps donnée.

Système qualité. Système de gestion dans lequel le laboratoire compétent documente ses politiques, systèmes, programmes, procédures et instructions dans la mesure nécessaire pour assurer la qualité des résultats des essais ou des étalonnages.

Temps de montée. Temps nécessaire au signal de sortie pour passer de 10 % à 90 % de sa valeur finale lorsqu'un échantillon de référence est appliqué subitement au système automatique de mesure initialement à l'état de repos. (Ce terme s'applique uniquement dans le cas d'un analyseur en ligne.)

2.2. Sigles

CPC compteur de particules à condensation

EC carbone élémentaire

FS pleine échelle de l'analyseur

GL tuyauterie de gaz

HEPA filtre à particules de haute efficacité, de classe H13, qui retient au moins 99,97 % des particules de phtalate de dioctyle (0,3 µm de diamètre)

ID diamètre intérieur

ISA atmosphère type internationale (ISO 2533:1975)

LOD limite de détection

NMI Institut national de métrologie

nvPM particules non volatiles (*voir* la définition)

nvPMmi instrument mesurant la masse des particules non volatiles

nvPMni instrument mesurant le nombre de particules non volatiles

PTFE polytétrafluoroéthylène

slpm litres standard par minute (litres par minute dans les conditions STP)

STP conditions de mesure à une température de référence de 0 °C et une pression de référence de 101,325 kPa

TOT transmittance thermo-optique

VPR extracteur de particules volatiles

VRE efficacité d'extraction de particules volatiles

2.3. Symboles

[CO] concentration moyenne de CO dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide

$[CO_2]$ concentration moyenne de CO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement non dilué, en volume, à l'état humide

$[CO_2]_b$ concentration de CO_2 dans l'air sec, en volume = 0,0003

$[CO_2]_{dil}1$ concentration moyenne de CO_2 , en volume, après la première dilution, à l'état humide

$[CO_2]_{dil2}$ concentration moyenne de CO_2 , en volume, après la seconde dilution, à l'état humide

$[CO_2]_S$ concentration moyenne de CO_2 , en volume, dans l'échantillon de gaz d'échappement non dilué, à l'état humide, semi-sec ou sec

DF facteur de dilution = (concentration de l'échantillon avant dilution) / (concentration de l'échantillon après dilution)

$$\frac{\text{Volume de l'échantillon avant dilution}}{\text{Volume de l'échantillon après dilution}}$$

$$= \frac{[CO_2]}{[CO_2]_{dil1}}$$

DF_1 facteur de première dilution

DF_{1_S} facteur de première dilution calculé directement à partir des échantillons de $[CO_2]_S$ et de $[CO_2]_{dil1}$

DF_2 facteur de seconde dilution (VPR) selon l'étalonnage par un laboratoire compétent

D_m diamètre de mobilité électrique des nvPM, nm

D_{xy} , à z nm diamètre aérodynamique auquel sont détectés xy % (efficacité de détection) des particules de taille z

EI_{mass} indice d'émission massique de nvPM corrigé en fonction des pertes thermophorétiques et de la composition du carburant, en milligrammes/kg de carburant

EI_{num} indice d'émission en nombre de nvPM corrigé en fonction des pertes thermophorétiques et de la composition du carburant, en nombre/kg de carburant

F poussée pour le régime d'utilisation donné

H teneur d'hydrogène du carburant (pourcentage de la masse)

[HC] concentration moyenne des hydrocarbures gazeux dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide, exprimé en carbone

k_{fuel_M} facteur de correction en fonction de la composition du carburant pour l'indice des émissions en masse de nvPM

k_{fuel_N} facteur de correction en fonction de la composition du carburant pour l'indice des émissions en nombre de nvPM

k_{thermo} facteur de correction prenant en compte les pertes thermophorétiques dans la partie Collecte

[NO] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide

$[NO_2]$ concentration moyenne de NO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide

$[NO_x]$ concentration moyenne de NO et de NO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = $[NO]+[NO_2]$

M_C masse atomique du carbone = 12,011

M_H masse atomique de l'hydrogène = 1,008

m nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant

n nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique du carburant

$nvPM_{mass}$ concentration massique de nvPM mesurée par un instrument dans les conditions STP, corrigée pour tenir compte de la dilution et des pertes thermophorétiques dans la partie prélèvement du système d'échantillonnage, µg/m 3

$nvPM_{mass_STP}$ concentration massique de nvPM, après dilution, mesurée par un instrument dans les conditions STP, $\mu g/m^3$

$nvPM_{num_STP}$ concentration en nombre de nvPM, après dilution, mesurée par un instrument dans les conditions STP, ennombre/cm3

T_{line} température de la paroi de la tuyauterie de prélèvement

T_1 température de la paroi à l'entrée du dilueur 1, en °C

T_{EGT} température des gaz dans le plan de sortie de la tuyère d'échappement d'un moteur, mesurée ou déduite en fonction des performances, en °C

t_{90} temps de réponse à 90 % (temps écoulé entre le moment où la concentration à l'entrée est modifiée et le moment où le détecteur atteint 90 % de son signal de sortie)

α rapport atomique hydrogène/carbone du carburant = n/m, où C m H n est la représentation équivalente de l'hydrocarbure correspondant au carburant utilisé lors de l'essai et évalué par référence à l'analyse du type de carburant.

$\eta VPR(Dm)$ fraction de pénétration du VPR des particules de Dm

3. DONNÉES NÉCESSAIRES

3.1. Émissions de nvPM

3.1.1. Pour calculer les émissions de nvPM, en masse et en nombre, on doit déterminer les concentrations suivantes :

a) nvPM, en masse : $nvPM_{mass_STP}$;

b) nvPM, en nombre : $nvPM_{num_STP}$;

c) dioxyde de carbone (CO_2) : $[CO_2]$ et $[CO_2]_{dil1}$;

d) monoxyde de carbone (CO) : [CO] ;

e) hydrocarbures (HC) : [HC] ;

f) oxydes d'azote (NOx) : [NOx], [NO], $[NO_2]$.

Note.— Le Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation *contient des éléments indicatifs sur les données nécessaires.*

3.1.2. Aux fins de la vérification de l'aptitude au fonctionnement du système, la concentration de l'émission suivante doit être déterminée :

dioxyde de carbone (CO_2) : $[CO_2]_S$

3.2. Autres renseignements

Afin de normaliser les résultats des mesures des émissions et de définir les caractéristiques d'essai des moteurs, d'autres renseignements énumérés au § 3.2 de l'Appendice 3 et les données des Tableaux A7-1 et A7-2 doivent être fournis.

Tableau A7-1. Exigences concernant les nvPM dans l'air ambiant

Données requises	*Unités*
Concentration massique de nvPM dans l'air ambiant ($nvPM_{mass\ STP}$)	µg/m^3
Concentration en nombre de nvPM dans l'air ambiant ($DF_2 \times nvPM_{num\ STP}$)	particules/cm^3

Tableau A7-2. Système d'échantillonnage des nvPM et exigences de paramètres de mesure

Paramètre	*Unité*
Température à l'entrée de la sonde (T_{engine_exit}) (Équivalent à la température T_{EGT} des gaz d'échappement à la sortie du moteur prédite par un modèle de performance)	°C
Température mesurée à l'entrée du dilueur 1 (T_1)	°C
Débits (mesurés : module 3 et module 4 ; estimation pratique : module 1, module 2)	slpm
Diamètres intérieurs de la tuyauterie des modules 1 à 4	mm
Longueurs des modules 1 à 4	m
Températures de la paroi de la tuyauterie des modules 1 à 4	°C
Angle total de courbure(s) de la tuyauterie de prélèvement, module 1	degrés
Coupure à D_{50} dans le séparateur cyclonique (spécification du fabricant)	nm
Précision du séparateur cyclonique (spécification du fabricant)	fraction décimale
Quatre valeurs de pénétration dans le dilueur (voir § 7.2.5, Tableau A7-4)	fraction décimale
Quatre valeurs de pénétration pour étalonnage du VPR (voir § 9.1.1.6, Tableau A7-9)	fraction décimale
Deux efficacités de comptage pour étalonnage du CPC	fraction décimale
Facteur de première dilution, DF_1	
Facteur de seconde dilution (VPR), DF_2	
Concentration massique de particules corrigée pour DF_1 : $DF_1 \times nvPM_{mass\ STP}$	µg/m^3
Concentration en nombre de particules corrigée pour DF_1 et DF_2 : $DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num\ STP}$	Particules/cm^3

Note.— Les modules du système de prélèvement et de mesure des nvPM sont décrits dans la Figure A7-1 et le Tableau A7-3.

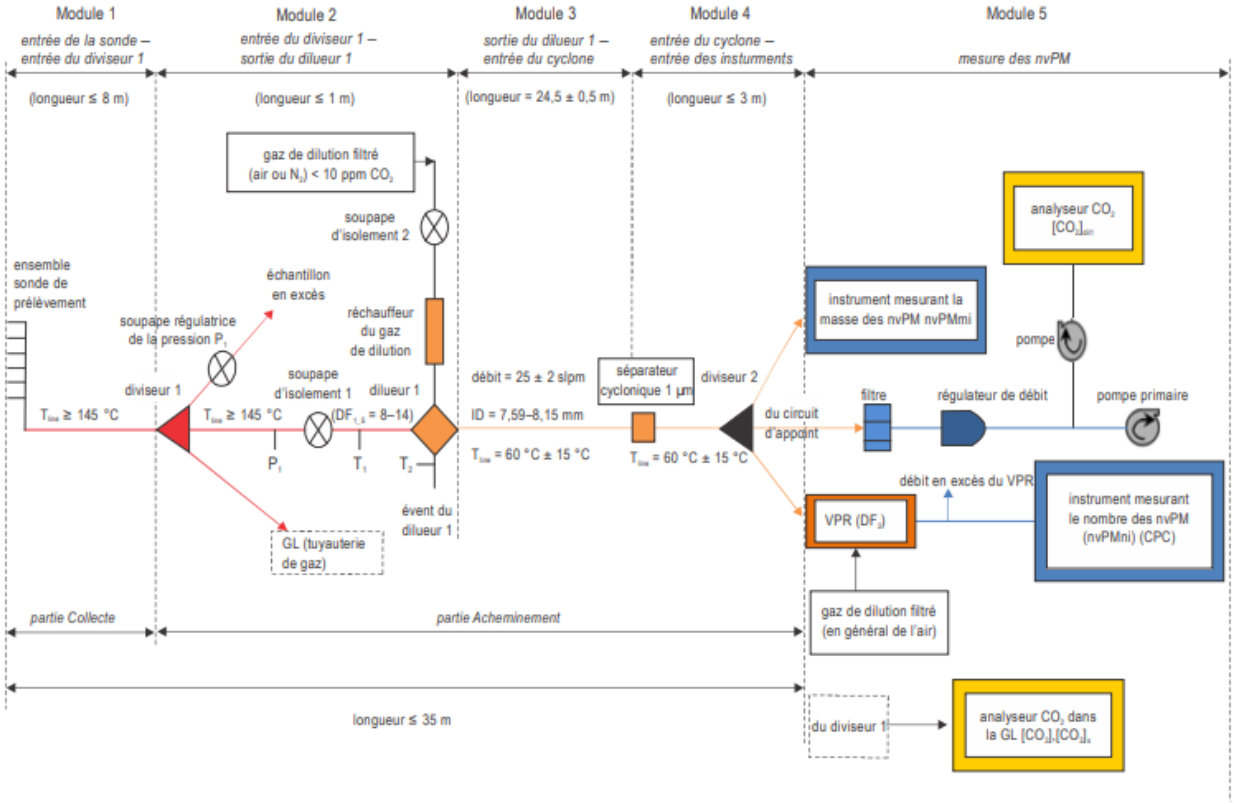

Figure A7-1. Schéma d'ensemble du système de prélèvement et de mesure des nvPM

4. DISPOSITION GÉNÉRALE DU SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT ET DE MESURE DES nvPM

4.1. Système de prélèvement et de mesure des nvPM

4.1.1. Le système de prélèvement et de mesure des nvPM doit comporter trois parties, divisées en cinq modules :

a) partie Collecte (module 1) ;

b) partie Acheminement (modules 2, 3 et 4) ;

c) partie Mesure (module 5).

Note 1.— La Figure A7-1 et le Tableau A7-3 donnent une description d'ensemble du système de prélèvement et de mesure des nvPM.

Note 2.— Les Suppléments A, B, C et E au présent appendice contiennent des prescriptions et des recommandations plus détaillées portant sur chaque module du système.

Tableau A7-3. Vue d'ensemble des termes relatifs à un système de prélèvement et de mesure des nvPM

Termes		*Description*
Module 1	Ensemble sonde de prélèvement	Élément d'une prise à point unique ou multiple utilisé pour obtenir un échantillon représentatif des gaz d'échappement d'un moteur d'aviation.
	Tuyauterie de raccordement	Tuyau acheminant l'échantillon de la sonde jusqu'à l'entrée du diviseur 1.
Module 2	Diviseur 1	Ensemble diviseur de flux qui permet de contrôler la séparation de l'échantillon entre les systèmes de prélèvement de particules et de prélèvement de gaz. Il constitue aussi un trajet d'écoulement (échantillon en excédent) servant à limiter et réguler la pression dans la tuyauterie de prélèvement.
	Soupape régulatrice de la pression P_1	Soupape utilisée pour réguler la pression à l'entrée du dilueur 1.
	P_1	Pression à l'entrée du dilueur 1, contrôlée par la soupape régulatrice de pression quand elle est supérieure à la pression ambiante.
	T_1	Température du tube de prélèvement à l'entrée du dilueur 1, nécessaire pour le calcul des pertes thermophorétiques de particules dans les modules 1 et 2.
	Soupape d'isolement 1	Permet d'isoler le circuit des particules de l'échantillon dans la GL, de voir si la GL (y compris la sonde) présente des fuites et de vérifier la propreté de la partie Acheminement.
	Soupape d'isolement 2	Soupape d'arrêt du gaz de dilution pour le dilueur 1.
	Dilueur 1	Dilueur de type éjecteur, qui crée à l'entrée du module 3 une pression presque égale à la pression ambiante. Dilue les échantillons de nvPM au début de la partie Acheminement (première dilution, DF_1) pour minimiser la coagulation des particules et réduit la température de l'échantillon pour minimiser les pertes thermophorétiques.
	Gaz de dilution filtré	Gaz comprimé (azote ou air) pour le dilueur 1.
	Réchauffeur du gaz de dilution	Réchauffe le gaz de dilution avant son entrée dans le dilueur 1.
	Évent du dilueur 1	Permet la mise à l'atmosphère de l'excédent d'échantillon dilué afin de maintenir une pression presque égale à la pression ambiante à la sortie du dilueur 1 et d'empêcher les surpressions dans la partie Acheminement.
	T_2	Température dans le circuit d'évent servant à surveiller la température à la sortie du dilueur 1.
GL		Tuyauterie de gaz. Section chauffée acheminant l'échantillon de gaz d'échappement pour la mesure des émissions gazeuses.
Module 3	Tuyauterie de prélèvement chauffée	Section de prélèvement normalisée. Permet d'effectuer des mesures à une distance sûre du moteur.
Module 4	Séparateur cyclonique 1 µm	Extrait les particules de grande taille qui ne sont pas produites par combustion et contribue à prévenir l'obstruction des instruments.

	Diviseur 2	Ensemble diviseur de flux fournissant des trajets d'écoulement de l'échantillon pour la mesure de la concentration des nvPM, en masse et en nombre, et un troisième trajet pour garantir le maintien du débit dans le module 3.
Module 5	Filtre	Filtre à particules pour prévenir les engorgements et protéger le régulateur de débit.
	Régulateur de débit	Maintient un débit constant dans le module 3 en régularisant le circuit d'appoint.
	Pompe primaire	Assure une fonction d'aspiration pour le circuit d'appoint.
	Analyseur de CO_2	Mesure le $[CO_2]_{dil1}$ dans l'échantillon dilué.
	nvPMmi	Instrument mesurant la masse des nvPM
	VPR (DF_2)	Dispositif qui extrait les composés volatils et dilue de nouveau les échantillons (seconde dilution, DF_2) avant la mesure par le nvPMni.
	Gaz de dilution filtré	Gaz de dilution (azote ou air) pour le VPR.
	nvPMni (CPC)	Instrument mesurant le nombre de nvPM, qui est en fait un compteur de particules à condensation.

4.1.2. Les modules 1 à 4 doivent répondre aux exigences suivantes :

a) La tuyauterie de prélèvement doit être aussi rectiligne que possible ;
b) La longueur totale de la tuyauterie de prélèvement, de la pointe de la sonde à l'entrée des instruments de mesure, ne doit pas excéder 35 m. Cette longueur totale n'est pas égale à la somme des longueurs maximales admissibles pour les différentes modules de prélèvement. Les prescriptions détaillées relatives à la longueur sont données à la section 7 du présent appendice et représentées sur la Figure A7-1.

4.1.3. *Réservé*

4.1.4. Les modules 2 à 4 doivent répondre aux exigences suivantes :

a) Les coudes nécessaires dans la tuyauterie de prélèvement doivent avoir un rayon supérieur à 10 fois le diamètre intérieur de la tuyauterie ;
b) Il n'y aura pas d'épaulement vers l'avant supérieur à 15 % du diamètre intérieur ;
c) Le diamètre intérieur de la tuyauterie de prélèvement ne doit pas être modifié de plus de 15 % à une interface avec le circuit du diviseur ;

d) Des différences de diamètre intérieur inférieures ou égales à 15 % ne doivent être pas considérées comme des changements.

4.1.5. Réservé

4.2. Partie Collecte

4.2.1. Le module 1 comprend les éléments de la sonde/rampe de prélèvement et la tuyauterie de raccordement. Elle doit répondre aux exigences suivantes :

a) La sonde de prélèvement doit être en acier inoxydable ou un autre matériau non réactif à haute température ;

b) Si une sonde de prélèvement comportant de multiples orifices, est utilisée :

1) tous les orifices de prélèvement doivent avoir le même diamètre et

2) la sonde de prélèvement doit être conçue de telle manière que 80% au moins de la chute de pression à travers la sonde se produise aux orifices ;

c) Le nombre de points de prélèvement ne doit pas être inférieur à 12 ;

d) La section de prélèvement doit être aussi proche du plan de sortie de la tuyère d'échappement du moteur que le permet la performance de ce dernier, mais elle ne devra en aucun cas se trouver à une distance du plan de sortie de la tuyère supérieure au rayon de cette dernière ;

e) Le postulant doit fournir à l'autorité primaire de certification, au moyen de coupes détaillées, la preuve que la conception et la position de la sonde qu'il propose fournissent un échantillon représentatif pour chaque réglage de poussée prescrit.

Note.— *Le* Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II* — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation *contient des éléments indicatifs sur les procédures pour obtenir des mesures représentatives.*

4.3. Partie Acheminement

4.3.1. À l'entrée du module 2, l'ensemble diviseur 1 doit séparer l'échantillon en le dirigeant vers la tuyauterie de la partie Acheminement, la GL pour la mesure du CO_2, du CO, des HC et des NOx non dilués et la tuyauterie d'échantillon en excès.

Note.— *Cette configuration permet aussi d'utiliser la GL pour mesurer l'indice de fumée, s'il y a lieu, comme l'indique l'Appendice 2.*

4.3.2. La tuyauterie de la partie Acheminement doit être installée de manière à ce que l'échantillon de nvPM :

a) passe à travers le dilueur 1, de type éjecteur, qui le prélève, le dilue et le refroidit ;

b) passe à travers le module 3 ;

c) passe à travers un séparateur cyclonique et le diviseur 2 dans le module 4 avant d'entrer dans la partie Mesure du module 5.

4.4. Partie Mesure

4.4.1. Mesure de la masse des nvPM

4.4.1.1. Le nvPMmi doit répondre aux prescriptions au § 8.1 du présent appendice.

4.4.1.2. Chaque marque et chaque modèle de nvPMmi doivent recevoir un certificat du fabricant ou d'un autre laboratoire d'essai et d'étalonnage compétent confirmant que la marque et le modèle du nvPMmi satisfont aux spécifications de performance énoncées dans le Tableau A7-5 du présent appendice.

4.4.2. Mesure du nombre de nvPM

4.4.2.1. Le VPR et le nvPMni (CPC) doivent satisfaire aux exigences du § 9.1 du présent appendice.

4.4.2.2. La concentration en nombre de nvPM doit être déterminée au moyen d'une installation composée d'un extracteur de particules volatiles (VPR) et d'un compteur de particules à condensation (CPC) (nvPMni) montés en série. Le VPR comprend un système de dilution (DF_2) et un dispositif d'extraction des composés volatils.

4.4.2.3. Chaque marque et chaque modèle de VPR et de CPC doivent recevoir un certificat du fabricant ou d'un autre laboratoire d'essai et d'étalonnage compétent confirmant que les appareils satisfont aux spécifications de performance énoncées au § 9.1 du présent appendice.

4.4.3. Circuit d'appoint

a) Le circuit d'appoint doit être utilisé pour maintenir un débit d'échantillon constant à travers le module et fournir une mesure de la concentration de CO2 dans l'échantillon dilué.

b) Le circuit d'appoint doit comporter une pompe, un régulateur de débit et un analyseur de CO2.

c) *Réservé .*

5. MÉTHODE GÉNÉRALE D'ESSAI

5.1. Étalonnage et maintenance

5.1.1. Tous les instruments doivent faire l'objet d'une maintenance conforme aux directives du fabricant.

5.1.2. Système de prélèvement et de mesure des nvPM

L'étalonnage et la maintenance du système de prélèvement et de mesure des nvPM doivent être effectués comme suit, au moins annuellement ou selon les recommandations du fabricant :

a) Le réservoir de collecte du séparateur cyclonique doit être vidé et nettoyé ;
b) L'injecteur du dilueur 1 doit être nettoyé ;
c) Le circuit d'appoint (régulateur) et le débit à l'entrée du nvPMmi, du nvPMni et du VPR doivent être étalonnés au moyen d'un débitmètre traçable à un NMI ;
d) *Réservé ;*
e) Les transducteurs de pression doivent être étalonnés par un transducteur de pression traçable à un NMI ;
f) *Réservé.*

5.1.3. nvPMmi

a) Chaque année, un laboratoire compétent doit étalonner le nvPMmi afin qu'il réponde aux prescriptions d'étalonnage figurant au § 8.5 du présent appendice.
b) Le nvPMmi doit satisfaire aux exigences du § 8.1 du présent appendice après des modifications matérielles ou logicielles de l'instrument touchant l'acquisition et le traitement des données.

