

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

1^{ère} édition / Révision 00 / Juillet 2015

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)



Agence Nationale de l'Aviation Civile
du Togo

RANT 16 - PART 2

Protection de l'environnement - Émissions des moteurs d'aviation

Page: **ADM** 2 de 110

Révision: 00

Date: 01/07/2015

ADMINISTRATION DU DOCUMENT



LISTE DES PAGES EFFECTIVES

Chapitre	Page	N° édition	Date édition	N° révision	Date révision
PG RANT 16 Part 2	1	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
PG ADM	2	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
LPE	3	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
ER	4	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
LA	5	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
TM	6 - 7	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
INTRO	8	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
PARTIE 1	9-12	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
PARTIE 2	13 - 15	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
PARTIE 3	16 - 29	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
APPENDICES / SUPP	30	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
APPENDICE 1	31	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
APPENDICE 2	32-39	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
APPENDICE 3	40 - 54	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
SUPPL A / APP 3	55 - 57	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
SUPPL B / APP 3	58 - 60	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
SUPPL C / APP 3	61 - 62	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
SUPPL D / APP 3	63 - 64	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
SUPPL E / APP 3	65 - 71	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
SUPPL F / APP 3	72	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
APPENDICE 4	73	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
APPENDICE 5	74 - 89	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
SUPPL A / APP 5	90 - 92	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
SUPPL B / APP 5	93 - 95	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
SUPPL C / APP 5	96 - 97	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
SUPPL D / APP 5	98 - 99	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
SUPPL E / APP 5	100 - 106	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
SUPPL F / APP 5	107	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015
APPENDICE 6	108 - 110	01	Juillet 2015	00	Juillet 2015



Agence Nationale de l'Aviation Civile
du Togo

RANT 16 - PART 2
Protection de l'environnement -
Émissions des moteurs d'aviation

Page: ADM 5 de 110

Révision: 00

Date: 01/07/2015

LISTE DES AMENDEMENTS

Page	N° Amendement	Date	Motif d'Amendement



TABLE DES MATIÈRES

		Pages
	INTRODUCTION	8
PARTIE 1	DÉFINITIONS ET SYMBOLES	9
Chapitre 1	Définitions	10
Chapitre 2	Symboles	12
PARTIE 2	DÉCHARGES DE CARBURANT	13
Chapitre 1	Administration	14
Chapitre 2	Prévention des décharges intentionnelles de carburant	15
PARTIE 3	DOCUMENT DE CERTIFICATION - ÉMISSIONS	16
Chapitre 1	Administration	17
Chapitre 2	Turboréacteurs et réacteurs à turbosoufflante destinés à la propulsion aux vitesses subsoniques seulement	18
2.1	Généralités	18
2.2	Fumée	20
2.3	Émissions gazeuses	21
2.4	Renseignements nécessaires	23
Chapitre 3	Turboréacteurs et réacteurs à turbosoufflante destinés à la propulsion aux vitesses supersoniques	25
3.1	Généralités	25
3.2	Fumée	27
3.3	Émissions gazeuses	27
3.4	Renseignements nécessaires	28
APPENDICES / SUPPLÉMENTS		
APPENDICE 1	MESURE DU RAPPORT DE PRESSION DE RÉFÉRENCE	31
APPENDICE 2	ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE FUMÉE	32
APPENDICE 3	INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURE DES ÉMISSIONS GAZEUSES	40
SUPPL A /APP3	Spécification de l'analyseur d'hydrocarbures	55
SUPPL B /APP3	Spécification des analyseurs de CO et de CO ₂	58
SUPPL C /APP3	Spécification de l'analyseur d'oxydes d'azote	61



		Pages
SUPPL D /APP3	Gaz d'étalonnage et d'essai	63
SUPPL E /APP3	Calcul des paramètres d'émission — base, correction des mesures et méthode numérique de rechange	65
SUPPL F /APP3	Spécifications de données supplémentaires	72
APPENDICE 4	SPÉCIFICATIONS SUR LE CARBURANT À UTILISER POUR LES ESSAIS D'ÉMISSIONS DE TURBOMACHINES	73
APPENDICE 5	INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURES DES ÉMISSIONS GAZEUSES DES TURBOMACHINES À POSTCOMBUSTION	74
SUPPL A /APP5	Spécification de l'analyseur d'hydrocarbures	90
SUPPL B /APP5	Spécification des analyseurs de CO et de CO ₂	93
SUPPL C /APP5	Spécification de l'analyseur d'oxydes d'azote	96
SUPPL D /APP5	Gaz d'étalonnage et d'essai	98
SUPPL E /APP5	Calcul des paramètres d'émission — base, correction des mesures et méthode numérique de rechange	100
SUPPL F /APP5	Spécifications de données supplémentaires	107
APPENDICE 6	PROCÉDURE DE DÉMONSTRATION DE LA CONFORMITÉ POUR LES ÉMISSIONS DE GAZ ET DE FUMÉE	108



Agence Nationale de l'Aviation Civile
du Togo

RANT 16 - PART 2

Protection de l'environnement - Émissions des moteurs d'aviation

Page: I 8 de 110

Révision: 00

Date: 01/07/2015

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.



Agence Nationale de l'Aviation Civile
du Togo

RANT 16 - PART 2

Protection de l'environnement - Émissions des moteurs d'aviation

Page: **P1** 9 de 110

Révision: 00

Date: 01/07/2015

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

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.

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.