Note.— Le Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation *contient des éléments indicatifs.*

5.1.4. VPR

a) Chaque année, un laboratoire compétent doit étalonner le VPR afin qu'il réponde aux prescriptions figurant au § 9.2.1 du présent appendice.
b) Si le VPR comporte un séparateur catalytique, l'intervalle auquel il est remplacé doit respecter les directives du fabricant.
c) Le VPR doit satisfaire aux exigences du § 9.1.1 du présent appendice après des modifications matérielles ou logicielles de l'instrument touchant l'acquisition et le traitement des données.

5.1.5. nvPMni (CPC)

a) Chaque année, un laboratoire compétent doit étalonner le nvPMni afin qu'il réponde aux prescriptions d'étalonnage figurant au § 9.2.2 du présent appendice.
b) Le fluide de travail du nvPMni doit être du n-butanol et il doit être remplacé conformément aux directives du fabricant.
c) Le nvPMni doit satisfaire aux exigences du § 9.1.3. du présent appendice après des modifications matérielles ou logicielles de l'instrument touchant l'acquisition et le traitement des données.

Note.— Le Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation *contient des éléments indicatifs.*

5.1.6. Analyseurs de gaz

a) L'étalonnage des analyseurs de CO_2, CO, HC et NOx doit être réalisé conformément aux procédures de l'Appendice 3.
b) L'impureté en CO_2 du gaz d'étalonnage du zéro pour l'analyseur de CO_2 en aval du dilueur 1 doit être inférieure à 10 ppm.

Note.— La spécification relative à l'impureté en CO_2 pour l'analyseur de CO_2 en aval du dilueur 1 diffère de la valeur donnée au § 6.2 de l'Appendice 3.

c) *Réservé*

5.2. Fonctionnement du moteur

5.2.1. Le moteur doit être placé sur un banc d'essai statique convenablement équipé pour des essais de performances de haute précision.

5.2.2. Les essais concernant les émissions de nvPM doivent être effectués aux réglages de poussée prescrits par l'autorité primaire de certification. Le moteur doit être stabilisé à chaque régime.

5.3. Vérification du rapport air/carburant

Chaque essai doit comprendre une vérification visant à assurer que le rapport air/carburant évalué à partir de la concentration globale de carbone dans l'échantillon, à l'exclusion de la fumée, concorde avec l'évaluation fondée

sur le rapport air/carburant du moteur avec une précision de ±15 % pour le régime de circulation au sol et de ralenti et de ±10 % pour les autres régimes.

Note.— Le Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification-émissions des *moteurs* d'aviation *contient des éléments indicatifs concernant l'utilisation d'une procédure équivalente.*

5.4. Utilisation du système de prélèvement et de mesure des nvPM

5.4.1. Avant une série d'essais d'un moteur, les exigences suivantes doivent être respectées :

a) L'étanchéité et la propreté de la partie Collecte doivent être vérifiées selon les procédures décrites aux § 10.1 et 10.2 du présent appendice ;

b) Une vérification du facteur de dilution du VPR (DF_2) doit être effectuée comme le décrit le § 10.3 du présent appendice.

c) Une vérification de la propreté de la partie Acheminement doit être effectuée selon les procédures décrites au § 10.3 du présent appendice.

Note.— La vérification de la propreté de la partie Acheminement servira également de contrôle opérationnel du zéro des instruments de mesure des nvPM.

5.4.2. La procédure ci-après doit être adoptée pour la mesure des gaz dans la GL et en aval du dilueur 1 :

a) Introduire le gaz d'étalonnage du zéro approprié et effectuer les réglages nécessaires des instruments ;

b) Introduire le gaz d'étalonnage approprié à une concentration nominale correspondant à 90% de la FS pour les plages à utiliser, et effectuer les réglages correspondants et les consigner.

5.4.3. Durant une série d'essais moteur, les exigences suivantes doivent être respectées :

a) Avant de procéder aux mesures de nvPM, les appareils de mesure et les tuyaux d'acheminement des échantillons doivent être réchauffés et amenés à une température stabilisée ;

b) Si un élément/section du système de prélèvement des nvPM est soit nouveau, soit a été nettoyé depuis la dernière utilisation, soit a été utilisé précédemment à d'autres fins que le prélèvement des gaz d'échappement d'un moteur, le système doit prélever les gaz d'échappement du moteur pendant au moins 30 minutes, à n'importe quel régime du moteur, avant qu'il soit procédé aux mesures des nvPM ;

Note.— L'élimination de suie bloquant l'orifice du dilueur 1 n'est pas un processus de nettoyage au sens de l'alinéa b).

c) Il doit être effectué une vérification du bon fonctionnement du nvPMmi conformément aux recommandations du fabricant ;

d) Pour les mesures des nvPM en nombre, les exigences suivantes doivent être respectées :

1) La partie chauffée du VPR est portée à 350 °C ±15 °C ;

2) Si un séparateur catalytique est utilisé dans le VPR, le gaz de dilution doit contenir au moins 10 % d'O_2 ;

3) Le fluide de travail du nvPMni est au niveau prescrit par le fabricant ;

4) Le saturateur et le condenseur du nvPMni ont atteint des températures de fonctionnement adéquates.

e) Il doit être effectué une vérification du bon fonctionnement du nvPMni conformément aux recommandations du fabricant ;

f) Au début et à la fin d'un essai moteur, il doit être procédé aux mesures de nvPM dans l'air ambiant selon les procédures décrites au § 10 du présent appendice ;

Note.— Ces mesures servent également de contrôle opérationnel de la réponse du nvPMni.

g) Le point zéro et le point d'étalonnage de l'analyseur de gaz doivent être vérifiés de nouveau à la fin de l'essai et à des intervalles d'au plus une heure durant les essais. Si l'un ou l'autre a changé de plus de ±2 % de la FS, l'essai doit être répété une fois que l'instrument aura été ramené dans la plage de ses spécifications.

5.4.3.1. *Réservé .*

5.4.4. Durant les mesures des nvPM d'un moteur, les exigences suivantes doivent être respectées :

a) Si P_1 est à une valeur subatmosphérique, la soupape régulatrice de la pression P_1 doit être fermée et, si elle est installée, la soupape d'arrêt facultative doit être fermée ;

b) La concentration de CO_2 dans la GL et celle en aval du dilueur 1, $[CO_2]_{dil1}$, doivent être mesurées continuellement et utilisées pour valider et réguler DF_1 en temps réel (DF_{1_S}) dans la plage de 8 à 14. Le facteur DF_{1_S} est défini comme suit :

$$DF_{1_S} = \frac{[CO_2]_S}{[CO_2]_{dil1}}$$

Note.— Pour le calcul de DF_{1_S}, la concentration de CO_2 n'a pas à être mesurée à l'état humide.

c) Le débit d'échantillonnage de 25 slpm ±2 slpm dans le module 3 doit être contrôlé par la somme du débit d'appoint et du débit à l'entrée du nvPMmi et du VPR ;

d) Quand le fonctionnement du moteur et les concentrations de nvPM et de $[CO_2]_{dil1}$ mesurées sont stabilisés à la poussée requise, la moyenne des données recueillies pendant au moins 30 secondes doit être calculée et consignée ;

e) Si le nvPMmi ne dispose pas d'une mesure de la pression de l'échantillon, la pression doit être mesurée en un point situé entre la sortie du diviseur 2 et l'entrée du circuit d'appoint, et cette valeur doit être consignée ;

f) Si le nvPMni ne dispose pas d'une mesure de la pression de l'échantillon, la pression doit être mesurée en un point situé entre la sortie du VPR et l'entrée du nvPMni, et cette valeur doit être consignée.

6. CALCULS

6.1. Équations relatives à la concentration massique de nvPM et aux indices d'émissions en masse et en nombre de nvPM

Cette procédure est utilisée pour calculer la concentration massique de nvPM et les indices d'émission (EI) en masse et en nombre de nvPM produites par des turbines d'aéronef brûlant du carburant hydrocarboné dans l'air. Toutes les équations utilisent la concentration massique de nvPM et la concentration en nombre de nvPM mesurées par un instrument dans les conditions STP. Si ce n'est pas le cas, l'utilisateur doit se conformer aux procédures recommandées par le fabricant de l'instrument pour ramener les concentrations obtenues à celles que donnerait un instrument dans les conditions STP.

6.1.1. Concentration massique de nvPM

La concentration massique de nvPM ($nvPM_{mass}$) représente la masse de particules par unité de volume d'un échantillon de gaz d'échappement, corrigée en fonction du facteur de première dilution (DF_1) et des pertes thermophorétiques de particules dans la partie prélèvement. Elle doit être calculée au moyen de l'équation suivante

$$nvPMmass = DF1 \times nvPMmass_STP \times kthermo$$

6.1.2. Indices d'émissions en masse et en nombre de nvPM

Les indices d'émission en masse et en nombre de nvPM (EI mass et EI num) représentent respectivement la masse (en milligrammes) et le nombre de particules dans les gaz d'échappement du moteur par masse de carburant brûlé (en kilogrammes), corrigés en fonction de leurs facteurs de dilution respectifs et des pertes thermophorétiques de particules dans la partie Collecte et de leurs facteurs de correction respectifs en fonction de la composition du carburant. Ils doivent être calculés au moyen des équations suivantes :

$$EI_{mass} = \frac{22.4 \times nvPM_{mass_STP} \times 10^{-3}}{\left([CO_2]_{dil1} + \frac{1}{DF_1}([CO] - [CO_2]_b + [HC])\right)(M_C + \alpha M_H)} \times k_{thermo} \times k_{fuel_M}$$

$$EI_{num} = \frac{22.4 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP} \times 10^{6}}{\left([CO_2]_{dil1} + \frac{1}{DF_1}([CO] - [CO_2]_b + [HC])\right)(M_C + \alpha M_H)} \times k_{thermo} \times k_{fuel_N}$$

Les concentrations [CO_2], [CO] et [HC] doivent être calculées.

Note 1.— Les méthodes de calcul des concentrations [CO_2], [CO] et [HC] figurent dans le Supplément A.

Note 2.— La constante 22,4 utilisée dans les équations de calcul de l'EI ci-dessus correspond au volume en litres d'une mole d'air dans les conditions STP, arrondie à une décimale près.

Note3.— Le Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation *contient des éléments indicatifs concernant l'utilisation d'une procédure équivalente.*

6.2. Facteurs de correction pour les émissions de nvPM

6.2.1. Correction des pertes thermophorétiques de nvPM dans la partie Acheminement

La correction des pertes thermophorétiques de nvPM dans la partie Acheminement doit être déterminée au moyen de l'équation suivante :

$$k_{thermo} = \left(\frac{T_1 + 273{,}15}{T_{EGT} + 273{,}15}\right)^{-0{,}38}$$

Si $T_{EGT} < T_1$, alors $k_{thermo} = 1$

Note.— Le Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation *contient des éléments indicatifs.*

6.2.2 Correction en fonction de la composition du carburant

La correction en fonction de la composition du carburant doit être déterminée au moyen de la formule ci-après :

$$k_{fuel_M} = \exp\left\{\left(1.08\frac{F}{F_{00}} - 1.31\right)(13.8 - H)\right\}$$
$$k_{fuel_N} = \exp\left\{\left(0.99\frac{F}{F_{00}} - 1.05\right)(13.8 - H)\right\}$$

Note.— Des éléments indicatifs figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

6.3. Paramètres de contrôle

L'EI doit être normalisé par rapport à la température à l'entrée de la chambre de combustion du moteur de référence dans les conditions ISA au niveau de la mer.

6.3.1. Définitions

Moteur de référence : Moteur dont la configuration répond sensiblement à la norme de production de ce type de moteur et dont les caractéristiques de fonctionnement et de performances sont parfaitement représentatives.

Foo Poussée nominale (voir la Partie 1, Chapitre 1, Définitions)

F_n Poussée au régime de fonctionnement n correspondant aux émissions de nvPM communiquées (kN)

W_f Débit massique de carburant du moteur de référence dans les conditions ISA au niveau de la mer (kg/s)

Wf_n Débit massique de carburant du moteur de référence dans les conditions ISA au niveau de la mer au régime d'utilisation n du CAD

T_B Température à l'entrée de la chambre de combustion

6.3.2. Les EI en masse et en nombre de nvPM doivent être obtenus pour chaque régime d'utilisation CAD à la T_B du moteur de référence. Un minimum de trois points d'essai doit être nécessaire pour définir le régime de ralenti. Pour chaque régime d'utilisation CAD, le débit de carburant correspondant dans les conditions ISA doit être obtenu. Les relations suivantes doivent être déterminées dans les conditions de référence ISA pour les EI en masse et en nombre de nvPM :

a) entre EI et T_B ;

b) entre W_f et T_B ;

c) entre F_n et T_B.

Note 1.— La Figure A7-2 a), b) et c) illustrent ces relations.

Note 2.— Les relations b) et c) peuvent être établies directement à partir des données d'essai des moteurs ou être calculées à partir d'un modèle validé de performances des moteurs.

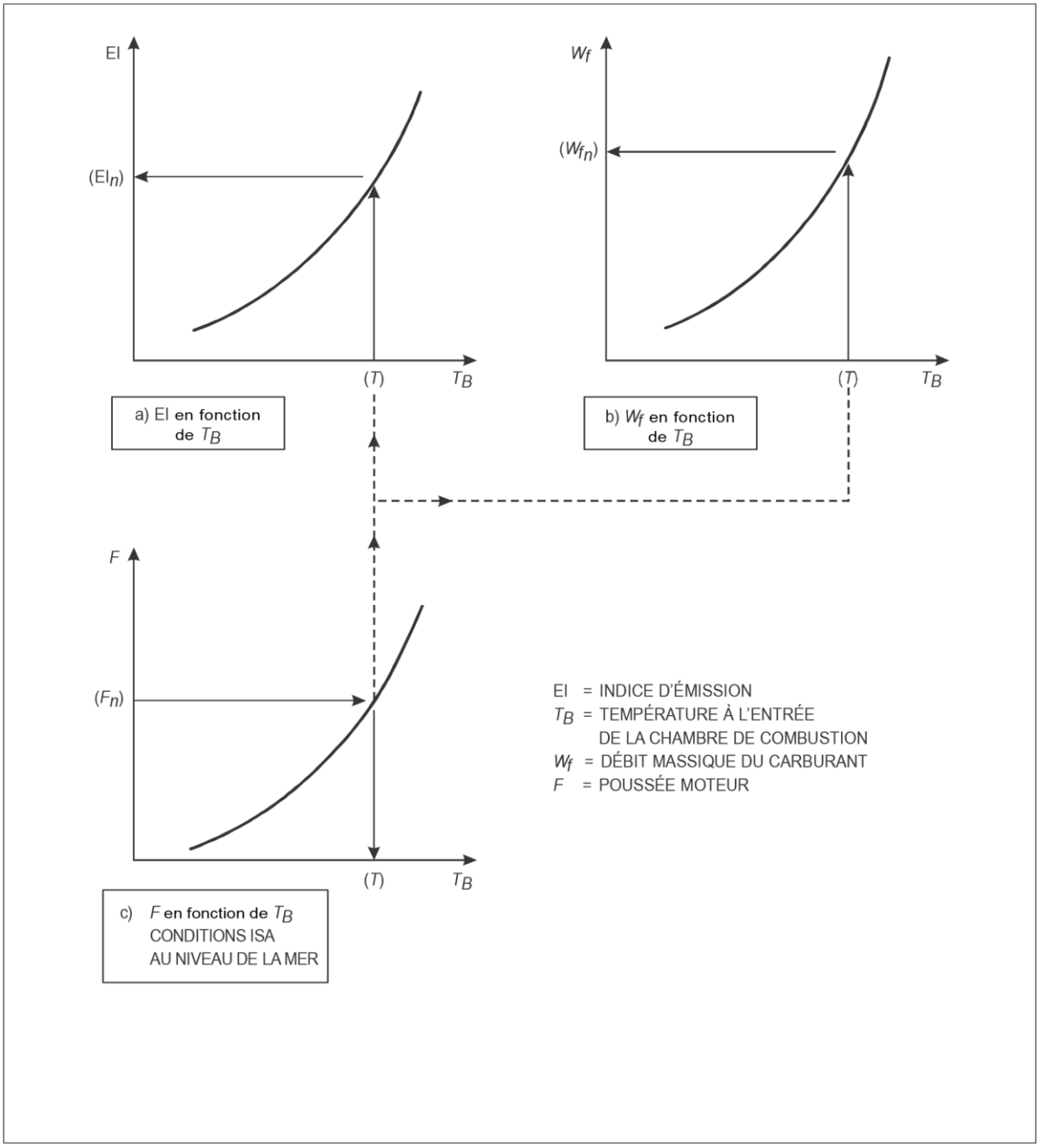

Figure A7-2. EI de nvPM des turbomachines en fonction de plusieurs paramètres moteur

6.4. Procédures de calcul

L'estimation des IE (rapportés à T_B) en masse et en nombre de nvPM aux régimes d'utilisation indiqués doit être conforme à la procédure générale suivante :

a) déterminer la température à l'entrée de la chambre de combustion (T_B) [Figure A7-2 c)] aux valeurs de F_n correspondant aux régimes d'utilisation *n* indiqués, dans les conditions atmosphériques de référence ;

b) à partir de la caractéristique EI/T_B [Figure A7-2 a)], déterminer la valeur EI_n correspondant à T_B ;

c) à partir de la caractéristique W_f/T_B [Figure A7-2 b)], déterminer la valeur W_{fn} correspondant à T_B.

d) calculer, pour $\mathrm{LTO}_{\mathrm{mass}} = \sum (\mathrm{EI}_{\mathrm{mass_n}})(Wf_n)(t)$, où :

t est le temps en régime (minutes),

Wf_n est le débit massique de carburant (kg/min), et

∑ est la somme pour l'ensemble des régimes du cycle LTO de référence

e) calculer, pour $\mathrm{LTO}_{\mathrm{num}} = \sum (\mathrm{EI}_{\mathrm{num_n}})(Wf_n)(t)$, où :

t est le temps en régime (minutes),

Wf_n est le débit massique de carburant (kg/min), et

∑ est la somme pour l'ensemble des régimes du cycle LTO de référence.

Note.— Bien que la méthode décrite ci-dessus soit la méthode requise, l'autorité primaire de certification peut accepter une méthode mathématique équivalente qui utilise des expressions mathématiques représentant les courbes illustrées si ces expressions ont été établies en utilisant une technique agréée d'ajustement de courbe.

7. EXIGENCES ET RECOMMANDATIONS CONCERNANT UN SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT DES nvPM

7.1 Module 1 : entrée de la sonde — entrée du diviseur 1

7.1.1 Le module 1 doit répondre aux exigences suivantes :

a) Les échantillons doivent être acheminés de la sonde de prélèvement au module 2 par une tuyauterie de 4,0 mm à 8,5 mm de diamètre intérieur par la voie la plus directe ;

b) La tuyauterie de prélèvement doit être maintenue à une température supérieure ou égale à 145 °C ;

c) La distance entre l'entrée de la sonde et l'entrée du diviseur 1 doit être inférieure ou égale à 8 m.

7.2 Module 2 : entrée du diviseur 1 — sortie du dilueur 1

7.2.1 Le module 2 doit répondre aux exigences suivantes :

a) Le module 2 doit comprendre le diviseur 1 et le dilueur 1 ;

b) Le matériau de la tuyauterie de prélèvement doit être de nature à réduire au minimum les dépôts de particules ou la production d'électricité statique ;

Note.— L'acier inoxydable et le PTFE avec charge de carbone et mise à la masse répondent à ces exigences.

c) La longueur du module 2, de l'entrée du diviseur 1 à la sortie du dilueur 1, ne doit pas excéder 1 m ;

d) Le module 2 doit comprendre la soupape d'isolement 1, qui permet de vérifier l'étanchéité de la GL.

7.2.2 Le diviseur 1 doit répondre aux exigences suivantes :

a) Le diviseur 1 doit être en acier inoxydable ;

b) Le corps du diviseur 1 doit être maintenu à une température supérieure ou égale à 145 °C ;

c) Le diviseur 1 doit séparer l'échantillon d'échappement du moteur en trois trajets d'écoulement ;

d) Les angles de sortie par rapport au flux d'entrée doivent être aussi aigus que possible, sans dépasser 35° ;

e) Le trajet de l'échantillon de nvPM doit être aussi rectiligne et court que possible ;

f) La géométrie interne du diviseur 1 doit répondre aux exigences suivantes :

1) aucun épaulement vers l'avant sur la paroi intérieure ;

2) aucune modification du diamètre intérieur entre la sortie du diviseur 1 et l'entrée du dilueur 1 ;

3) diamètre intérieur de GL = de 4 à 8,5 mm ;

4) superficie de la section transversale interne de la tuyauterie d'échantillon en excès supérieure ou égale à la superficie totale d'entrée des pointes de sonde.

7.2.3 La soupape d'isolement 1 doit répondre aux exigences suivantes :

a) La soupape d'isolement 1 doit être placée entre la sortie du diviseur 1 et l'entrée du dilueur 1 ;

b) La soupape d'isolement 1 doit être à passage intégral sans épaulement vers l'avant de plus de 15 % du diamètre intérieur ;

c) Les joints de la soupape d'isolement 1 doivent être secs et doivent pouvoir résister à une température de 175 °C.

7.2.4 La paroi de la tuyauterie des nvPM du module 2 (T_1), à 5 cm au maximum du plan de mélange du dilueur 1, doit être maintenue à une température supérieure ou égale à 145 °C comme le montre la Figure A7-3.

7.2.5 Le dilueur 1 doit répondre aux exigences suivantes :

a) Le dilueur 1 doit être de type éjecteur ;

b) Le diamètre intérieur de l'entrée du dilueur 1 doit être supérieur ou égal à 7,59 mm ;

c) Le débit du gaz de dilution doit être contrôlé comme le spécifie le fabricant ;

d) Le facteur de dilution en temps réel du dilueur 1 doit être maintenu dans une plage allant de 8 à 14 ;

Note 1.— Le facteur de dilution minimal est nécessaire pour réduire au minimum la coagulation des nvPM, et le maximum est nécessaire pour maintenir l'échantillon dilué dans la plage de mesure des instruments.

Note 2.— On peut ajuster le DF_1 en contrôlant la P_1 au moyen de la soupape régulatrice de pression dans le circuit d'échantillon en excès ou en ajustant le débit du gaz de dilution.

e) L'évent du dilueur 1 doit être ouvert à la pression ambiante (égale à la pression à l'entrée du moteur) ;

f) Le corps du dilueur 1 doit être chauffé à une température de 60°C ±15°C comme le montre la Figure A7-3 ;

g) Le gaz de dilution doit être de l'azote ou de l'air, à filtration HEPA et contenant moins de 10 ppm de CO_2 ;

h) Le gaz de dilution doit être chauffé de manière que la température de l'échantillon de nvPM dilués soit de 60 °C ±15 °C à l'évent du dilueur 1 (T_2) ;

i) La pénétration des particules du dilueur 1 doit répondre aux exigences minimales figurant dans le Tableau A7-4.

Tableau A7-4. Exigences minimales relatives aux fractions de pénétration des particules (degrés d'efficacité de la transmission) du dilueur 1

Taille de mobilité électrique des particules (diamètre)	15 nm	30 nm	50 nm	100 nm
Fraction minimale de pénétration des particules	80 %	90 %	90 %	90 %

7.2.5.1 Réservé
7.2.5.2 Réservé

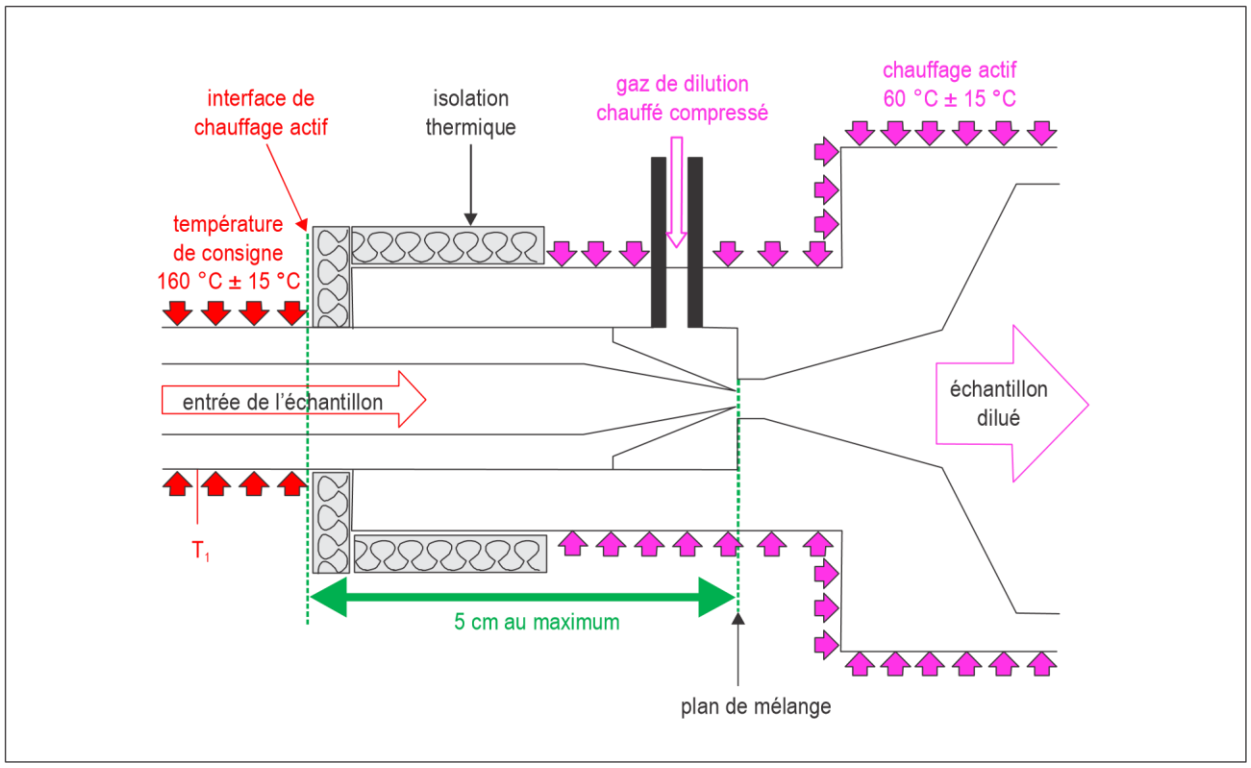

Figure A7-3. Vue en coupe de l'entrée d'un modèle de dilueur 1 de type éjecteur avec interface chauffante

7.2.6 **Tuyauterie de gaz**

7.2.6.1 La GL et les analyseurs d'émissions gazeuses doivent répondre aux spécifications de l'Appendice.

Note.— La partie Collecte (module 1) du système de prélèvement et de mesure des nvPM répond aux spécifications de l'Appendice 3.

7.2.6.2 Pour déterminer l'IE des nvPM, les concentrations gazeuses de CO, HC et NOx dans la GL doivent être mesurées simultanément.

Note.— Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs.

7.2.6.3 Pour déterminer le DF_{1_S}, la mesure de la concentration de CO_2 (sec, semi-sec ou humide) dans la GL doit être effectuée en même temps que les mesures des nvPM.

7.2.7 Tuyauterie d'échantillon en excès

7.2.7.1 pression dans la tuyauterie de prélèvement à l'entrée du dilueur 1 (P1) doit être maintenue à une valeur proche de la pression de l'air ambiant local au moyen d'une soupape régulatrice de pression appropriée ayant une surface interne suffisante. La soupape, lorsqu'elle est complètement fermée, doit être capable de maintenir une pression vacuométrique de –75 kPa par rapport à la pression ambiante.

7.2.7.2 Réservé

7.3 Module 3 : sortie du dilueur 1 — entrée du séparateur cyclonique

7.3.1 La tuyauterie de prélèvement doit répondre aux exigences suivantes :

a) La tuyauterie de prélèvement doit être en PTFE avec charge de carbone et mise à la masse ;

b) *Réservé ;*

c) La tuyauterie de prélèvement aura un diamètre intérieur entre 7,59 et 8,15 mm ;

Note.— Compte tenu des tolérances de fabrication, les diamètres intérieurs spécifiés correspondent à des diamètres extérieurs des tuyaux offerts sur le marché de 3/8 et de 7/16 de pouce, les deux présentant une paroi d'une épaisseur de 0,035 pouce, et de 10 mm présentant une paroi d'une épaisseur de 1 mm.

d) La tuyauterie doit être d'une longueur de 24,5 m ±0,5 m, sans raccord inutile, et doit comporter trois segments au maximum ;

e) Les rayons de corbure de la tuyauterie doivent être supérieurs à 0,5 m ;

f) La température de la tuyauterie de prélèvement doit être maintenue à à 60 °C ±15 °C à l'aide d'un dispositif de chauffage actif ;

g) Le flux d'échantillon doit être maintenu à 25 slpm ±2 slpm.

7.4 Module 4 : entrée du séparateur cyclonique — entrée des instruments

7.4.1 Séparateur cyclonique

Le séparateur cyclonique doit répondre aux exigences suivantes :

a) Le séparateur cyclonique doit être en acier inoxydable ;

b) Le séparateur cyclonique doit être chauffé à 60 °C ±15 °C ;

c) Le diamètre intérieur de l'entrée et de la sortie du séparateur cyclonique doit présenter une différence de moins de 15 % par rapport au diamètre intérieur de la tuyauterie à l'entrée et à la sortie ;

d) Les performances du séparateur cyclonique à un débit d'échantillon de 25 slpm doivent être les suivantes :

1) point de coupure : D50 = 1,0 µm ±0,1 µm ;

2) précision : (D16/D84)0,5 inférieure ou égale à 1,25 ;

3) chute de pression : ΔP inférieure ou égale à 2 kPa.

7.4.2 Diviseur 2

Le diviseur 2 doit répondre aux exigences suivantes :

a) Le corps du diviseur 2 doit être en acier inoxydable ;

b) Le diviseur 2 doit être chauffé à 60 °C ±15 °C ;

c) Le diviseur 2 doit séparer l'échantillon en trois trajets d'écoulement pour amener l'échantillon de nvPM dilué :

1) au nvPMmi ;

2) au VPR ;

3) au circuit d'appoint ;

d) Les angles de division par rapport au flux d'entrée doivent être aussi aigus que possible sans dépasser 35° ;

e) Tous les trajets des échantillons de nvPM doivent être aussi courts que possible ;

f) La géométrie interne du diviseur 2 doit répondre aux exigences suivantes :

1) aucun épaulement vers l'avant dans la paroi intérieure ;

2) aucune modification du diamètre intérieur de la sortie du diviseur 2 à l'entrée du nvPMmi ;

3) aucune modification du diamètre intérieur de la sortie du diviseur 2 à l'entrée du VPR.

7.4.3 Interface du système de mesure

Les tuyauteries de prélèvement du nvPMmi et du VPR doivent répondre aux exigences suivantes :

a) Les tuyauteries doivent être en acier inoxydable ou en PTFE avec charge de carbone et mise à la masse ;

b) *Réservé ;*

c) La tuyauterie de prélèvement doit être chauffée à 60 °C ±15 °C ;

d) Il n'y aura pas de modification du diamètre intérieur entre la tuyauterie de prélèvement et les entrées des instruments.

e) La longueur totale de la tuyauterie reliant l'entrée du séparateur cyclonique à l'entrée du nvPMmi et à l'entrée du VPR doit être aussi courte que possible et ne doit pas excéder 3 m.

7.5 Module 5 : mesure des nvPM

7.5.1 Circuit d'appoint

7.5.1.1 Les éléments qui composent le circuit d'appoint doivent répondre aux exigences suivantes :

a) La pompe primaire et le régulateur de débit doivent maintenir à travers le module 3 un débit d'échantillon total constant (somme du débit d'appoint et des débits du nvPMmi et du VPR) de 25 slpm ±2 slpm, jusqu'à une pression de 10 kPa sous la pression ambiante ;

b) L'analyseur de CO_2 doit mesurer en continu la concentration de CO_2 en aval du dilueur 1 $[CO_2]_{dil1}$ durant la mesure des nvPM.

Note 1.— Selon la configuration de prélèvement, il peut y avoir plusieurs régulateurs de débit et plusieurs pompes.

Note 2.— Le Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation *contient des éléments indicatifs.*

7.5.1.1.1 *Réservé.*

7.5.1.2 Si aucune mesure de la pression de l'échantillon n'est disponible pour le nvPMmi, la pression doit être mesurée à la sortie du diviseur 2 vers le circuit d'appoint.

7.5.1.3 L'analyseur de CO_2 doit répondre aux exigences suivantes :

a) l'analyseur de CO_2 doit être placé après un régulateur de débit ;

b) l'analyseur de CO_2 doit satisfaire aux spécifications de performances figurant dans les sections *Analyseur de CO_2* et *Analyseurs de CO et de CO_2* du § 5.3 de l'appendice 3, à l'exception des spécifications de l'alinéa a).

7.5.1.3.1 *Réservé.*

8. SPÉCIFICATION RELATIVE À L'INSTRUMENT DE MESURE DE LA MASSE DES NVPM ET À L'ÉTALONNAGE

Note 1.— Dans la présente section de l'Appendice 7, la masse du carbone élémentaire (EC) est utilisée comme substitut de la masse des nvPM. Le Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation *contient des éléments indicatifs.*

Note 2.— Le § 8.2 du présent appendice contient une description détaillée de la méthode de mesure de référence, la transmittance thermo-optique (TOT). Les laboratoires d'étalonnage utilisent couramment cette méthode, mais on ne s'attend pas à ce que les fabricants de moteurs d'aviation l'utilisent.

Note 3.— La présente section de l'Appendice 7 fait référence à la norme ISO 9169:2006 — Qualité de l'air — Définition et détermination des caractéristiques de performance d'un système automatique de mesure.

8.1. SPÉCIFICATIONS

Chaque marque et chaque modèle de nvPMmi doivent recevoir un certificat du fabricant ou d'un autre laboratoire d'essai et d'étalonnage compétent, confirmant que :

a) la plage de mesure doit être de 0 µg/m^3 à 1000 µg/m^3 ou plus grande ;

b) le pouvoir séparateur doit être de 1 µg/m^3 ou meilleur ;

c) l'appareil doit être insensible aux particules volatiles ;

Note 1.— Les particules volatiles sont des particules qui se trouvent dans les gaz d'échappement issus d'une combustion et se volatilisent à des températures inférieures ou égales à 350 °C.

Note 2.— Cette spécification est satisfaite quand le nvPMmi répond à la spécification de performance figurant dans le Tableau A7-5 relative à la vérification.

d) l'instrument satisfait aux spécifications de performance énumérées dans le Tableau A7-5.

Note 1.— Les références figurant dans le Tableau A7-5 renvoient à la norme ISO 9169, mais celles qui sont repérées par un astérisque renvoient aux spécifications de performance pour lesquelles des modifications ont été appliquées comme le décrit le § 8.4 du présent appendice.

Note 2.— Les spécifications de performance traduisent les limites des quantités qui peuvent être vérifiées en utilisant la transmittance thermo-optique (TOT) comme méthode de mesure de référence. La méthode TOT est décrite au § 8.2 du présent appendice.

Note 3.— Seule la spécification de performance relative à la précision figurant dans *le Tableau A7-5 est nécessaire et appliquée dans la procédure d'étalonnage annuel décrite au § 8.5 du présent appendice.*

Tableau A7-5. Spécifications de performance pour les instruments mesurant la masse des nvPM (nvPMmi)

Spécification de performance	*Valeur (inférieure ou égale à)*	*Méthode de détermination*
Reproductibilité	10 µg/m^3	ISO* 6.4.5.3, décrite au § 8.4
Dérive du zéro	10 µg/m^3/h	ISO 6.6 (pour le CO seulement), décrite au § 8.4
Linéarité	15 µg/m^3	ISO* 6.4.5.4, décrite au § 8.4
Limite de détection (LOD)	1 µg/m^3	ISO* 6.4.5.5, décrite au § 8.4
Temps de montée	2 secondes	ISO 6.3, décrite au § 8.4
Intervalle d'échantillonnage	1 seconde	ISO 2.1.7, décrite au § 8.4

Précision	±10 %	Pente de régression linéaire entre la concentration massique déterminée par le nvPMmi et la concentration massique du carbone élémentaire décrite au § 8.4
Vérification	±16 %	Vérification de l'instrument et de la source d'étalonnage sur l'échappement d'un moteur à turbine d'aviation (décrite au § 8.3).

8.2. MÉTHODE DE TRANSMITTANCE THERMO-OPTIQUE (TOT)

La transmittance thermo-optique (TOT) doit être la méthode de mesure de référence utilisée pour démontrer la conformité aux spécifications de performance de chaque marque et modèle de nvPMmi et pour étalonner l'instrument. Elle permet de déterminer la quantité d'EC et d'OC dans les échantillons de nvPM.

8.2.1 Généralités

8.2.1.1 L'analyseur TOT doit être soit un instrument de laboratoire [avec détecteur à ionisation de flamme (FID)], soit un instrument fonctionnant en semi-continu [avec détecteur non dispersif à absorption dans l'infrarouge (NDIR)].

8.2.1.2 La méthode TOT doit utiliser le profil de température spécifié dans le Tableau A7-6.

Note.— Le Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation *contient des éléments indicatifs sur la méthode TOT.*

8.2.2 Réactifs et fournitures

8.2.2.1 Les réactifs suivants doivent être utilisés :

a) solutions aqueuses de saccharose de qualité réactif (99 % ou plus), dilué avec de l'eau (H_2O) ultrapure de type I, ou un équivalent, pour produire une solution de 0,1 à 3 mg C par millilitre ;

b) He — pureté 5,0 (supérieure à 99,999 %) ;

c) H_2 — pureté 4,5 (supérieure à 99,995 %) ;

d) air zéro (contenant moins de 0,2 ppm d'hydrocarbures) ;

e) mélange certifié : 10 % d'O_2 dans He ;

f) mélange certifié : 5 % de CH_4 dans He.

8.2.2.2 Le matériel suivant doit être utilisé :

a) pour l'instrument de laboratoire : un poinçon métallique équipé d'un outil pour retirer du filtre une partie rectangulaire de 1,0 cm^2 ou 1,5 cm^2 ;

b) pour l'instrument fonctionnant en semi-continu : un poinçon métallique équipé d'un outil pour retirer deux filtres circulaires de 2,0 cm^2 ;

c) filtres en fibre de quartz Pall Tissuquartz™, ou l'équivalent ;

d) seringue de 10 microlitres.

8.2.2.3 Préparation des filtres

Selon l'instrument utilisé, les filtres doivent être préparés comme suit :

a) pour l'échantillonnage et l'analyse manuels, tous les filtres en fibre de quartz doivent être préchauffés avant l'échantillonnage dans un four à moufle à une température égale ou supérieure à 550 °C pendant 12 heures, ou à une température égale ou supérieure à 800 °C pendant une heure ou deux, et rangés dans un contenant hermétique ; ou

b) pour une analyse en semi-continu, le conditionnement des filtres doit être réalisé par l'exécution d'au moins uncycle complet de mesure comme le décrit le Tableau A7-6.

Tableau A7-6. Profil de température requis pour le cycle d'analyse de la méthode TOT

Gaz porteur	*Température (°C)*	*Temps à cette température (secondes)*
100 % He	310	80
	475	80
	615	80
	870	110
	550	45
10 % O_2 dans He	550	45
	625	45
	700	45
	775	45
	850	45
	870	60
	930	120
5 % CH_4 dans He	0	120

8.2.3 Préparation des échantillons

8.2.3.1 Le filtre d'échantillons doit être placé sur une feuille d'aluminium propre.

Note.— On peut nettoyer la surface de la feuille avec de l'alcool isopropylique ou de l'acétone. Dans ce cas, il faut laisser le solvant résiduel s'évaporer avant de se servir de la surface. On peut aussi nettoyer la feuille en la chauffant dans un four à moufle avant de s'en servir.

8.2.3.2 Une partie représentative du filtre doit être découpée au poinçon. La manipulation des filtres doit se faire selon de bonnes pratiques de laboratoire.

8.2.4 Étalonnage et contrôle qualité

8.2.4.1 Le capteur de température commandant la température du four doit être étalonné au moyen d'un étalon de transfert traçable au cours de l'année précédant toute analyse TOT.

8.2.4.2 Si un instrument de laboratoire est utilisé, la réponse du FID doit être étalonnée. L'étalonnage doit se faire selon la procédure suivante :

a) préparer un étalon externe constitué d'une solution de saccharose dans de l'eau exempte de matière organique ;
b) disperser 10 microlitres de la solution sur des parties découpées au poinçon dans un filtre en quartz neuf et propre, préalablement passé au four ;
c) analyser au moins trois échantillons « méthode à blanc » et trois échantillons de solution de saccharose pour vérifier que l'étalonnage de l'instrument présente un pourcentage de récupération de 95 à 105 % de la masse théorique de C (µgC mesuré/µgC dispersé).

8.2.4.3 Si un instrument fonctionnant en semi-continu est utilisé, la réponse du NDIR doit être étalonnée. L'étalonnage doit se faire selon la procédure suivante :

a) préparer un étalon externe constitué d'une solution de saccharose dans de l'eau exempte de matière organique ;
b) disperser 10 microlitres de la solution sur des parties découpées au poinçon dans un filtre « *boat* » préconditionné distinct, inséré dans la partie inférieure d'un semi-tube de quartz ;
c) analyser au moins trois échantillons « méthode à blanc » et trois échantillons de solution de saccharose pour vérifier que l'étalonnage de l'instrument présente un pourcentage de récupération de 95 à 105 % de la masse théorique de C (µgC mesuré/µgC dispersé).

8.2.4.4 Si les analyses utilisant un filtre demandent plus d'une journée, il doit être procédé chaque jour à une seule vérification de contrôle qualité, utilisant généralement la solution de saccharose en réserve, qui doit être dispersée sur le filtre et analysée. Les résultats doivent se situer entre 95 et 105 % de la masse théorique de C.

Note.— Pour l'essai à blanc, un filtre de quartz préalablement chauffé est utilisé sans addition de saccharose mais il est procédé de la même manière.

8.2.5 Mesure

La mesure doit être obtenue en procédant comme suit :

a) Utiliser l'analyseur TOT selon les recommandations du fabricant ;

b) Placer une portion d'échantillon dans le four ;

c) Déterminer la masse de EC et de OC en µg ;

Note.— Il est rendu compte des résultats de l'analyseur TOT en µg/cm^2 de C.

d) Les résultats finaux pour les échantillons doivent être toujours corrigés sur la base d'essais à blanc :

1) Pour l'instrument de laboratoire, l'essai à blanc consiste à traiter des filtres en fibre de quartz préalablement chauffés de la même manière que les échantillons, sauf qu'aucun air ne passe à travers le filtre. Une charge en masse de EC par unité de superficie supérieure ou égale à 0,3 µg/cm^2 dans les échantillons blancs représente une souillure ;

2) Pour l'analyseur semi-continu, une mesure du réseau interne de filtres doit être effectuée sans faire passer aucun gaz échantillon à travers les filtres ;

e) Les résultats finaux de l'échantillonnage doivent être toujours corrigés pour les artefacts OC en phase gazeuse. Pour cette correction, les conditions de fonctionnement (durée et débit) doivent être identiques à celles utilisées pour le prélèvement des échantillons. En fonction de l'instrument utilisé, la procédure doit être la suivante :

1) Pour les analyses de laboratoire, une configuration de prélèvement consistant en un filtre en Teflon suivi d'un filtre secondaire en quartz préalablement chauffé, ou d'un filtre en quartz préalablement chauffé suivi d'un filtre secondaire en quartz préalablement chauffé, doit être employée avec le filtre secondaire analysé comme prescrit dans le Tableau A7-6. Tout OC trouvé sur les filtres secondaires doit être soustrait de l'OC trouvé sur les filtres de prélèvement ;

2) Pour les analyses semi-continues, un filtre en Teflon doit être inséré dans la configuration d'échantillonnage avant l'analyseur. Tout OC trouvé pendant cette mesure doit être soustrait de l'OC trouvé pendant la mesure sur échantillon.

8.2.6 Calculs

Pour l'instrument de laboratoire :

a) multiplier le résultat communiqué du chargement en EC (µg/cm^2) par la surface de dépôt du filtre (cm^2) pour calculer la masse totale d'EC (µg) sur chaque échantillon de filtre (W_{EC}) ;
b) faire le même calcul qu'à l'alinéa a) pour les essais à blanc et calculer la masse trouvée dans l'essai à blanc moyen (W_b) ;
c) calculer la concentration massique en EC (C_{EC}) dans le volume d'air échantillonné aux conditions STP, V (en m^3) :

$$C_{EC} = \frac{W_{EC} - W_b}{V} \quad (\mu g/m^3)$$

Note 1.— L'instrument semi-continu donne la concentration massique en EC comme résultat communiqué.

Note 2.— Des éléments indicatifs sur le principe de la méthode TOT figurent dans le Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

8.3. PROCÉDURE POUR DÉMONTRER LA CONFORMITÉ AUX SPÉCIFICATIONS DE PERFORMANCE

Note.— La procédure décrite dans cette section est utilisée pour démontrer la conformité aux spécifications de performance de chaque marque et modèle du nvPMmi.

Les spécifications relatives à la performance figurant dans le Tableau A7-5 doivent être démontrées par la méthode TOT de la manière décrite au § 8.2 du présent appendice. Les mesures doivent être effectuées en utilisant les deux sources suivantes : une flamme de diffusion comme source d'aérosols de combustion et l'échappement d'un moteur à turbine à gaz comme source de nvPM.

8.3.1 Flamme de diffusion comme source d'aérosols de combustion

Note.— Des éléments indicatifs sur une flamme de diffusion servant de source d'aérosols de combustion figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

8.3.1.1 Flamme de diffusion comme source d'aérosols de combustion

Pour la démonstration de conformité et l'étalonnage annuel du nvPMmi, la flamme de diffusion servant de source d'aérosols de combustion doit être définie par le modèle de l'appareil employé pour produire la flamme, le carburant utilisé et les réglages de fonctionnement.

8.3.1.2 On devrait :

a) procéder avec soin lorsqu'on choisit et utilise différentes flammes de diffusion comme sources d'aérosols de combustion, étant donné que le facteur d'étalonnage du nvPMmi (rapport entre la réponse de l'instrument et la référence TOT) peut varier entre les sources ;

b) utiliser une seule flamme de diffusion comme source d'aérosols de combustion pour démontrer la conformité du nvPMmi aux spécifications de performance du Tableau A7-5 concernant la reproductibilité, la dérive du zéro, la linéarité, le temps de montée et la précision.

8.3.1.3 Flammes de diffusion utilisées comme sources d'aérosols de combustion pour l'étalonnage du nvPMmi Chaque flamme de diffusion utilisée comme source d'aérosols de combustion pour l'étalonnage d'un nvPMmi doit permettre de démontrer la conformité aux spécifications de performance du Tableau A7-5 relative à la vérification en appliquant les dispositions des § 8.3.2 et 8.3.3.

8.3.2 Mesure utilisant une flamme de diffusion comme source d'aérosols de combustion

8.3.2.1 Le système de mesure doit comprendre :

a) une flamme de diffusion comme source d'aérosols de combustion ;

b) un système de dilution utilisant un diluant filtré par HEPA pour contrôler les concentrations cibles en masse d'EC ;

c) un séparateur cyclonique avec point d'arrêt de 1 µm en amont de l'instrumentation TOT et du nvPMmi ;

d) un ensemble répartiteur répondant aux spécifications du § 7.4.2, alinéas d) et f), du présent appendice ;

Note.— Une procédure équivalente figure dans le Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation*.*

e) une tuyauterie d'acier inoxydable ou anti-statique pour relier l'échantillonneur manuel à filtre de quartz, ou un analyseur EC/OC semi-continu, et le nvPMmi. Toute la tuyauterie doit être du même matériau, de la même longueur et à la même température, du point de dispersion jusqu'aux orifices de l'instrument;

f) *Réservé.*

8.3.2.2 En fonction de l'instrument utilisé pour la mesure TOT, les spécifications suivantes doivent être respectées :

a) si un échantillonnage manuel et un analyseur de laboratoire sont utilisés, on doit utiliser un filtre de quartz préalablement chauffé dans un porte-filtre en acier inoxydable ayant une section d'entrée en pointe avec un demi-angle ≤ 12,5°, fonctionnant à une vitesse d'entrée dans le filtre inférieure ou égale à 0,5 m/s aux conditions de fonctionnement réelles. Le diamètre du dépôt sur le filtre doit être suffisamment grand pour permettre que soit prélevée au poinçon au moins une partie de chaque filtre. Au moins une partie prélevée au poinçon sur chaque échantillon recueilli dans un filtre de quartz doit être analysée ; ou

b) si un analyseur TOT semi-continu est utilisé, il doit fonctionner à une vitesse à la face du filtre inférieure ou égale à 0,5 m/s.

8.3.2.3 Des mesures doivent être faites à des niveaux étagés de la concentration massique cible en EC spécifiés dans le Tableau A7-7. Les concentrations massiques en EC réalisées ne doivent pas s'écarter de plus de 20% des concentrations massiques cibles spécifiées.

8.3.2.4 À chaque niveau de concentration, des échantillons doivent être prélevés pendant une durée semblable pour établir un chargement reproductible du filtre EC. Le chargement du filtre EC doit être de 12 ±5 µg/cm^2.

8.3.2.5 La durée d'établissement de la moyenne définie dans la norme ISO 9169 doit être la même que la durée de collecte sur le filtre.

Tableau A7-7. Paramètres de chargement massique de EC pour la vérification de la conformité du nvPMmi et de la flamme de diffusion servant de source d'aérosols de combustion.

Concentration cible (µg/m^3)	*Certificat de l'instrument (Nombre d'essais)*	*Étalonnage au moyen d'une nouvelle flamme de diffusion comme source d'aérosols de combustion (Nombre d'essais)*
0 (essai à blanc)	6	3
50	6	0
100	6	3
250	0	3
500	6	3

8.3.2.6 La teneur en EC moyenne déterminée par la méthode TOT doit être supérieure ou égale à 80 % du carbone total.

8.3.2.7 Les concentrations massiques de EC obtenues par la méthode TOT et les concentrations massiques du nvPMmi doivent être utilisées pour déterminer les paramètres spécifiés au § 8.4 du présent appendice qui démontrent la conformité aux spécifications de performance du Tableau A7-5 relatives à la reproductibilité et à la linéarité.

8.3.2.8 Le nvPMmi est étalonné en effectuant le nombre d'essais indiqué au Tableau A7-7 et en appliquant la procédure spécifiée au § 8.5.5 du présent appendice. La pente résultante de la régression linéaire entre la concentration massique du nvPMmi et la concentration massique en EC obtenue par la méthode TOT doit être utilisée pour déterminer la conformité aux spécifications de performance du Tableau A7-5 relative à la précision.

8.3.3 Mesure utilisant la sortie d'un moteur d'aviation comme source de nvPM

8.3.3.1 Cette mesure est utilisée pour démontrer la conformité du nvPMmi à la spécification de performance du Tableau A7-5 relative à la vérification, afin de vérifier la combinaison de l'instrument et de la flamme de diffusion servant de source d'aérosols de combustion pour l'étalonnage du nvPMmi. Les § 8.3.2.4 et 8.3.2.5 doivent être répétés pour la sortie d'un moteur à turbine à gaz utilisé comme source de nvPM utilisant la mesure spécifiée aux 8.3.2.1 c), d), e) et 8.3.2.2, avec un système de dilution utilisant un diluant filtré par HEPA.

8.3.3.2 Une dilution suffisante devrait être utilisée pour empêcher la condensation d'eau dans la tuyauterie de prélèvement.

8.3.3.3 On doit obtenir un minimum de quatre points de données pour un minimum de trois niveaux de poussée différents, avec des mesures en double faites seulement à un des niveaux de poussée en utilisant le système d'échantillonnage de nvPM spécifié ci-dessus. Les mesures doivent être effectuées à un minimum de trois concentrations cibles, chacune séparée de la suivante d'un facteur 1,5 au minimum ; une concentration au moins doit être supérieure à 120 µg/m^3 et une concentration au moins doit être inférieure à 120 µg/m^3. Le chargement du filtre en EC pour ces quatre points de données doit être compris entre 2,5 µg/cm^2 et 17 µg/cm^2.

8.3.3.4 Les concentrations massiques en EC obtenues par la méthode TOT et les concentrations massiques du nvPMmi doivent être utilisées pour démontrer la conformité à la spécification de performance du Tableau A7-5 relative à la vérification.

8.3.3.5 Le carburant pour l'essai moteur doit être un des carburants pour moteurs d'aviation à turbine mentionnés dans le *Manuel sur la fourniture de carburants pour réacteurs en aviation civile* (Doc 9977), Chapitre 3, § 3.2. Le même carburant doit être utilisé pour les quatre points de données minimaux.

8.4. CALCUL DE PERFORMANCE DES INSTRUMENTS

8.4.1 Les paramètres de performance du nvPMmi que sont la dérive du zéro, le temps de montée et le taux d'échantillonnage doivent être déterminés comme spécifié dans la norme ISO 9169, § 6.6, 6.3 et 2.1.7 respectivement.

8.4.2 Le paramètre de reproductibilité du nvPMmi à un intervalle de confiance de 95 % doit être déterminé en utilisant 6 mesures consécutives à chaque niveau de concentration, comme :

où

$$s_{r_i}^2 = s_{Y_i}^2 - \Delta^2 \cdot s_{C_i}^2$$

$$s_{Y_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n}\left(Y_{i,j} - \overline{Y}_i\right)^2}{(n-1)}$$

s_{Ci} écart type sur j du $C_{i,j}$ pour le niveau i

$Y_{i,j}$ résultat de la mesure par l'instrument du matériau de référence $C_{i,j}$

$C_{i,j}$ j[e] occurrence de concentration du matériau de référence au niveau i

Yi moyenne sur j de $Y_{i,j}$

n nombre de mesures consécutives à chaque niveau de concentration (6 au minimum)

Δ pente de la fonction de régression appliquée dans le test d'inadéquation, déterminée à partir des équations suivantes :

$$E_{i,j} = Y_{i,j} - \left(\Gamma + \Delta \times C_{i,j}\right)$$

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} E_{i,j}}{n}$$

où

$E_{i,j}$ est la différence entre $C_{i,j}$, et $Y_{i,j}$;

E_i est la moyenne sur j des $E_{i,j}$;

Γ est le point d'interception de la fonction de régression appliquée dans le test d'inadéquation.

8.4.3 *Si la reproductibilité ainsi déterminée est négative, il devrait être indiqué qu'elle est « nettement meilleure que* $\Delta\, S_{Ci}^2$*».*

Note.— Si la reproductibilité ainsi déterminée est négative, ce qui indique que la variance des mesures ne peut être distinguée de la variabilité du matériau de référence, le test peut être répété en portant plus d'attention à la stabilité de la source du matériau de référence (réglages du débit et de la pression de la flamme de diffusion servant de source d'aérosols de combustion) et à la précision de la détermination du niveau du matériau de référence (chargements et procédures de la méthode TOT).

8.4.4 La linéarité du nvPMmi doit être déterminée comme spécifié dans la norme ISO 9169, § 6.4.5.4, la quantité résiduelle étant déterminée par l'équation suivante :

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} E_{i,j}}{n}$$

8.4.5 La LOD du nvPMmi doit être déterminée comme spécifié dans la norme ISO 9169, § 6.4.5.5. Si l'instrument ne fait pas de mesure lorsqu'il n'y a pas de particules dans l'échantillon, une plus haute concentration massique de nvPM, C_{LOD}, juste supérieure à zéro, doit être utilisée de manière que l'instrument produise des lectures régulières. La LOD dans ce cas doit être déterminée comme :

$$Y_{LOD,0,95} = \overline{Y}_{LOD} - C_{LOD} + 2 \times t_{v,0,95} \times s_{LOD}$$

où

$Y_{LOD,0,95}$ est la limite de détection à un intervalle de confiance de 95 % ;

Y est la moyenne des valeurs $Y_{LOD,j}$;

C_{LOD} est la moyenne des valeurs $C_{LOD,j}$;

$t_{v,0,95}$ est le facteur de Student bilatéral à 95 % de confiance, degré v = n-1 ;

s_{LOD} est l'écart type associé à la moyenne Y_{LOD}.

Note.— Le matériau de référence pourrait n'être pas le même dans des mesures consécutives effectuées pendant l'établissement de la moyenne. Ainsi, chaque détermination de la valeur du matériau de référence peut être différente, même si elle est bien connue telle que déterminée par la méthode TOT. Les définitions de la norme ISO 9169 sont modifiées pour tenir compte de cette variabilité.

8.5 ÉTALONNAGE

8.5.1 Le nvPMmi doit être étalonné chaque année en utilisant une flamme de diffusion vérifiée comme source d'aérosols de combustion conforme aux spécifications du § 8.3.1.3, la méthode TOT spécifiée au § 8.2 et un agencement du système spécifié aux § 8.3.2.1 et 8.3.2.2 du présent appendice.

8.5.2 Des mesures doivent être faites à des niveaux étagés de la concentration massique cible en EC spécifiée dans le Tableau A7-8. Les concentrations massiques en EC réalisées doivent se situer dans une plage de ±20 % des concentrations massiques spécifiées.

Tableau A7-8. Paramètres de chargement massique de EC pour les échantillons d'étalonnage

Concentration cible (µg/m3)	Étalonnage annuel (nombre d'essais)
0 (essai à blanc)	3
50	0

100	3
250	3
500	3

8.5.2.1 *Trois* (*3) points à 50 µg/m3 devraient être testés pour l'étalonnage annuel.*

8.5.3 À chaque niveau de concentration, les échantillons doivent être prélevés pendant une durée semblable pour établir un chargement du filtre en EC reproductible. Le chargement du filtre en EC doit être de 12 ±5 µg/cm^2.

8.5.4 La durée d'établissement de la moyenne définie dans la norme ISO 9169 doit être la même que la durée de prélèvement sur le filtre.

8.5.5 Les concentrations massiques en EC obtenues par la méthode TOT et les concentrations massiques du nvPMmi doivent être utilisées pour établir le meilleur ajustement pour les points de données provenant de l'étalonnage des instruments. Une méthode linéaire des moindres carrés doit être utilisée pour déterminer le facteur d'échelle b pour l'ajustement des concentrations massiques de nvPM indiquées par le nvPMmi, comme suit :

$$b = \frac{\sum \frac{y_i}{x_i}}{n}$$

où

x_i est la i^e mesure de nvPMmi ;

y_i est la i^e concentration massique d'EC obtenue par la méthode TOT ;

b est la pente de la droite la mieux ajustée.

Note 1.— Une fois que le facteur d'échelle b est appliqué au nvPMi, la pente des lectures d'instrument ajustées en fonction des résultats de la méthode TOT pour la teneur en EC est mathématiquement égale à 1,0, et l'exigence du Tableau A7-5 concernant la pente doit être respectée par définition.

Note 2.— À cause des incertitudes à prévoir dans la reproductibilité des teneurs en EC obtenues par la méthode TOT, une répétition du processus ci-dessus par le même laboratoire ou par un laboratoire différent peut produire une pente différente sans aucun changement dans la réaction de l'instrument. Les spécifications de performance du Tableau A7-5 relatives à la précision sont destinées à tenir compte d'une telle variabilité.

Note 3.— Avant chaque étalonnage annuel, la performance de chaque instrument de détermination de la masse devraient être « en l'état » à une concentration massique en EC de 100 µg/m^3 pour le nombre d'essais indiqués

dans le Tableau A7-8. Cette évaluation permettra la traçabilité par rapport aux évaluations antérieures de l'instrument et elle permettra la comparaison de constantes d'étalonnage existantes et nouvelles.

9. SPÉCIFICATIONS ET ÉTALONNAGE POUR L'EXTRACTEUR DE PARTICULES VOLATILES ET L'INSTRUMENT DONNANT LE NOMBRE DE nvPM

9.1 SPÉCIFICATIONS

9.1.1 Spécifications du VPR

9.1.1.1 Chaque marque et chaque modèle d'extracteur de particules volatiles (VPR) doivent recevoir un certificat du fabricant de l'instrument ou d'un autre laboratoire d'essais et d'étalonnage compétent, confirmant qu'ils répondent aux spécifications de performance énoncées ci-dessous.

9.1.1.2 Le facteur de dilution (DF_2) du VPR doit répondre aux exigences suivantes :

a) DF_2 doit être ajusté pour maintenir la concentration en nombre de particules dans le mode de comptage unique du compteur de particules à condensation (CPC) et pour réduire la température de l'échantillon à une plage comprise entre 10 °C et 35 °C à l'entrée dans le CPC ;

b) La variabilité de DF_2 doit être inférieure à 10 %.

9.1.1.3 La section chauffée qui fait s'évaporer les substances volatiles doit être maintenue à une température de 350 °C ±15 °C.

9.1.1.4 Si le VPR comprend des niveaux chauffés multiples, les contrôles de température supplémentaires doivent être à ±15 °C des températures opérationnelles spécifiées par son fabricant.

9.1.1.5 Le contrôle de pression de l'échantillon doit répondre aux exigences suivantes :

a) Un dispositif de contrôle de pression doit permettre d'envoyer au CPC un échantillon dilué dans une plage de ±15 kPa de la pression ambiante (sortie du CPC) ;

b) La pression ne doit pas dépasser 105 kPa.

9.1.1.6 Les fractions de pénétration de particules du VPR minimales admises pour chaque réglage de la dilution doivent répondre aux spécifications figurant dans le Tableau A7-9.

Tableau A7-9. Fractions de pénétration du VPR minimales admises à quatre diamètres des particules

Diamètre de mobilité électrique des particules, D_m	15 nm	30 nm	50 nm	100 nm
Fraction de pénétration minimale , $\eta_{VPR}(D_m)$	0,30	0,55	0,65	0,70

9.1.1.7 L'efficacité d'extraction de particules volatiles du VPR (VRE) doit être telle que plus de 99,5 % des particules de tétracontane [$CH_3(CH_2)_{38}CH_3$, d'une pureté supérieure à 95 %] avec une concentration à l'entrée d'au moins 10 000 particules/cm^3 à un diamètre de mobilité électrique de 30 nm sont extraits. Cette VRE doit être démontrée lorsque le VPR est utilisé à son réglage de dilution minimum et à la température de fonctionnement recommandée par le fabricant.

9.1.1.8 Si un décapant catalytique est utilisé dans le VPR, le diluant doit contenir au moins 10 % de O_2.

9.1.2 Interface VPR — CPC

Le tuyau reliant la sortie du VPR à l'entrée du CPC doit répondre aux exigences suivantes :

a) Le matériau doit être électriquement conducteur ;
b) Le tuyau aura un diamètre interne supérieur ou égal à 4 mm ;
c) L'échantillon aura une durée de séjour dans le tuyau inférieure ou égale à 0,8 seconde.

9.1.3 Spécifications du CPC

9.1.3.1 Chaque marque et chaque modèle du CPC doivent recevoir un certificat du fabricant de l'instrument ou d'un autre laboratoire d'essais et d'étalonnage compétent, confirmant qu'ils répondent aux spécifications de performance énoncées ci-après.

9.1.3.2 Une fonction de correction de la coïncidence jusqu'à un maximum de 10 % doit être permise. Cette fonction ne doit utiliser aucun algorithme pour corriger ou définir l'efficacité du comptage.

9.1.3.3 Le comptage des particules doit répondre aux exigences suivantes :

a) Le mode de comptage doit être un mode de comptage unique. L'utilisation du CPC dans le mode photométrique n'est pas autorisée. Ainsi, pour assurer un mode de comptage unique, DF_2 doit être augmenté comme il doit être nécessaire ;
b) La précision de comptage doit être de ±10 % de 2 000 particules/cm^3 jusqu'au seuil supérieur du mode de comptage par particule, sur la base d'une norme identifiable (ISO 27891) ;
c) L'efficacité du comptage doit être supérieure ou égale à 50 % à un diamètre de mobilité électrique de 10 nm et supérieure ou égale à 90 % à un diamètre de mobilité électrique de 15 nm ;

d) L'efficacité du comptage doit être établie en utilisant un aérosol d'huile d'Emery.

9.1.3.4 Le taux d'acquisition de données doit être supérieur ou égal à 1,0 Hz pour un intervalle minimum de 30 secondes une fois le moteur stabilisé.

9.1.3.5 La concentration en nombre de particules doit être communiquée en particules/cm^3 aux conditions STP. Si la valeur communiquée n'est pas aux conditions STP, la pression absolue à l'entrée du CPC doit être mesurée avec une précision supérieure à 2 %, de sorte que la concentration en nombre pourra être corrigée pour répondre aux conditions STP, selon les directives du fabricant.

9.1.3.6 La résolution doit être meilleure que 0,1 particule/cm^3 aux concentrations inférieures à 100 particules/cm^3.

9.1.3.7 Le temps de montée doit être inférieur à 4 secondes.

9.1.3.8 Le flux d'échantillon doit être à plein débit. Aucune séparation interne du flux n'est autorisée.

9.1.3.9 Le fluide de travail doit être le n-butanol.

9.1.3.10 La réponse doit être linéaire.

9.1.4 Exigence du système

Le t_{90} depuis l'entrée du VPR à travers tout le CPC doit être inférieur ou égal à 10 secondes.

9.2. ÉTALONNAGE

9.2.1 VPR

Note.— Avant chaque étalonnage, le VPR devrait être validé « en l'état » à un seul réglage de DF_2 , typique de celui qui est utilisé pour les mesures sur les turboréacteurs d'aéronefs. Cette validation devrait inclure le facteur de dilution du VPR au réglage DF_2 choisi, la détermination des fractions de pénétration et la VFR.

9.2.1.1 L'étalonnage du DF_2 doit répondre aux exigences suivantes :

a) Le DF_2 doit être étalonné à chaque réglage de dilution du VPR, comme défini par le fabricant du VPR.

b) *Réservé*

9.2.1.2 L'étalonnage des fractions de pénétration de particules dans le VPR doit répondre aux exigences suivantes:

a) Les fractions de pénétration de particules dans le VPR doivent être mesurées à 350 °C avec des particules solides de 15 nm, 30 nm, 50 nm et 100 nm de diamètre de mobilité électrique pour chaque réglage de dilution du VPR. Un minimum de 5000 particules/cm^3 pour les quatre tailles de particules doit être fourni au VPR. Si de la suie est utilisée pour obtenir les particules, un dispositif de prétraitement thermique chauffé à 350 °C pourra être nécessaire pour fournir seulement des nvPM au VPR ;

b) Les concentrations en particules doivent être mesurées en amont et en aval du VPR avec un CPC ayant une efficacité de comptage supérieure ou égale à 90% à 15 nm ;

c) Les fractions de pénétration dans le VPR doivent être déterminées comme suit :

$$\eta_{VPR}(D_m) = \frac{DF_2 \times N_{out}(D_m)}{N_{in}(D_m)}$$

où

$N_{in}(D_m)$ est la concentration en nombre de particules en amont pour les particules de D_m ;

$N_{out}(D_m)$ est la concentration en nombre de particules en aval pour les particules de D_m ;

d) $N_{in}(D_m)$ et $N_{out}(D_m)$ doivent être rapportés aux mêmes conditions de T et de P.

e) Réservé

9.2.1.3 VRE du VPR

a) La VRE doit être déterminée avec un CPC ayant une efficacité de comptage supérieure ou égale à 90 % à 30 nm, comme suit :

$$VRE\,(D_{30}) = 100 \times \left[1 - \frac{DF_2 \times N_{out}(D_{30})}{N_{in}(D_{30})}\right]$$

où

$VRE(D_{30})$ est la VRE pour des particules de D_{30} ;

$N_{in}(D_{30})$ est la concentration en nombre de particules en amont pour des particules de D_{30} ;

Nout(D30) est la concentration en nombre de particules en aval pour des particules de D_{30} ;

D_{30} représente les particules d'un diamètre de mobilité électrique de 30 nm.

b) $N_{in}(D_{30})$ et $N_{out}(D_{30})$ doivent être rapportés aux mêmes conditions de T et de P.

9.2.2 Étalonnage du CPC

9.2.2.1 L'étalonnage du CPC doit être conforme à une méthode d'étalonnage standard (ISO 27891) : par comparaison de la réponse du CPC sous étalonnage avec celle d'un électromètre d'aérosols étalonné, lorsque des particules d'étalonnage classées électrostatiquement sont étalonnées simultanément.

9.2.2.2 *Réservé*

9.2.2.3 L'étalonnage et la validation doivent être effectués selon les procédures décrites ci-dessous :

a) L'efficacité de détection du CPC doit être étalonnée avec des particules d'un diamètre de mobilité électrique de 10 et de 15 nm. Le CPC aura une efficacité de comptage supérieure ou égale à 50 % à 10 nm et supérieure ou égale à 90 % à 15 nm ;

b) L'aérosol d'étalonnage doit être l'huile d'Emery.

10. PROCÉDURES POUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME

10.1. CONTRÔLE DES FUITES DANS LA PARTIE COLLECTE ET LA CONDUITE DE GAZ

10.1.1 Procédure de contrôle des fuites

Avant une série d'essais moteurs, il doit être procédé à la détection de fuites sur la partie Collecte et la GL selon la procédure suivante :

a) Isoler la tuyauterie de gaz de la partie Mesure des nvPM en utilisant la soupape d'isolement 1, la soupape de contrôle de pression P_1 et, si installée, la soupape de fermeture optionnelle ;

b) Isoler la sonde et les analyseurs ;

c) Relier et faire fonctionner une pompe à vide pour vérifier le débit de fuite ;

d) La pompe à vide aura une tenue au vide en l'absence de débit de –75 kPa par rapport à la pression atmosphérique ; son plein débit ne doit pas être inférieur à 26 L/min à température et pression standard.

10.1.2 Exigence de contrôle des fuites

Le débit de fuite doit être inférieur à 0,4 slpm.

10.2. CONTRÔLE DE LA PROPRETÉ DANS LA PARTIE COLLECTE ET LA CONDUITE DE GAZ

Ce contrôle n'est effectué que si la méthode de calcul de l'indice d'émissions gazeuses totales des nvPM est utilisée.

10.2.1 Procédure de contrôle de la propreté

La propreté de la partie Collecte et de la tuyauterie de gaz doit être contrôlée selon la procédure suivante :

a) Isoler la tuyauterie de gaz de la partie Mesure des nvPM en utilisant la soupape d'isolement 1 et la soupape de contrôle de pression P_1 ;

b) Isoler la tuyauterie de gaz de la sonde et relier l'extrémité de la tuyauterie d'échantillonnage à une source de gaz zéro ;

c) Chauffer le système jusqu'à la température de fonctionnement nécessaire pour effectuer les mesures de HC ;

d) Faire fonctionner la pompe de prélèvement d'échantillons et régler le débit sur celui qui est utilisé pendant les tests d'émission du moteur ;

e) Enregistrer les lectures de l'analyseur de HC.

10.2.2 Exigence de contrôle de la propreté

10.2.2.1 La lecture des HC ne doit pas dépasser la plus grande des deux valeurs, soit 1 % du niveau d'émission à vide du moteur, soit 1 ppm (les deux exprimés en carbone).

Note.— La présence de niveaux importants de composés provenant d'autres sources dans l'air ambiant à l'entrée du moteur pourrait influer sur les niveaux des composés de l'échappement du moteur. En pareil cas, il peut être justifié de contrôler ces composés et de tenir compte de la qualité de l'air ambiant dans les niveaux d'émissions communiqués.

10.2.2.2 *Si une procédure tenant compte de la qualité de l'air ambiant dans les niveaux d'émissions communiqués est justifiée, cette procédure devrait être utilisée, sous réserve de l'approbation du service de certification.*

10.3. CONTRÔLE DE LA PROPRETÉ/DES FUITES DANS LA PARTIE ACHEMINEMENT

Note 1.— Les contrôles de la propreté peuvent échouer du fait d'éléments souillés dans la partie Acheminement ou de fuites dans la partie Acheminement, ou la partie Mesure, ou les deux.

Note 2.— Une fuite dans le système aura pour résultat que des particules se trouvant dans l'air ambiant y doivent être aspirées.

10.3.1 Procédure de contrôle de la propreté/des fuites

10.3.1.1 Avant une série d'essais moteur, il doit être procédé à un contrôle de la propreté et des fuites dans la partie Acheminement selon la procédure suivante :

a) Faire couler le diluant filtré à travers le dilueur 1 avec la soupape d'isolement 1 fermée ;

b) Les débits dans chaque trajet du diviseur 2 doivent être égaux à ceux qui sont utilisés pendant les essais moteur ;

c) Régler le DF_2 au réglage le plus bas du VPR.

10.3.1.2 Lorsque la masse de nvPM mesurée et les concentrations en nombre sont stables, enregistrer les données pendant 30 secondes au minimum.

Note.— Le schéma de flux de la procédure de contrôle de propreté de la partie Acheminement est présenté sur la Figure A7-4.

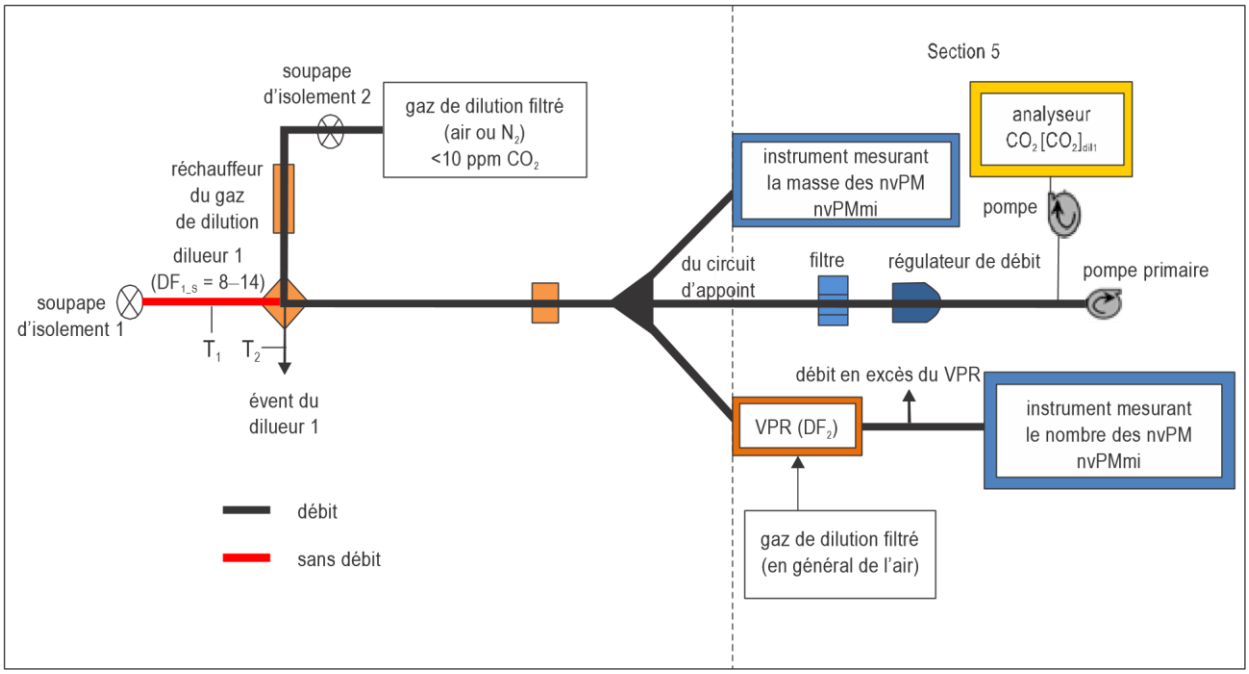

Figure A7-4. Schéma de flux pour le contrôle de propreté de la partie Acheminement

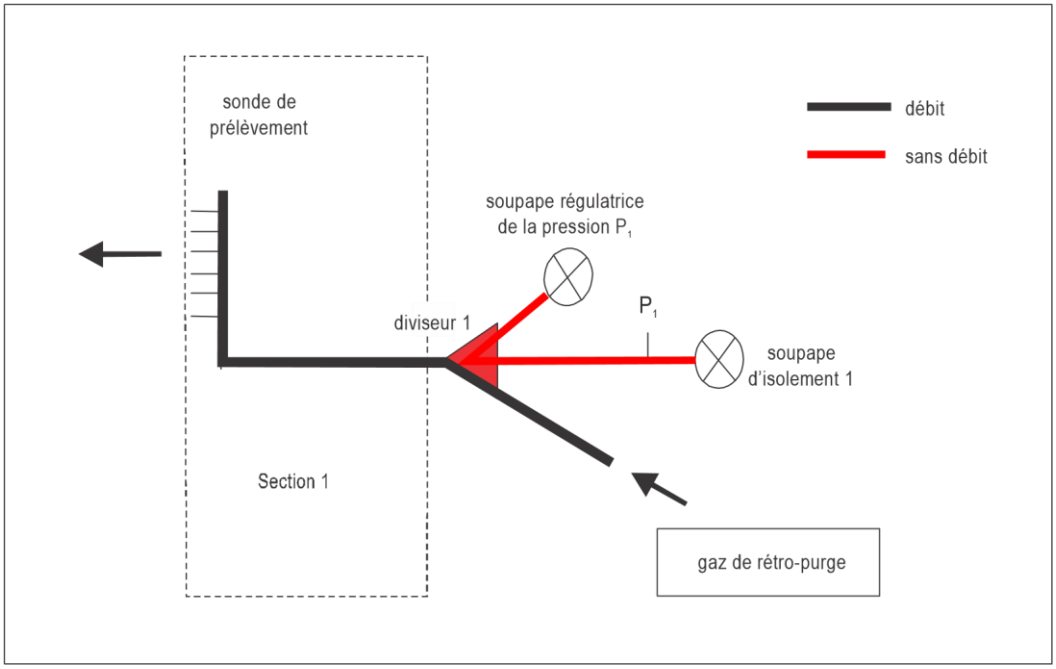

Figure A7-5. Schéma de flux pour la rétro-purge du module 1

10.3.2 Exigence de vérification de propreté/fuites

10.3.2.1 La moyenne sur 30 secondes de la concentration massique de nvPM ($nvPM_{mass_STP}$) doit être inférieure à 1 µg/m3.

10.3.2.2 La moyenne sur 30 secondes de la concentration en nombre de nvPM ($nvPM_{num_STP}$) doit être inférieure à 2,0 particules/cm^3.

Note.— Si le contrôle de la propreté échoue, le système devrait d'abord être inspecté pour les fuites. Si l'on ne détecte pas de fuites, le réservoir de prélèvement du séparateur cyclonique devrait être inspecté et nettoyé. Si le contrôle de la propreté échoue encore, il peut être nécessaire de nettoyer ou de remplacer des segments du système de prélèvement.

10.4. RÉTRO-PURGE DANS LA PARTIE COLLECTE

Pour maintenir les sondes et les tuyauteries de prélèvement du module 1 exemptes de carburant non brûlé, une rétro-purge du module 1 devrait être effectuée pendant le démarrage et l'arrêt du moteur, comme le montre la Figure A7-5.

10.5. MESURE DE nvPM DANS L'AIR AMBIANT

10.5.1 Généralités

10.5.1.1 Les concentrations ambiantes en masse et en nombre de nvPM représentatives de l'admission d'air à l'entrée du moteur doivent être obtenues avant et après un essai moteur et doivent être communiquées comme la moyenne de ces deux mesures.

Note 1.— Dans le cas d'une cellule d'essai en site fermé, la présence d'autres sources de nvPM peut être à l'origine de niveaux élevés de nvPM dans la cellule avant le démarrage du moteur. En pareil cas, obtenir des mesures représentatives des nvPM dans l'air ambiant peut nécessiter de renouveler l'air ambiant de la cellule.

Note 2.— Des éléments indicatifs figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

10.5.2 Procédure de prélèvement de nvPM dans l'air ambiant

Les concentrations en masse et en nombre de nvPM dans l'air ambiant représentatives de l'air d'admission à l'entrée du moteur doivent être prélevées par une des deux méthodes suivantes :

10.5.2.1 Méthode 1 — Prélèvement à travers la fente du dilueur 1

Le système de prélèvement et de mesure des nvPM doit être utilisé pour le prélèvement à travers l'évent du dilueur 1.

Lors du prélèvement à travers l'évent du dilueur 1, il doit être procédé comme suit :

a) Arrêter l'apport de fluide de dilution au dilueur 1 en fermant la soupape d'isolement 2 et s'assurer que la soupape d'isolement 1 est fermée ;
b) *Réservé ;*
c) S'assurer que les débits dans chaque trajet d'écoulement du séparateur 2 sont égaux aux débits à utiliser pendant les essais moteur ;
d) Lorsque les concentrations en masse et en nombre de nvPM mesurées sont stables, enregistrer les données pendant trois minutes au minimum.

Note.— Le schéma de flux de la procédure de mesure de nvPM dans l'air ambiant est présenté sur la Figure A7-6.

Cette configuration doit être utilisée seulement si l'emplacement de l'échappement est représentatif de l'entrée d'air dans le moteur.

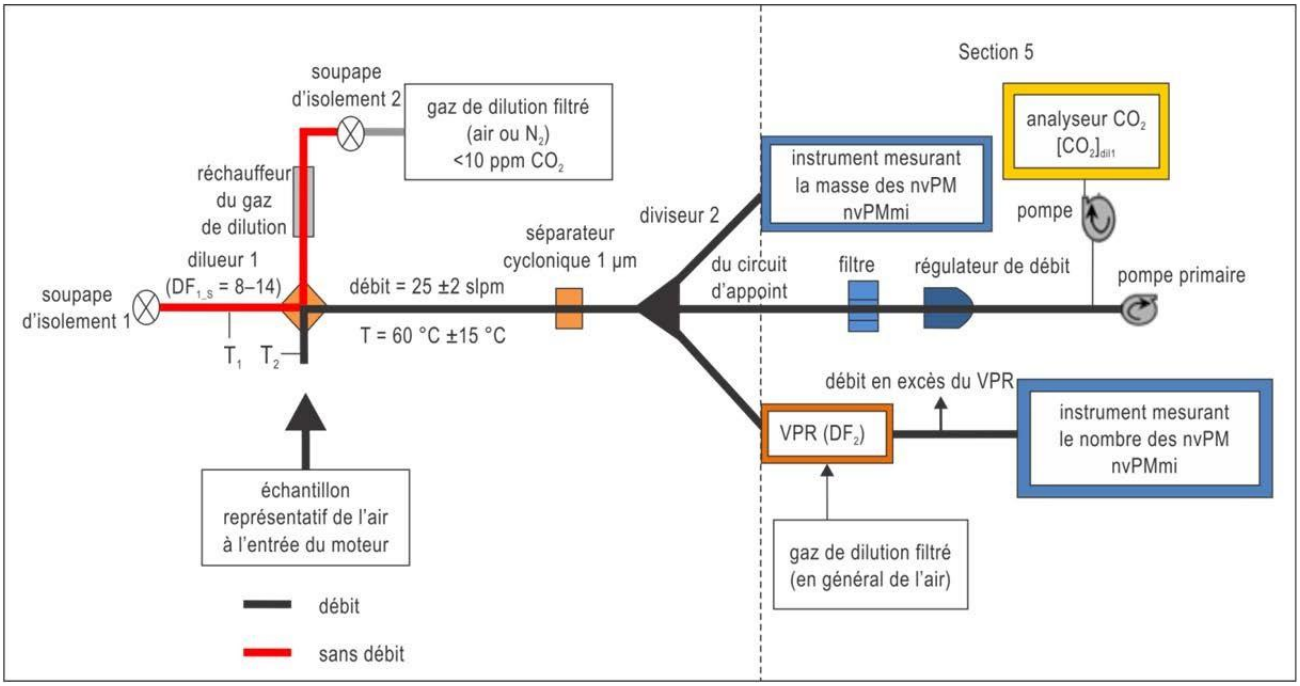

Figure A7-6. Schéma de flux pour la mesure des particules dans l'air ambiant

10.5.2.2 Méthode 2 — Système supplémentaire de mesure des nvPM

10.5.2.2.1 Un système supplémentaire de prélèvement et de mesure des nvPM dans l'air ambiant doit répondre aux exigences suivantes :

a) Le système de prélèvement de nvPM dans l'air ambiant doit être conforme aux spécifications du système de prélèvement des modules 3 et 4 énoncées au § 7.3 du présent appendice ;
b) Le nvPMmi, le VPR et le nvPMni doivent être conformes aux indications des § 8 et 9 du présent appendice ;
c) L'entrée dans le système de prélèvement de nvPM dans l'air ambiant doit être située dans une plage de 50 m de l'entrée d'air du moteur.

10.5.2.2.2 Lors du prélèvement avec un système supplémentaire de prélèvement et de mesure des nvPM, il doit être procédé comme suit :

a) S'assurer que les débits dans chaque trajet du séparateur 2 sont égaux aux débits à utiliser pendant les essais moteur ;
b) Lorsque les concentrations mesurées de nvPM, en masse et en nombre, sont stables, enregistrer les données pendant trois minutes au minimum.

10.5.3 Exigence de mesure des particules dans l'air ambiant

10.5.3.1 Il doit être rendu compte de la moyenne sur trois minutes de la concentration massique de nvPM ($nvPM_{mass_STP}$) et de la concentration en nombre de nvPM corrigées pour DF_2 ($DF_2 \times nvPM_{num_STP}$).

Note.— Le niveau de concentration massique de nvPM dans l'air ambiant peut être inférieur à la limite de détection (LOD) du nvPMmi.

10.5.3.2. Réservé

Note.— La présence de niveaux importants de composés provenant d'autres sources dans l'air ambiant à l'entrée du moteur pourrait influer sur les niveaux des composés de l'échappement du moteur. En pareil cas, il peut être justifié de contrôler ces composés et de tenir compte de la qualité de l'air ambiant dans les niveaux d'émissions communiqués.

10.5.3.2.1 *Si une procédure tenant compte de la qualité de l'air ambiant dans les niveaux d'émissions communiqués est justifiée, cette procédure devrait être utilisée, sous réserve de l'approbation du service de certification.*

10.6. CONTRÔLE DE L'ÉTALONNAGE DES FACTEURS DE DILUTION DU VPR

10.6.1 Les facteurs de dilution du VPR (DF_2), attendus pendant l'essai moteur, doivent être vérifiés en utilisant la configuration suivante :

a) un analyseur de gaz CO_2 conforme au § 5.3 de l'appendice 3 ;

b) un gaz CO_2 à haute concentration certifié d'une pureté de 2,0 (supérieure à 99,0 %) CO_2 ou un mélange de gaz CO2 et d'azote ou d'air zéro, en tant que diluants acceptables ;

Note.— Des éléments indicatifs figurent dans le Manuel technique environnemental *(Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

c) relier l'analyseur de gaz CO_2 à la sortie du VPR avec un raccord en T pour éviter une surpressurisation de l'échantillon de CO_2 ;

d) relier le gaz à haute concentration de CO_2 à l'entrée du VPR en utilisant un raccord en T et un régulateur de débit pour assurer une pression à l'entrée du VPR semblable à celle de l'essai moteur;

e) permettre que l'échantillon à l'entrée du VPR ait le même débit et la même pression que ceux utilisés pendant un essai moteur.

Note.— Le schéma de flux pour le contrôle du facteur de dilution du CPR est représenté à la Figure A7-7.

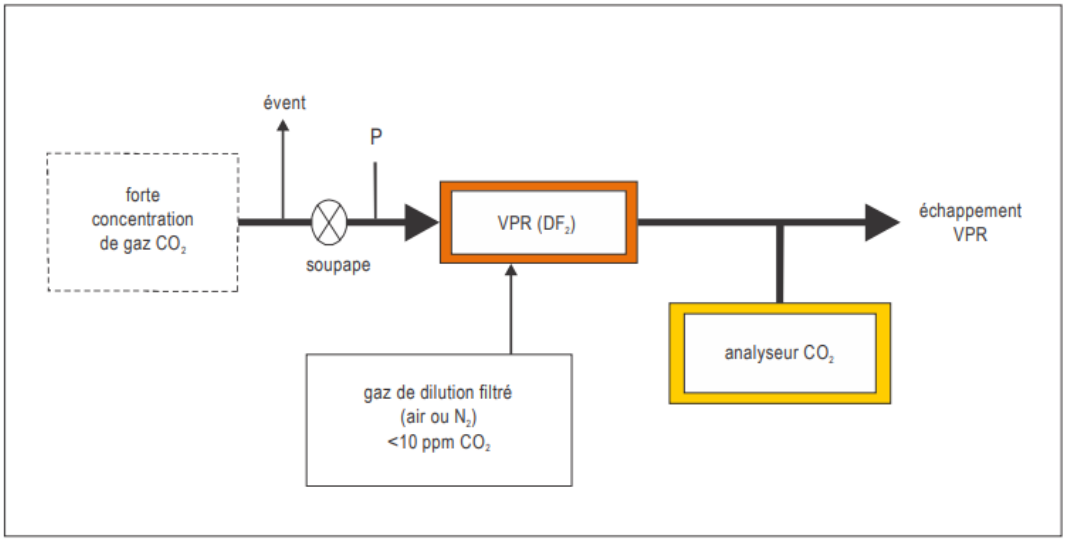

Figure A7-7. Dispositif de contrôle du facteur de dilution du VPR

10.6.2 Le facteur de dilution du VPR (DF_2) doit être contrôlé selon la procédure suivante :

a) réchauffer le VPR et s'assurer d'atteindre les températures de fonctionnement ;
b) vérifier que l'entrée du VPR aspire l'échantillon ;
c) réchauffer l'analyseur de CO_2 de façon correspondante et se préparer à l'enregistrement des données ;
d) appliquer à l'analyseur de CO_2 un gaz approprié à étalonnage zéro et faire tous les ajustements nécessaires de l'instrument ;
e) appliquer un gaz d'étalonnage approprié à une concentration nominale de 90 % de la FS à l'analyseur de CO_2 pour couvrir l'éventail à utiliser, et ajuster et enregistrer en conséquence les réglages de gain ;
f) assurer un flux d'échantillon suffisant vers l'analyseur de CO_2 (une pompe peut être nécessaire en amont de l'analyseur de CO2) ;
g) acheminer le gaz CO_2 à haute concentration jusqu'à l'entrée du VPR, en veillant à ce qu'il y ait un flux excédentaire à la soupape en amont de l'entrée du VPR ;
h) régler le VPR sur un réglage du facteur de dilution ;
i) ajuster la soupape de contrôle du débit à l'entrée du VPR, en créant une chute de pression pour simuler la pression sous-ambiante de l'échantillon à l'entrée du VPR pendant une opération de mesure du nvPMni lors d'un essai moteur ;
j) échantillonner le flux de sortie du VPR avec l'analyseur de gaz CO2 ;
k) lorsque la lecture de l'analyseur de gaz CO_2 est stable, enregistrer un minimum de sept points de données de concentration de CO_2 en une période de trois minutes et calculer la moyenne ;

l) Calculer la valeur DF2 moyenne en fonction de la moyenne des mesures de CO_2 et de la concentration certifiée en gaz CO_2 ;

m) répéter les alinéas h) à l) ci-dessus pour chaque réglage de dilution du VPR à utiliser pendant un essai moteur.

10.6.3 Les valeurs moyennes de DF_2 calculées doivent être comparées aux résultats d'un étalonnage par un laboratoire compétent. Si la différence est :

a) inférieure ou égale à ±10 %, les valeurs de DF_2 provenant de l'étalonnage par un laboratoire compétent doivent être utilisées ;

b) supérieure à ±10 %, les valeurs de DF_2 du VPR doivent être redéterminées à partir de l'étalonnage par un laboratoire compétent.

Note.— Des éléments indicatifs sur l'utilisation d'une procédure équivalente figurent dans le Manuel technique environnemen*tal (Doc 9501), Volume II —* Procédures de certification -émissions des moteurs d'aviation*.*

APPENDICE 8 . PROCÉDURES POUR ESTIMER LES CORRECTIONS DE PERTES DE PARTICULES NON VOLATILES nvPM DANS LE SYSTÈME

Note 1.— Les procédures spécifiées dans le présent Appendice concernent la détermination de facteurs de correction pour les pertes dans le système de prélèvement et de mesure des particules non volatiles (nvPM), à l'exclusion des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte, qui figurent dans la communication de données de l'Appendice 7.

Note 2.— La mise en œuvre du système de prélèvement et de mesure des nvPM exige une longue tuyauterie de prélèvement, pouvant atteindre 35 m, et comprend plusieurs éléments de ce système, ce qui peut avoir pour résultat une perte de particules significative de l'ordre de 50 % pour la masse et de 90 % pour le nombre de nvPM. Les pertes de particules dépendent de la taille et dépendent donc de l'état de fonctionnement du moteur, de la technologie de la chambre de combustion et éventuellement d'autres facteurs. Les procédures spécifiées dans le présent Appendice permettent une estimation des pertes de particules.

Note 3.— La méthode prescrite dans le présent appendice utilise des données et des mesures spécifiées dans l'Appendice 7. Les symboles et définitions ne figurant pas dans le présent appendice figurent dans l'appendice 7.

1. GÉNÉRALITÉS

1.1 Au sein du système de prélèvement et de mesure des nvPM, des mécanismes de dépôt entraînent la perte de particules sur les parois du système de prélèvement. Ces pertes sont à la fois dépendantes et indépendantes de la taille. Les pertes thermophorétiques dans la partie Collecte, indépendantes de la taille, sont spécifiées dans la section 6.2.1 de l'Appendice 7.

1.2 La perte globale de particules dans le système de prélèvement et de mesure des nvPM à l'exclusion des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte est dite perte dans le système.

1.3 Il faut tenir compte de la répartition en taille des nvPM parce que les mécanismes de perte de particules dépendent de la taille des particules. Ces pertes dépendant de la taille des particules sont quantifiées en fonction de la fraction de particules d'une taille donnée qui pénètrent dans le système de prélèvement et de mesure.

2. DÉFINITIONS, SIGLES ET SYMBOLES

2.1 Définitions

Les expressions suivantes, employées dans le présent appendice, ont les significations qui leur sont assignées ci-dessous :

Concentration en nombre de particules. Nombre de particules par unité de volume d'échantillon.

Concentration massique de particules. Masse de particules par unité de volume d'échantillon.

Diamètre aérodynamique d'une particule. Diamètre d'une sphère équivalente de densité unitaire (1g/cm3) ayant la même vitesse de sédimentation que la particule considérée, appelé aussi « diamètre aérodynamique ».

Diamètre de mobilité électrique d'une particule. Diamètre d'une sphère qui se déplace avec exactement la même mobilité dans un champ électrique que la particule concernée.

Distribution granulométrique des particules. Une liste de valeurs ou fonction mathématique qui représente la concentration en nombre des particules en fonction de leur taille.

Fraction de pénétration. Rapport entre la concentration de particules en aval et en amont d'un élément d'un système de prélèvement.

Indice d'émissions en nombre de particules. Nombre de particules par unité de masse du carburant utilisé.

Indice d'émissions massique de particules. Masse des particules émises par unité de masse du carburant utilisé.

Laboratoire compétent. Laboratoire d'essai et d'étalonnage qui établit, met en œuvre et tient à jour un système qualité approprié à son domaine d'activité, en conformité avec la norme ISO/IEC 17025:2005, modifiée périodiquement, ou une norme équivalente, et pour lequel le programme d'étalonnage de l'équipement est conçu et appliqué de manière à assurer que les étalonnages et les mesures effectués par le laboratoire soient traçables au Système international d'unités (SI). L'accréditation officielle du laboratoire au titre de la norme ISO/IEC 17025:2005 n'est pas requise.

Particules non volatiles (nvPM). Particules émises présentes dans le plan de sortie de la tuyère d'échappement d'un moteur à turbine à gaz, qui ne se volatilisent pas lorsqu'elles sont chauffées à une température de 350° C.

Perte de particules. Perte de particules durant le passage dans un élément d'un système de prélèvement ou de mesure ou en raison de la performance de l'instrument. La perte dans le système de prélèvement ou de mesure est due aux différents mécanismes de dépôt, dont certains sont fonction de la taille de la particule.

Séparateur cyclonique. Séparation par rotation ou par gravité des particules d'une taille supérieure à un diamètre aérodynamique prescrit. Le diamètre aérodynamique de coupure spécifié est lié au pourcentage de particules d'une taille donnée qui pénètrent dans le séparateur cyclonique.

2.2 Sigles

CPC	compteur de particules à condensation
EENEP	Plan de sortie de la tuyère d'échappement du moteur
nvPMmi	instrument mesurant la masse des particules non volatiles
nvPMni	instrument mesurant le nombre de particules non volatiles
nvPM	particules non volatiles (voir la définition)
slpm	litres standard par minute (litres par minute dans les conditions STP)
STP	conditions de mesure à une température de référence de 0 °C et une pression de référence de 101,325 kPa
VPR	extracteur de particules volatiles

2.3 Symboles

C_c $1 + \frac{2\lambda}{D_m} \times (1{,}165 + 0{,}483 \times e^{-\frac{0{,}97 D_m}{2\lambda}})$, facteur adimensionnel de correction de glissement de Cunningham

D $\frac{k_B \times (273.15 + T_i) \times C_c}{3 \times \pi \times \mu \times D_m} \times 10^7$, coefficient de diffusion des particules, cm /s

DF_1 facteur de première dilution

DF_2 facteur de seconde dilution (VPR) selon l'étalonnage

D_m diamètre de mobilité électrique des nvPM, nm

D_{mg} diamètre géométrique moyen de la distribution en taille de la mobilité électrique des nvPM, nm

D_{xy}, à z nm diamètre aérodynamique auquel xy % (efficacité de détection) des particules de taille z sont détectées

EI_{mass} indice d'émissions massique de nvPM corrigé des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte et pour la composition du carburant, en milligrammes/kg de carburant

EI_{num} indice d'émissions en nombre de nvPM corrigé des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte et pour la composition du carburant, en nombre/kg de carburant

$f_{lgn}(D_m)$ fonction de distribution log-normale avec paramètres d'écart standard géométrique, σ_g, et diamètre moyen géométrique, D_{mg}

$f_N(D_m)$ fonction de distribution log-normale du nombre de particules à l'EENEP

ID_{ti} diamètre intérieur du i^e segment de la tuyauterie de prélèvement, mm

k_B 1,3806 x 10^{-16}, constante de Boltzmann, $(g \cdot cm^2)/(s^2 \cdot K)$

k_{SL_mass} facteur de correction de EI_{mass} en fonction des pertes dans le système, sans correction des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte, en µg/m^3

k_{SL_num} facteur de correction de EI_{num} en fonction des pertes dans le système, sans correction des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte

k_{thermo} facteur de correction prenant en compte les pertes thermophorétiques dans la partie Collecte, spécifié dans l'Appendice 7, section 6.2.1

$nvPM_{num_EP}$ valeur estimative de la concentration en nombre de nvPM dans le plan de sortie de la tuyère d'échappement du moteur, non corrigée en fonction des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte

$nvPM_{mass_EP10}$ valeur estimative de la concentration massique de nvPM dans le plan de sortie de la tuyère d'échappement du moteur, pour les particules de diamètre compris entre 10 nm et 1 000 nm, microgrammes/m3

$nvPM_{num_EP10}$ valeur estimative de la concentration en nombre de nvPM dans le plan de sortie de la tuyère d'échappement du moteur, pour les particules de diamètre compris entre 10 nm et 1 000 nm, nombre/cm3

$nvPM_{mass_STP}$ concentration massique de nvPM, après dilution, mesurée par un instrument dans les conditions STP, microgrammes /m^3

$nvPM_{num_STP}$ concentration en nombre de nvPM, après dilution, mesurée par un instrument dans les conditions STP, en nombre/cm^3

P_i pression du gaz porteur dans le i^e élément du système de prélèvement, kPa

Q_i flux de gaz porteur dans le i^e segment de la tuyauterie de prélèvement, slpm

Re

le nombre de Reynolds du gaz porteur

$R_{MN}(D_m)$ rapport calculé de la concentration estimée en masse des nvPM et de la concentration estimée en nombre de nvPM

T_i température du gaz porteur dans le i^e segment de la tuyauterie de prélèvement, en °C

δ somme du carré des différences relatives entre les concentrations en masse et en nombre de nvPM mesurées et calculées corrigées pour la dilution

ηmass(Dm) fraction globale de pénétration dans le système de prélèvement et de mesure pour le nvPMmi sans pertes thermophorétiques dans la partie Collecte à la taille de mobilité électrique des particules, D_m

ηnum(Dm) fraction globale de pénétration dans le système de prélèvement et de mesure pour le nvPMni sans pertes thermophorétiques dans la partie Collecte à la taille de mobilité électrique des particules, D_m

$\eta i(D_m)$ fraction de pénétration pour le i^e élément du système de prélèvement et de mesure, à la taille de mobilité électrique des particules, D_m

$\eta bi(D_m)$ fraction de pénétration pour le coude de la tuyauterie de prélèvement, pour le i^e élément du système de prélèvement et de mesure, à la taille de mobilité électrique des particules, D_m

λ $67{,}3 \times \left(\frac{273{,}15+T_i}{296{,}15}\right) \times \left(\frac{101{,}325}{P_i}\right) \times \left(\frac{406{,}55}{T_i+383{,}55}\right)$ libre parcours moyen du gaz porteur, nm

μ viscosité du gaz porteur, g/cm·s

ρ densité effective supposée de nvPM, g/cm^3

ρ_{gas} $\frac{29\times P_i}{8314\times(273.15+T_i),}$ densité de gaz porteur, g/cm^3

σ_g écart géométrique standard supposé de la distribution log-normale

3. DONNÉES NÉCESSAIRES

3.1 Émissions de nvPM

Pour calculer les facteurs de correction des pertes dans le système, les concentrations ci-après, définies dans l'Appendice 7, sont nécessaires :

a) concentration massique de nvPM : $nvPM_{mass_STP}$;

b) concentration en nombre de nvPM : $nvPM_{num_STP}$.

3.2 Autres renseignements

Les renseignements supplémentaires indiqués au § 3.2 de l'Appendice 7 sont nécessaires pour effectuer la procédure de calcul.

4. MÉTHODOLOGIE DE CORRECTION DES PERTES DE nvPM DANS LE SYSTÈME ET PROCÉDURE DE CALCUL

4.1 Généralités

Note 1.— Un diagramme global de la méthodologie pour évaluer les facteurs de correction des pertes dans le système est présenté dans la Figure A8-1.

Note 2.— La Figure A8-2 illustre la procédure de calcul itératif.

4.1.1 Les facteurs de correction de pertes dans le système sont estimés sur la base des suppositions suivantes : les nvPM à l'EENEP sont représentées par une valeur constante de la densité effective de nvPM, une distribution log-normale, une valeur fixée de l'écart type géométrique, sans coagulation, limitant les concentrations en masse et en nombre de nvPM, tel qu'il est décrit dans la section des limitations de la méthode de calcul, et une taille limite minimale des particules de 10 nm.

4.1.1.1 La méthodologie de correction de pertes dans le système doit utiliser une densité effective des particules de 1 g/cm^3.

4.1.1.2 Une distribution log-normale monomodale doit être utilisée avec un écart géométrique standard de 1,8 dans la méthodologie de correction de pertes dans le système.

4.1.1.3 Si la concentration en nombre de nvPM à l'EENEP calculée au moyen de la formule :

$$k_{SL_num} \times k_{thermo} \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP}$$

est supérieure à 10^8 particules/cm^3 ;une coagulation pourrait survenir et doit être signalée à l'autorité primaire de certification.

Note 1.— La méthodologie de correction de pertes dans le système ne tient pas compte de la réduction de la concentration en nombre de nvPM causée par la coagulation.

Note 2.— La méthodologie de correction de pertes dans le système ne tient pas compte de la dérive de la pénétration. Ce facteur n'est pas jugé important pour les systèmes de mesure de nvPM conformes aux dispositions de l'Appendice 7.

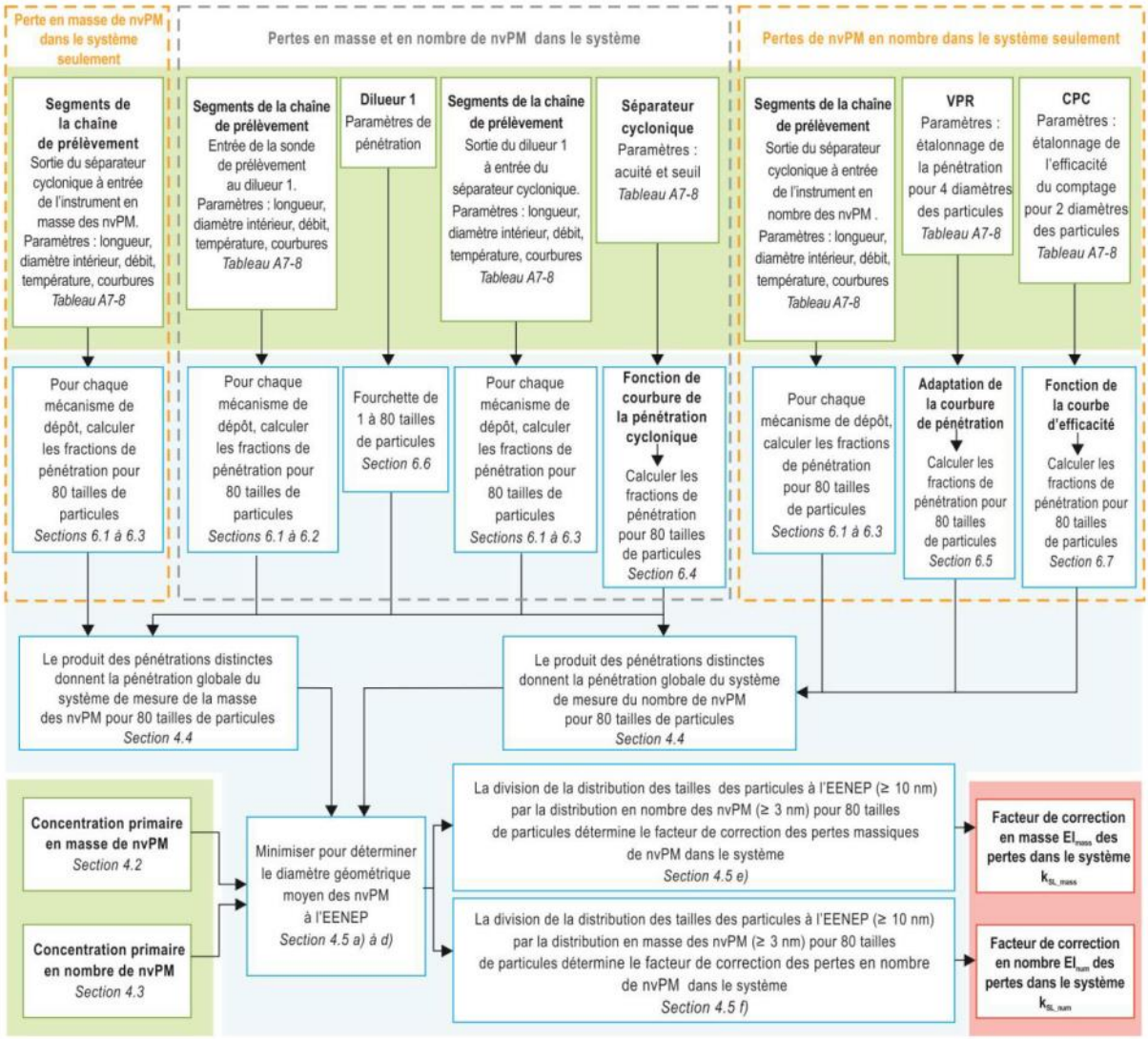

Figure A8-1 : Diagramme de la méthodologie de correction des pertes de nvPM dans le système. Les cases vertes contiennent des paramètres d'entrée du modèle, les cases bleues, des étapes de calcul du modèle, et les cases rouges, les résultats des calculs : les facteurs de correction de pertes dans le système

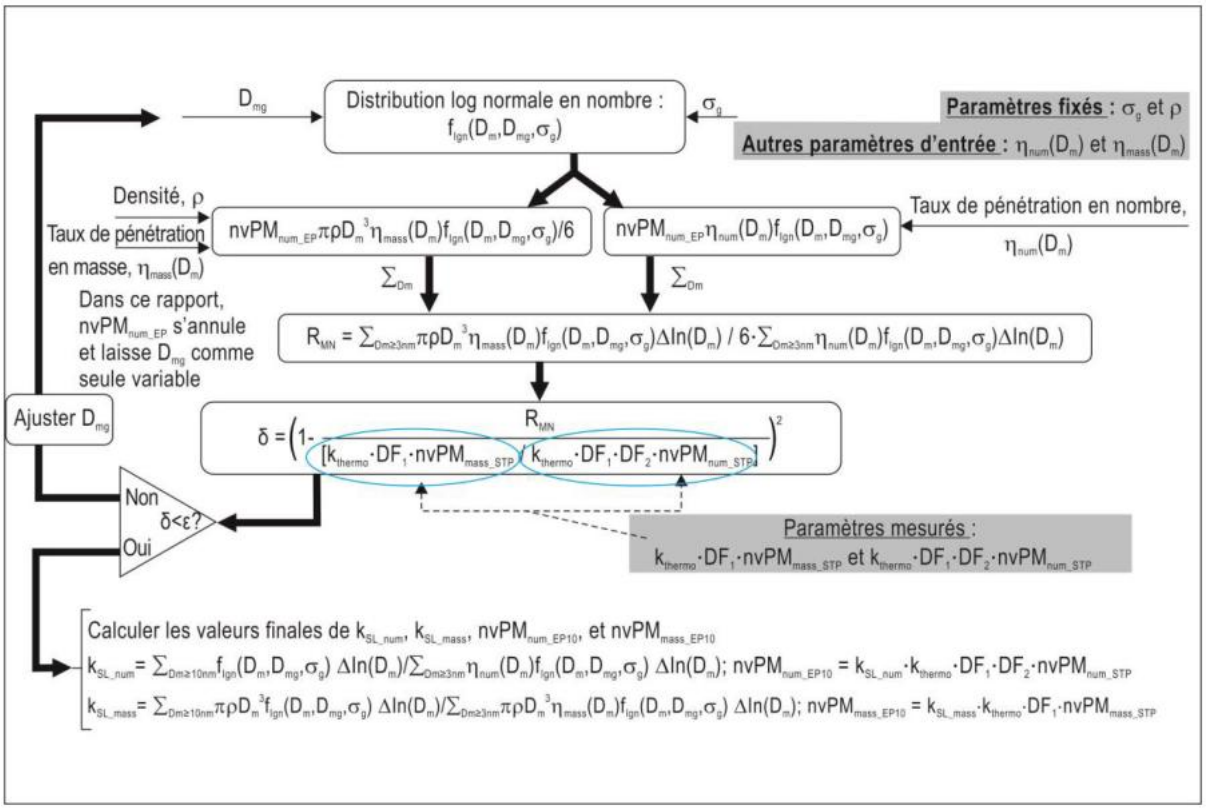

Figure A8-2 Diagramme de la procédure de calcul itératif pour déterminer les facteurs de correction de pertes dans le système

4.2 Concentration massique primaire de nvPM

La concentration massique primaire de nvPM ($nvPM_{mass}$) doit être calculée au moyen de la formule ci-après, définie dans l'Appendice 7, § 6.1.1 :

$$nvPM_{mass} = k_{thermo} \times DF_1 \times nvPM_{mass_STP}$$

4.3 Concentration en nombre primaire de nvPM

La concentration en nombre primaire de nvPM ($nvPM_{num}$) représentant le nombre de particules par volume unitaire dans l'échantillon recueilli au plan d'échappement du moteur, corrigé pour tenir compte du facteur de dilution en première étape (DF_1), du facteur de dilution de seconde étape (DF_2) et de la perte thermophorétique de particules dans la partie Collecte, doit être calculée au moyen de la formule suivante :

$$nvPM_{num} = k_{thermo} \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP}$$

4.4 Fonctions de pénétration des nvPM

4.4.1 La fraction de pénétration du système de prélèvement est le produit des fonctions individuelles d'efficacité de pénétration et de comptage. Le Tableau A8-1 indique les fonctions requises d'efficacité de pénétration et de comptage de nvPM qui doivent être calculées suivant les procédures décrites à la Section 6.

4.4.2 La pénétration du système de prélèvement pour les nvPMmi pour une particule de diamètre D_m doit être calculée au moyen de la formule suivante:

$$\eta_{mass}(D_m) = \eta_1 \times \eta_{b1} \times \eta_2 \times \eta_{b2} \times \eta_3 \times \eta_{b3} \times \ldots \times \eta_{dil} \times \eta_{cyc}$$

4.4.3 La pénétration du système de prélèvement pour les nvPMni pour une particule de diamètre D_m doit être calculée au moyen de la formule suivante:

$$\eta_{num}(D_m) = \eta_1 \times \eta_{b1} \times \eta_2 \times \eta_{b2} \times \eta_3 \times \eta_{b3} \times \ldots \times \eta_{dil} \times \eta_{cyc} \times \eta_{VPR} \times \eta_{CPC}$$

4.4.4 La perte thermophorétique du système de prélèvement de nvPM en masse et en nombre, indépendant de leur taille, doit être calculée au moyen de la formule suivante:

$$\eta_{thermo} = \eta_{th1} \times \eta_{th2} \times \eta_{th3} \times \ldots$$

Note.— La perte thermophorétique de la partie Collecte, k_{thermo} ,, est indiquée dans l'Appendice 7, §6.2.1 et ne doit pas être incluse dans ces calculs.

Tableau A8-1. Fractions de pénétration requises d'éléments du système de prélèvement et de mesure de nvPM

Symbole	*Description des fonctions de transport de particules du système de prélèvement et de mesure de nvPM*
$\eta_i(D_m)$	Fraction de pénétration diffusionnelle du i[e] segment du système de prélèvement
$\eta_{bi}(\Theta_i)$	Fraction de pénétration résultant de courbures dans le i[e] segment du système de prélèvement
η_{thi}	Fraction de pénétration résultant de thermophorèse dans le i[e] segment du système de prélèvement
$\eta_{dil}(D_m)$	Fraction de pénétration du dilueur 1
$\eta_{cyc}(D_m)$	Fraction de pénétration du séparateur cyclone
$\eta_{VPR}(D_m)$	Fraction de pénétration VPR
$\eta_{CPC}(D_m)$	Efficacité du comptage CPC

4.5 Calcul des facteurs de correction de pertes dans le système

Les facteurs de correction de pertes dans le système pour les nvPM en masse (k_{SL_mass}) et en nombre (k_{SLnum}) doivent être calculés selon la procédure itérative suivante :

a) Estimer une valeur initiale du diamètre géométrique moyen en appliquant la formule ci-après:

$$D_{mg} = \sqrt[3]{\frac{6 \times DF_1 \times nvPM_{mass_STP}}{\pi \times \rho \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP}}} \times 10^3$$

Note.— Le diamètre arithmétique moyen calculé par l'équation ci-dessus donne la valeur initiale du diamètre géométrique moyen, D_{mg} , pour la procédure itérative. Si l'on utilise les unités définies pour les entrées, le diamètre calculé des particules doit être en nm.

b) Calculer, à partir de la valeur de D mg obtenu en a), le rapport estimatif de la valeur massique de nvPM sur la valeur en nombre, $R_{MN}(D_{mg})$, au moyen de la formule ci-après :

$$R_{MN}(D_{mg}) = \frac{\sum_{D_m>3nm}^{1000nm} \eta_{mass}(D_m) \times \frac{\pi \rho D_m^3}{6} \times e^{-\frac{1}{2}\left\{\frac{\ln(D_m)-\ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)}\right\}^2} \times \Delta\ln(D_m)}{\sum_{D_m>3nm}^{1000nm} \eta_{num}(D_m) \times e^{-\frac{1}{2}\left\{\frac{\ln(D_m)-\ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)}\right\}^2} \times \Delta\ln(D_m)}$$

où les fonctions exponentielles sont tirées de la fonction de distribution logarithmique normale,

$$f_{lgn}(D_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\ln(\sigma_g)} \times e^{-\frac{1}{2}\left\{\frac{\ln(D_m)-\ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)}\right\}^2}$$

$\Delta\ln(D_m) = \frac{1}{n} \times \frac{1}{\log_{10}(e)}$ est la largeur d'un intervalle dans le logarithme naturel de base ; *e* est le nombre d'Euler, et n est le nombre d'intervalles par décade.

c) Déterminer la différence relative au carré, δ, entre les rapports mesuré et estimé des valeurs en masse de nvPM sur les valeurs en nombre de nvPM :

$$\delta = \left\{1 - \frac{R_{MN}(D_{mg}) \times 10^{-9}}{\left[\left(k_{thermo} \times DF_1 \times nvPM_{mass_STP}\right)/\left(k_{thermo} \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP}\right)\right]}\right\}^2$$

d) Répéter les étapes b) et c) en variant la valeur D_{mg} jusqu'à ce que δ soit réduite à moins de 1×10^{-9}. La valeur D_{mg} liée à la valeur minimale de δ doit être utilisée pour calculer les facteurs de correction de pertes dans le système ;

e) Calculer le facteur de correction de pertes massiques de nvPM dans le système au moyen de la formule suivante :

$$k_{SL_mass} = \frac{\sum_{D_m>10nm}^{1000nm} D_m^3 \times e^{-\frac{1}{2}\left\{\frac{\ln(D_m)-\ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)}\right\}^2} \times \Delta\ln(D_m)}{\sum_{D_m>3nm}^{1000nm} \eta_{mass}(D_m) \times D_m^3 \times e^{-\frac{1}{2}\left\{\frac{\ln(D_m)-\ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)}\right\}^2} \times \Delta\ln(D_m)}$$

En multipliant EI_{mass} par K_{SL_mass} , on obtient l'indice d'émissions de nvPM corrigé pour les pertes dans le système ;

f) Calculer le facteur de correction de pertes en nombre de nvPM dans le système au moyen de la formule suivante :

$$k_{SL_num} = \frac{\sum_{D_m>10nm}^{1000nm} e^{-\frac{1}{2}\left\{\frac{\ln(D_m)-\ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)}\right\}^2} \times \Delta\ln(D_m)}{\sum_{D_m>3nm}^{1000nm} \eta_{num}(D_m) \times e^{-\frac{1}{2}\left\{\frac{\ln(D_m)-\ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)}\right\}^2} \times \Delta\ln(D_m)}$$

En multipliant EI_{num} par K_{SL_num} , on obtient l'indice d'émissions de nvPM corrigé pour les pertes dans le système ;

g) Un minimum de 80 tailles distinctes dans l'éventail de tailles des particules allant de 3 à 1000nm, ou un nombre minimal d'intervalles par décade donnant des résultats équivalents tels que convenus par l'autorité primaire de certification, doit être utilisée dans ces calculs.

Note 1.— Pour 80 tailles distinctes, le nombre d'intervalles par décade, n, est 32 [voir plus haut la définition de $\Delta ln(D_m)$].

Note 2.— Les sommations pour déterminer les facteurs de correction de pertes dans le système débutent à 10 nm dans le numérateur et à 3 nm dans le déterminateur.

Note 3.— La procédure de calcul peut être appliquée en utilisant les programmes logiciels disponibles sur le marché.

5. COMMUNICATION ET LIMITATIONS

Note 1.— On a constaté que la méthode de calcul des facteurs de correction de pertes dans le système décrite au § 4.1., donne des résultats acceptables sur une vaste gamme de concentrations de nvPM en masse et en nombre observées dans les émissions de nvPM des aéronefs à turbomoteurs. Il faut noter cependant que certaines fourchettes de concentrations de nvPM en masse et en nombre introduisent dans les analyses des données d'entrée qui ne permettent pas aux calculs de donner des résultats de qualité.

Note 2.— Toutes variations dans les suppositions posées dans la méthode de calcul telles que stipulées au § 4.1.1 du présent appendice risquent d'entraîner des écarts dans les facteurs de correction des pertes dans le système. De telles variations dans les données pourraient être dues à la distribution des tailles de particules, au système de prélèvement ou aux instruments. En outre, des artéfacts du système de prélèvement et de mesure, tels qu'un délestage possible des murs lorsque les concentrations sont faibles, peuvent produire des facteurs de correction invalides. Les limitations de la méthode sont dues aux variations des données d'entrée plutôt que de la méthode de calcul.

5.1 Fourchettes de concentrations massiques applicables

5.1.1 Si la $nvPM_{mass_STP}$ est inférieure à 3 microgrammes/m^3, le demandeur doit confirmer que le D_{mg} prévu à l'EENEP ne s'écarte pas de la fourchette applicable du § 5.3.

5.1.2 Réservé

5.2 Fourchettes de concentrations en nombre applicables

5.2.1 S'il est constaté que la concentration en nombre de nvPM mesurée au nvPMni, corrigée pour tenir compte de la dilution (en phases DF_1 et DF_2) et de la perte thermophorétique dans la partie Collecte, est égale ou inférieure à la concentration en nombre ambiante mesurée[1], le demandeur doit confirmer que le D mg prévu à l'EENEP ne dépasse pas la fourchette applicable indiquée au § 5.3.

5.2.2 Réservé

5.3 Diamètres géométriques moyens prévus applicables

Note.— Il est prévu que le diamètre géométrique moyen des nvPM émis au EENEP des turbines d'avion au gaz est de 7 à 100 nm.

5.3.1 Si la méthode de calcul des pertes dans le système prévoit un diamètre géométrique moyen à l'EENEP qui est inférieur à 7 nm ou supérieur à 100 nm, et/ou si cette méthode prévoit un diamètre géométrique moyen à l'EENEP où le critère de convergence n'est pas respecté (δ est supérieur à 1×10^{-9}), les résultats pour k_{SL_mass} et k_{SL_num} doivent être examinés avec l'autorité primaire de certification afin de déterminer si la recommandation ci-après s'applique.

5.3.2 Réservé

[1] Voir Appendice 7, Supplément E.

6. PROCÉDURE POUR DÉTERMINER LES FRACTIONS DE PÉNÉTRATION DES DIFFÉRENTS COMPOSANTS DU SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT ET DE MESURE DES nvPM

Pour évaluer l'efficacité du transport des nvPM pour une gamme de tailles, les fractions de pénétration de chacun des composants du système de prélèvement et de mesure des nvPM doivent être calculées, pour un minimum de 80 tailles distinctes de particule ou un nombre minimal de tailles distinctes de particule qui doit donner un résultat équivalent, accepté par l'autorité primaire de certification pour une fourchette allant de 3 à 1 000 nm.

Note 2.— Les paramètres du système de prélèvement et de mesure des nvPM nécessaires aux calculs des fractions de pénétration dans le présent appendice figurent au § 3.2 de l'Appendice 7.

6.1 Fractions de pénétration diffusionnelle du segment

Les valeurs de pénétration, η_i (D_m), pour les pertes diffusionnelles dans des segments du système de prélèvement pour la taille de mobilité électrique D_m doivent être calculées au moyen de la formule :

$$\eta_i(D_m) = e^{\frac{-\pi \times ID_{ti} \times L_i \times V_{d,diff}}{Q_i}}$$

où

L_i longueur du i^e segment de la chaine de prélèvement, m

$V_{d,diff}$ $0{,}0118 \times Re^{\frac{7}{8}} \times Sc^{\frac{1}{3}} \times D/ID_{ti}$, vitesse de dépôt, cm/s

Sc $\frac{\mu}{\rho_{gas} D} \times 10^3$, nombre de Schmidt du gaz porteur

ID_{ti} diamètre intérieur du i^e segment de la chaine de prélèvement, mm

Q_i débit du gaz porteur dans le i^e segment de la chaine de prélèvement, slpm

6.2 Fractions de pénétration de la courbure du segment

Les fractions de pénétration de la courbure sont caractérisées par un écoulement turbulent, avec un Re supérieur à 5 000, et par un écoulement laminaire, avec un Re égal ou inférieur à 5 000, où Re est le nombre de Reynolds. Pour un débit laminaire (incluant le régime de transition), la pénétration due aux courbures dans les chaînes de transport des prélèvements pour chaque segment, au D_m pour les particules à mobilité électrique, doit être calculée comme suit :

$$\eta_{bi}(D_m) = 1 - 0.01745 \times Stk \times \theta_{bi}$$

Pour les écoulements turbulents, la pénétration due aux courbures dans les chaînes de transport des prélèvements doit être calculée comme suit :

$$\eta_{bi}(D_m) = e^{-0.04927 \times Stk \times \theta_{bi}}$$

où

$Stk = \frac{Q_i \times C_c \times \rho \times D_m^2 \times 10^{-3}}{27 \times \pi \times \mu \times ID_{ti}^3}$, nombre de Stokes sans dimension

θ_{bi} total des angles des courbures dans le i[e] segment de la chaîne de prélèvement, degrés

6.3 Pertes thermophorétiques du segment

Les gradients de température résultent du fait que, étant plus faibles que les températures du gaz, les températures des murs de la chaîne de prélèvement, causent des dépôts supplémentaires de particules, des pertes thermophorétiques, à la surface des chaînes de prélèvement. À l'exception des pertes dans la partie Collecte, les pertes thermophorétiques doivent être calculées au moyen de la formule ci-après :

$$\eta_{thi} = \left[\frac{T_{linei} + 273.15}{T_{gasi} + 273.15}\right]^{Pr \times K_{th}} \times \left[1 + \left(\frac{T_{gasi} + 273.15}{T_{linei} + 273.15} - 1\right) \times e^{-\frac{\pi \times ID_i \times h_{gas} \times L_i}{\rho_{gas} \times Q_i \times C_p}}\right]^{Pr \times K_{th}}$$

où

T_{gasi} température des prélèvements de gaz en °C
T_{linei} temnpérature du mur de la chaine en °C
h_{gas} coefficient de transfert de la chaleur convective du gaz porteur (W/(m^2 K))
C_p chaleur spécifique de la pression constante du gaz porteur (J/(kg K))
Pr nombre de Prandtl
$K_{th} \frac{2 \times C_s \times C_c}{1+3 \times C_m \times K_n}\left[2 + \frac{1}{\left(k_{gas}/k_p\right)+C_t \times K_n}\right]^{-1}$, coefficient thermophorétique

C_s 1,17, coefficient de glissement
C_m 1,14, dynamique de la suie
C_t 2,18, coefficient thermique
k_{gas} conductivité thermique du gaz porteur (Wm^{-1}K^{-1})
K_n 2λ/D_m, nombre de Knudsen
k_p 0,2 Wm^{-1}K^{-1}, conductivité thermique des particules

Note.— Les pertes thermophorétiques VPR et dans la partie Collecte sont prises en compte comme il est indiqué dans l'Appendice 7, § 6.2.1. Un système conforme aux spécifications de l'Appendice 7 utilise des instruments et des segments qu'il n'est pas nécessaire actuellement de corriger pour tenir compte des pertes thermophorétiques ; en conséquence □ thi doit être effectivement égal à 1,0.

6.4 Fonction de pénétration du séparateur cyclonique

La fonction de pénétration du séparateur cyclonique doit être déterminée au moyen de la formule ci-après :

$$\eta_{cyc}(D_m) = 1 - \int_{x>0}^{D_m} \frac{e^{-\frac{(\ln x - \mu_{cyc})^2}{2\sigma_{cyc}^2}}}{x\sigma_{cyc}\sqrt{2\pi}} dx$$

où

μ_{cyc} $\ln(D_{50})$;
σ_{cyc} $\ln(D_{16}/D_{84})^{0.5}$

Note 1.— Les applications de tableur des ordinateurs modernes comprennent dans leurs bibliothèques de fonctions une distribution log normale cumulative qui peut servir à produire une fonction de pénétration du séparateur cyclonique.

Note 2.— Pour la plupart des applications de moteur turbine au gaz, D_m doit être inférieur à 300 nm. Dans de tels cas, la fonction de pénétration du séparateur cyclonique doit être effectivement égale à 1,0.

6.5 Fonction de pénétration du VPR

Note.— Au lieu de la fonction résultant de la procédure de calcul décrite ci-après, on peut aussi utiliser une fonction lissée du laboratoire d'étalonnage présentant une bonne qualité d'ajustement (R^2 supérieur à 0,95) pour les quatre points de pénétration de l'étalonnage du VPR.

Les pertes de particules dans le VPR sont dues aussi bien à la diffusion qu'à la thermophorèse. Le facteur thermophorétique, η_{VPRth}, est une constante. Le facteur de diffusion, η_{VPRdi}, est tiré des pertes standard de particules dues à la diffusion dans un écoulement laminaire. La fonction de pénétration totale du VPR doit être déterminée au moyen de la formule suivante :

$$\eta_{VPR} = \eta_{VPRth} \times \begin{cases} 1 - 5.5 \times \psi^{\frac{2}{3}} + 3.77 \times \psi & \psi < 0.007 \\ 0.819 \times e^{-11.5\psi} + 0.0975 \times e^{-70.1\psi} + 0.0325 \times e^{-179\psi} & \psi > 0.007 \end{cases}$$

où

Ψ $\frac{D \times L_{VPR} \times 100}{Q_{VPR}}$, paramètre de dépôt
L_{VPR} longueur effective du VPR, m

Q_{VPR} débit de gaz porteur dans le VPR, slpm
T_{VPR} température du VPR, °C
η_{VPRth} perte thermophorétique du VPR

La fonction de pénétration du VPR (η_{VPR}) doit être adaptée aux quatre points de pénétration mesurés en variant la longueur effective du VPR (L_{VPR}) et le facteur de perte thermophorétique (η_{VPRth}). L'adaptation doit être calculée en réduisant δ_{VPR}, la somme relative des différences au carré entre la pénétration mesurée du VPR, $\eta_{VPRmeas}$, et la fonction de pénétration calculée.

$$\delta_{VPR} = \sqrt{\sum_{D_m} \left(\frac{\eta_{VPRmeas}(D_m) - \eta_{VPR}(D_m)}{\eta_{VPRmeas}(D_m)} \right)^2}$$

Note.— Il a été démontré qu'une valeur de δ_{VPR} inférieure à 0,08 est particulièrement bien adaptée aux pénétrations mesurées.

6.6 Fonction de pénétration du dilueur 1

Une pénétration constante pour le dilueur 1, η_{dil} (D_m) = 1, doit être utilisée pour toutes les tailles de particule.

6.7 Efficacité de comptage du CPC

6.7.1 On doit établir une fonction continue pour l'efficacité de comptage du CPC en utilisant les deux efficacités de comptage spécifiées avec une fonction sigmoïde à deux paramètres, par la formule ci-après :

$$\eta_{CPC} = 1 - e^{-\ln(2) \times \left[\frac{D_m - D_0}{D_{50} - D_0} \right]}$$

où

$$D_0 = \frac{\alpha_{10} D_{15} - \alpha_{15} D_{10}}{\alpha_{10} - \alpha_{15}}$$

$$D_{50} = \frac{(\alpha_{15}+1) D_{10} - (\alpha_{10}+1) D_{15}}{\alpha_{15} - \alpha_{10}}$$

$$\alpha_i = \frac{\ln(1 - \eta_{CPC,i})}{\ln(2)}, \; i = 10 \text{ nm ou } 15 \text{ nm}$$

D_{10} 10 nm,
D_{15} 15 nm,
$\eta_{CPC,10}$ efficacité de comptage à 10 nm, et
$\eta_{CPC,15}$ efficacité de comptage à 15 nm.

6.7.2 L'efficacité du comptage doit être réglée à zéro si l'efficacité de comptage du CPC estimative issue de la fonction continue devient inférieure à zéro.

SUPPLEMENT A. CALCUL DES PARAMÈTRES DES ÉMISSIONS GAZEUSES- BASE, CORRECTION DES MESURES ET MÉTHODE NUMÉRIQUE DE RECHANGE

1. SYMBOLES

RAC rapport air/carburant: rapport entre le débit massique d'air sec et le débit massique de carburant

IE indice d'émissions : débit massique des produits d'émissions gazeuses dans les gaz d'échappement correspondant au débit massique unitaire de carburant X 10^3

K rapport entre les concentrations de gaz mesurées à l'état humide et à l'état sec (après condensation)

L, L' coefficient d'interférence de l'analyseur pour interférence par $C0_2$

M, M' coefficient d'interférence de l'analyseur pour interférence par H_2O

M_{AIR} masse moléculaire de l'air sec = 28,966 g ou, s'il y a lieu,

= (32R+28,156 4 S+44,011 T)g

M_{CO} masse moléculaire du CO = 28,011 g

M_{HC} masse moléculaire de l'hydrocarbure dans les gaz d'échappement, considérée comme étant du méthane = 16,043 g

M_{NO2} masse moléculaire du NO_2 = 46,008 g

M_C masse atomique du carbone = 12,011 g

M_H masse atomique de l'hydrogène = 1,008 g

P_O nombre de moles d'air par mole de carburant dans le mélange initial air/carburant

P_1 nombre de moles de $C0_2$ dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant.

P_2 nombre de moles de N_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_3 nombre de moles de 0_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_4 nombre de moles de H_2O dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_5 nombre de moles de CO dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_6 nombre de moles de HC dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_7 nombre de moles de NO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_8 nombre de moles de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_T $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_T + P_8$

Z symbole utilisé et défini au § 3.4

$[O_2]_b$ concentration de l'oxygène dans l'air sec en volume = 0,2095

$[N_2]_b$ concentration de l'azote et des gaz rares dans l'air sec en volume = 0,7902

$[CO_2]_b$ concentration de CO_2 dans l'air sec en volume = 0,0003

$[CO_2]$ concentration moyenne de CO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume, à l'état humide

[CO] concentration moyenne de CO dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume, à l'état humide

[HC] concentration moyenne d'hydrocarbures des gaz d'échappement en volume, à l'état humide, exprimée en carbone

[NO] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume, à l'état humide

$[NO_2]$ concentration moyenne de NO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume, à l'état humide

$$= \frac{([NOx]_c - [NO])}{\eta}$$

[NOx] concentration moyenne de NO + NO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume, à l'état humide

$[NOx]_c$ concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO_2 en NO, en volume , à l'état humide

$[\ ]_d$ concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après condensation, en volume

$[\ ]_m$ mesure de la concentration indiquée par l'instrument avant correction, en volume

h_{vol} humidité de l'air ambiant, en volume d'eau par volume d'air sec

h_d humidité de l'échantillon de gaz d'échappement après dessiccation ou condensation, en volume d'eau par volume d'échantillon sec

m nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant

n nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique du carburant

x nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique des hydrocarbures des gaz d'échappement

y nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique des hydrocarbures des gaz d'échappement

η efficacité du convertisseur de NO_2 en NO

2. BASE DU CALCUL DES INDICES D'ÉMISSION ET DU RAPPORT AIR / CARBURANT

2.1 On admet que l'équilibre entre le mélange original d'air et de carburant et l'échantillon d'émissions gazeuses d'échappement peut être représenté par l'équation suivante:

$C_mH_n + P_0[[O_2]_b\ (O_2) + [N_2]_b\ (N_2) + [CO_2]_b\ (CO_2) + h_{vol}(H_2O)] = P_1(CO2) + P_2(N_2) + P_3(0_2) + P_4(H_2O) + P_5\ (CO) + P_6(HC) + P_7\ (NO_2) + P_8(NO)$

équation dont on peut, par définition, déduire les paramètres nécessaires :

$$IE(CO) = P_5\left(\frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H}\right)$$

$$IE(HC) = xP_6\left(\frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H}\right) \text{ exprimé en équivalent de méthane}$$

$$IE(NO_x) = \left(P_7 + P_8\right)\left(\frac{10^3 M_{NO_2}}{mM_C + nM_H}\right) \text{ exprimé en équivalent de } NO_2$$

$$RAC = P_0\left(\frac{M_{AIR}}{mM_C + nM_H}\right)$$

2.2 Les valeurs *m* et *n* de la composition des hydrocarbures du carburant sont déterminées par les spécifications du carburant ou par analyse. Si seul le rapport *n/m* est ainsi déterminé, on peut admettre pour *m* la valeur de 12. Les fractions moléculaires des constituants-. de l'air sec ($[O_2]_b$, $[N_2]_b$, $[CO_2]_b$) sont en général considérées comme étant les valeurs normalisées recommandées, mais d'autres valeurs peuvent être adoptées sous la réserve que $[O_2]_b + [N_2]_b + [CO_2]_b = 1$ et que ces valeurs soient approuvées par l'Autorité primaire de certification.

2.3 L'humidité h_{vol} de l'air ambiant est mesurée pour chaque condition d'essai. Il est recommandé qu'à moins de preuve du contraire en ce qui concerne la caractérisation des hydrocarbures des gaz d'échappement, on adopte les valeurs de x = 1 et y = 4.

2.4 La détermination des autres inconnues exige la solution de la série ci-après d'équations linéaires simultanées, les équations (1) à (4) découlant des relations fondamentales de la conservation de la matière, et les équations (5) à (9) représentant les relations de concentration des produits gazeux :

$m + [CO_2]_b\ P_o = P_1 + P_5 + xP_6$ ..... (1)

$n + 2\ h_{vol}\ P_o = 2P_4 + yP_6$. ..... (2)

$(2[O_2]_b + 2[CO_2]_b + h_{vol})\ P_o = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8$ ..... (3)

$2[N_2]_b\ P_o = 2P_2 + P_7 + P_8$ ..... (4)

$[CO_2]\ P_T = P_1$ ..... (5)

$[CO]\ P_T = P_5$ ..... (6)

$[HC]\ P_T = xP_6$ ..... (7)

$[NOx]_C\ P_T = \eta\ P_7 + P_8$ .....(8)

$[NO]\ P_T = P_8$ .....(9)

$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$ ..... (10)

L'ensemble d'équations conditionnelles ci-dessus s'applique aux cas où toutes les concentrations de gaz mesurées sont des concentrations vraies, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas soumises à des effets d'interférence ou à des corrections dues à la dessiccation de l'échantillon. En pratique, les interférences sont généralement sensibles dans les mesures de CO, NOx et NO, et la possibilité de mesurer le CO_2 et le CO à l'état sec ou semi-humide est souvent utilisée. Les modifications qu'il est nécessaire d'apporter aux équations pertinentes sont indiquées aux § 2.5 et 2.6.

2.5 Les effets d'interférence sont surtout dus à la présence de CO_2 et de H_2O dans l'échantillon, présence qui peut agir fondamentalement, sur les analyseurs de CO et de NOx de différentes façons. Dans le cas de l'analyseur de CO, on observe une tendance à une dérive du zéro, et dans le cas de l'analyseur d'oxydes d'azote, une tendance à une modification de la sensibilité que l'on peut représenter de la façon suivante :

$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$

et $[NOx]_C = [NOx]_{cm}\ (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$

équation qui transforma les équations (6), (8) et (9) de la manière suivante lorsque les effets d'interférence doivent être corrigés:

$[CO]_m\ P_T + LP_1 + MP_4 = P_5$ .....(6A)

$[NOx]_{cm}\ (P_T + L'P_1 + M'P_4) = \eta\ P_7 + P_8$ .....(8A)

$[NO]_m\ (P_T + L'P_1 + M'P_4) = P_8$ .....(9A)

2.6 La possibilité de mesurer les concentrations de $C0_2$ et de CO sur un échantillon sec ou semi-humide, c'est-à-dire avec une humidité réduite h_d, exige l'emploi des équations conditionnelles modifiées suivantes:

$[CO_2]_d\ (P_T - P_4)\ (1 + h_d) = P_1$.....(5A)

et

$[CO]_d\ (P_T - P_4)\ (1 + h_d) = P_5$

Cependant, l'analyseur de CO peut également être sujet à des effets d'interférence comme ceux qui sont décrits § 2.5 de sorte que l'équation de mesure des concentrations de CO devient :

$[CO]_{md}\ (P_T - P_4)\ (1 + h_d) + LP_1 + Mh_d\ (P_T - P_4) = P_5$.....(6B)

3. FORMULES ANALYTIQUES

3.1. GÉNÉRALITÉS

Les équations (1) à (10) peuvent être réduites pour donner les formules analytiques des indices d'émission et des rapports air/carburant indiquées au § 7.1 de l'Appendice 3. Cette réduction se fait par élimination successive des racines P_o, P_1, à P_8 et P_T en admettant que toutes les mesures de concentration de gaz sont effectuées sur échantillon humide et n'exigent pas de corrections d'interférence ou autres. En pratique on choisit souvent la possibilité d'effectuer les mesures de concentration de CO_2 et de CO sur un échantillon sec ou semi-humide; aussi est-il

souvent nécessaire de procéder à des corrections d'interférence. Les formules à utiliser dans ces diverses conditions sont indiquées aux § 3.2, 3.3 et 3.4 du présent supplément.

3.2. ÉQUATION DE CONVERSION DES MESURES DE CONCENTRATION DE GAZ A L'ÉTAT SEC EN MESURES DE CONCENTRATION Á L'ÉTAT HUMIDE

Concentration de gaz à l'état humide = *Kx* concentration de gaz à l'état sec, c'est-à-dire :

$$[\ ] = K\ [\ ]_d$$

L'expression suivante qui donne *K* s'applique lorsque les concentrations de CO et de CO_2 sont déterminées sur échantillon sec :

$$K = \frac{\{4 + (n/m)\,[CO_2]_b + ([n/m]\,[CO_2]_b - 2h_{vol})\,([NO_2] - (2[HC]/x)) + (2 + h_{vol})\,\left([y/x] - [n/m]\right)[HC]\}\,(1 + h_d)}{(2 + h)\,\{2 + (n/m)\,(1 + h_d)\,([CO_2]_d + [CO]_d)\} - ([n/m]\,[CO_2]_b - 2h)\,(1 - [1 + h_d]\,[CO]_d)}$$

3.3. CORRECTIONS D'INTERFÉRENCE

Les mesures de CO et/ou de NOx et de NO peuvent exiger des corrections d'interférence dues aux concentrations de CO_2 et d'eau dans l'échantillon avant de les utiliser dans les équations analytiques ci-dessus. Ces corrections peuvent en général s'exprimer de la manière générale suivante:

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO_2]_d + M\left(\frac{h_d}{1 + h_d}\right)$$

$$[NO] = [NO]_m\,(1 + L[CO_2] + M[H_2O])$$

$$\eta[NO_2] = ([NOx]_{cw} - [NO]_m)\,(1 + L[CO_2] + M[H_2O])$$

3.4. ÉQUATION POUR LE CALCUL DE LA TENEUR EN EAU DE L'ÉCHANTILLON

La concentration de l'eau dans l'échantillon est donnée par l'équation suivante :

$$[H_2O] = \frac{\left([n/2m] + h_{vol}\left[P_0/m\right]\right)([CO_2] + [CO] + [HC])}{1 + [CO_2]_b\,\left(P_0/m\right)} - (y/2x)[HC]$$

où

$$P_0/m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{vol} - [[CO_2]_b Z/2])}$$

et

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x])\,[HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}$$

Il y a lieu de noter que ce calcul est fonction des diverses lectures de concentration des analyses qui peuvent elles-mêmes exiger une correction d'interférence pour l'eau. Pour plus de précision une procédure itérative est nécessaire dans ce cas avec calculs successifs de la concentration d'eau jusqu'à ce que la stabilité nécessaire soit obtenue. L'emploi de la méthode numérique de rechange (§ 4) permet d'éviter cette difficulté.

4. MÉTHODE NUMÉRIQUE DE RECHANGE

4.1 À la place des méthodes analytiques résumées au § 3, il est possible d'obtenir facilement les indices d'émission, les rapports air/carburant corrigés, les concentrations de gaz à l'état humide, etc., au moyen d'une solution numérique des équations (1) à (10) pour chaque série de mesures en utilisant un ordinateur numérique.

4.2 Dans la série d'équations (1) à (10), les mesures réelles de concentration de gaz sont substituées en utilisant celles des équations de remplacement (5A), (6A), etc., qui s'appliquent au système de mesure considéré afin de tenir compte des corrections d'interférence et/ou des mesures sur échantillon sec.

4.3 Des programmes d'ordinateur simples appropriés à la solution d'un ensemble d'équations à deux dimensions sont largement répandus et leur utilisation à cette fin est commode et souple, permettant d'incorporer et d'identifier facilement n'importe quelle possibilité de séchage d'un échantillon et de correction d'interférence ou autre.

SUPPLEMENT B. CALCUL DES PARAMÈTRES DES ÉMISSIONS GAZEUSES DANS LE CAS DES TURBOMACHINES À POSTCOMBUSTION - BASE, CORRECTION DES MESURES ET MÉTHODE NUMÉRIQUE DE RECHANGE.

1. SYMBOLES

RAC rapport air/carburant: rapport entre le débit massique d'air sec et le débit massique de carburant

IE indice d'émission: débit massique des produits gazeux d'émission dans les gaz d'échappement correspondant au débit massique unitaire de carburant x 10^3

K rapport entre les concentrations mesurées à l'état humide et à l'état sec (après condensation)

L, L' coefficient d'interférence de l'analyseur pour interférence par CO_2

M, M' coefficient d'interférence de l'analyseur pour interférence par H_2O

M_{AIR} masse moléculaire de l'air sec = 28,966 g ou, s'il y a lieu,

$$=(32R+28,1564S+44,011\ T)g$$

M_{CO} masse moléculaire du CO = 28,011 g

M_{HC} masse moléculaire de l'hydrocarbure dans les gaz d'échappement, considérée comme étant du méthane = 16,043 g

M_{NO2} masse moléculaire du NO_2 = 46,008 g

M_C masse atomique du carbone = 12,011 g

M_H masse atomique de l'hydrogène = 1,008 g

P_O nombre de moles d'air par mole de carburant dans le mélange initial air/carburant

P_1 nombre de moles de CO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant.

P_2 nombre de moles de N_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_3 nombre de moles de O_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_4 nombre de moles de H_2O dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_5 nombre de moles de CO dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_6 nombre de moles de HC dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_7 nombre de moles de NO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_8 nombre de moles de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant

P_T $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$

R concentration de l'oxygène dans l'air sec en volume = 0,2095 normalement

S concentration de l'azote et des gaz rares dans l'air sec en volume = 0,7902 normalement

T concentration de CO_2 dans l'air sec en volume = 0,0003 normalement

Z symbole utilisé et défini au § 3.4

[CO_2] concentration moyenne de CO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume

[CO] concentration moyenne de CO dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume

[HC] concentration moyenne d'hydrocarbures dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume

[NO] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume

[N O_2] concentration moyenne de NO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume

[NO_X] concentration moyenne de NO + NO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume

[NO_X]$_C$ concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO_2 en NO, en volume

$$[NO_2] \quad \text{Valeur moyenne} = \frac{([NO_x]_c - [NO])}{\eta}$$

[ ]$_d$ concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après condensation, en volume

[ ]$_m$ mesure de la concentration indiquée par l'instrument avant correction, en volume

h_{vol} humidité de l'air ambiant, en volume d'eau par volume d'air sec

h_d humidité de l'échantillon de gaz d'échappement après dessiccation ou condensation, en volume d'eau par volume d'échantillon sec

m nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant

n nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique du carburant

x nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique des hydrocarbures des gaz d'échappement

y nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique des hydrocarbures des gaz d'échappement

η efficacité du convertisseur de NO_2 en NO

2. BASE DU CALCUL DES INDICES D'ÉMISSION ET DU RAPPORT AIR/CARBURANT

2.1 On admet que l'équilibre entre le mélange original d'air et de carburant et l'échantillon d'émissions gazeuses d'échappement peut être représenté par l'équation suivante:

$C_mH_n + P_0[R(O_2) + S(N_2) + T(CO_2) + h_{vol}(H_2O)] = P_1(CO_2) + P_2(N_2) + P_3(0_2) + P_4(H_2O) + P_5(CO) + P_6(C_xH_y) + P_7(NO_2) + P_8(NO)$

équation dont on peut, par définition, déduire les paramètres nécessaires :

$$\mathrm{IE(CO)} = P_5 \left(\frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right)$$

$$\mathrm{IE(HC)} = xP_6 \left(\frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ exprimé en équivalent de méthane}$$

$$\mathrm{IE(NO_x)} = (P_7 + P_8) \left(\frac{10^3 M_{NO_2}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ exprimé en équivalent de } NO_2$$

$$\mathrm{RAC} = P_0 \left(\frac{M_{AIR}}{mM_C + nM_H} \right)$$

2.2 Les valeurs *m* et *n* de la composition des hydrocarbures du carburant sont déterminées par les spécifications du carburant ou par analyse. Si seul le rapport *n/m* est ainsi déterminé, on peut admettre pour *m,* la valeur de 12. Les fractions moléculaires des constituants de l'air sec (R, S, T) sont en général considérées comme étant les valeurs normalisées recommandées, mais d'autres valeurs peuvent être adoptées sous la réserve que R+S+*T* = 1 et que ces valeurs soient approuvées par l'Autorité primaire de certification.

2.3 L'humidité h_{vol} de l'air ambiant est mesurée pour chaque condition d'essai. Il est recommandé qu'à moins de preuve du contraire en ce qui concerne la caractérisation des hydrocarbures des gaz d'échappement, on adopte les valeurs de x = 1 et y = 4.

2.4 La détermination des autres inconnues exige la solution de la série ci-après d'équations linéaires simultanées, les équations (1) à (4) découlant des relations fondamentales de la conservation de la matière, et les équations (5) à (9) représentant les relations de concentration des produits gazeux :

$m + TP_o = P_1 + P_5 + xP_6$ .....(1)

$n + 2hP_o = 2P_4 + yP_6$ .....(2)

$(2R + 2T + h_{vol})\, P_o = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8$ .....(3)

$2SP_o = 2P_2 + P_7 + P_8$ .....(4)

$[CO_2]\ P_T = P_1$ ..... (5)

$[CO]\ P_T = P_5$ .....(6)

$[HC]\ P_T = xP_6$.....(7)

$[NO_X]_C\ P_T = \eta P_7 + P_8$ .....(8)

$[NO]\ P_T = P_8$ .....(9)

$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$ ..... (10)

L'ensemble d'équations conditionnelles ci-dessous s'applique aux cas où toutes les concentrations mesurées sont des concentrations vraies, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas soumises à des effets d'interférence ou à des corrections dues à la dessiccation de l'échantillon. En pratique, les interférences sont généralement sensibles dans les mesures de CO, NO_x et NO, et la possibilité de mesurer le CO_2 et le CO à l'état sec ou semi-humide est

souvent utilisée. Les modifications qu'il est nécessaire d'apporter aux équations pertinentes sont indiquées aux § 2.5 et 2.6 du présent supplément.

2.5 Les effets d'interférence sont surtout dus à la présence de CO_2 et de H_2O dans l'échantillon, présence qui peut agir fondamentalement, sur les analyseurs de CO et de NO_x de différentes façons. Dans le cas de l'analyseur de CO, on observe une tendance à une dérive du zéro, et dans le cas de l'analyseur d'oxydes d'azote, une tendance à une modification de la sensibilité que l'on peut représenter de la façon suivante :

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

et $[NO_X]_C = [NO_x]_{cm} (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$

équation qui transforma les équations (6), (8) et (9) de la manière suivante lorsque les effets d'interférence doivent être corrigés:

$$[CO]_m P_T + LP_1 + MP_4 = P_5 \quad \text{.....(6A)}$$

$$[NO_x]_{cm} (P_T + L'P_1 + M'P_4) = \eta P_7 + P_8 \quad \text{.....(8A)}$$

$$[NO]_m (P_T + L'P_1 + M'P_4) = P_8 \quad \text{.....(9A)}$$

2.6 La possibilité de mesurer les concentrations de $C0_2$ et de CO sur un échantillon sec ou semi-humide, c'est-à-dire avec une humidité réduite h_d, exige l'emploi des équations conditionnelles modifiées suivantes:

$$[CO_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \quad \text{.....(5A)}$$

et

$$[CO]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5$$

Cependant, l'analyseur de CO peut également être sujet à des effets d'interférence comme ceux qui sont décrits au § 2.5 de sorte que l'équation de mesure des concentrations de CO devient :

$$[CO]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + LP_1 + Mh_d (P_T - P_4) = P_5 \quad \text{.....(6B)}$$

3. FORMULES ANALYTIQUES

3.1 GÉNÉRALITÉS

Les équations (1) à (10) peuvent être réduites pour donner les formules analytiques des indices d'émission et des rapports air/carburant indiquées au § 7.1 de l'Appendice 5. Cette réduction se fait par élimination successive des racines P_o, P_1, à P_8 et P_T en admettant que toutes les mesures de concentration sont effectuées sur échantillon humide et n'exigent pas de corrections d'interférence ou autres. En pratique on choisit souvent la possibilité d'effectuer les mesures de concentration de CO_2 et de CO sur un échantillon sec ou semi-humide; aussi est-il souvent nécessaire de procéder à des corrections d'interférence. Les formules à utiliser dans ces diverses conditions sont indiquées aux § 3.2. , 3.3 et 3.4 du présent supplément.

3.2 ÉQUATION DE CONVERSION DES MESURES DE CONCENTRATION À L'ÉTAT SEC EN MESURES DE CONCENTRATION À L'ÉTAT HUMIDE

Concentration humide = K x concentration à sec, c'est-à-dire :

$$[\ ] = K\,[\ ]_d$$

L'expression suivante qui donne *K* s'applique lorsque les concentrations de CO et de CO_2 sont déterminées sur échantillon sec :

$$K = \frac{\left\{4 + (n/m)T + \left([n/m]T - 2h_{vol}\right)\left([\mathrm{NO_2}] - \left(2[\mathrm{HC}]/x\right)\right) + \left(2 + h_{vol}\right)\left([y/x] - [n/m]\right)[\mathrm{HC}]\right\}\left(1 + h_d\right)}{\left(2 + h_{vol}\right)\left\{2 + (n/m)\left(1 + h_d\right)\left([\mathrm{CO_2}]_d + [\mathrm{CO}]_d\right)\right\} - \left([n/m]T - 2h_{vol}\right)\left(1 - [1 + h_d][\mathrm{CO}]_d\right)}$$

3.3 CORRECTIONS D'INTERFÉRENCE

Les mesures de CO et/ou d'oxydes d'azote et de NO peuvent exiger des corrections d'interférence dues aux concentrations de CO_2 et d'eau dans l'échantillon avant de les utiliser dans les équations analytiques ci-dessus. Ces corrections peuvent en général s'exprimer de la manière générale suivante :

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$[\mathrm{CO}]_d = [\mathrm{CO}]_{md} + L[\mathrm{CO_2}]_d + M\left(\frac{h_d}{1 + h_d}\right)$$

$$[\mathrm{NO}] = [\mathrm{NO}]_m\left(1 + L'[\mathrm{CO_2}] + M'[\mathrm{H_2O}]\right)$$

$$\eta[\mathrm{NO_2}] = \left([\mathrm{NO_x}]_{cm} - [\mathrm{NO}]_m\right)\left(1 + L'[\mathrm{CO_2}] + M'[\mathrm{H_2O}]\right)$$

3.4 ÉQUATION POUR LE CALCUL DE LA TENEUR EN EAU DE L'ÉCHANTILLON

La concentration de l'eau dans l'échantillon est donnée par l'équation suivante :

$$[\mathrm{H_2O}] = \frac{\left([n/2m] + h_{vol}[P_0/m]\right)\left([\mathrm{CO_2}] + [\mathrm{CO}] + [\mathrm{HC}]\right)}{1 + T\left(\mathrm{P_0}/m\right)} - (y/2x)\,[\mathrm{HC}]$$

ou

$$\mathrm{P_0}/m = \frac{2Z - (n/m)}{4\left(1 + h_{vol} - [TZ/2]\right)}$$

et

$$Z = \frac{2 - [\mathrm{CO}] - \left(|2/x| - |y/2x|\right)[\mathrm{HC}] + [\mathrm{NO_2}]}{[\mathrm{CO_2}] + [\mathrm{CO}] + [\mathrm{HC}]}$$

Il y a lieu de noter que ce calcul est fonction des diverses lectures de concentration des analyses qui peuvent elles-mêmes exiger une correction d'interférence pour l'eau. Pour plus de précision une procédure itérative est nécessaire dans ce cas avec calculs successifs de la concentration d'eau jusqu'à ce que la stabilité nécessaire soit obtenue. L'emploi de la méthode numérique de rechange (§ 4) permet d'éviter cette difficulté.

4. MÉTHODE NUMÉRIQUE DE RECHANGE

4.1 À la place des méthodes analytiques résumées au § 3, il est possible d'obtenir facilement les indices d'émission, les rapports air/carburant corrigés, les concentrations à l'état humide, etc., au moyen d'une solution numérique des équations (1) à (10) pour chaque série de mesures en utilisant un ordinateur numérique.

4.2 Dans la série d'équations (1) à (10), les mesures réelles de concentration sont substituées en utilisant celles des équations de remplacement (5A), (6A), etc., qui s'appliquent au système de mesure considéré afin de tenir compte des corrections d'interférence et/ou des mesures sur échantillon sec.

4.3 Des programmes d'ordinateur simples appropriés à la solution d'un ensemble d'équations à deux dimensions sont largement répandus et leur utilisation à cette fin est commode et souple, permettant d'incorporer et d'identifier facilement n'importe quelle possibilité de séchage d'un échantillon et de correction d'interférence ou autre.

— FIN —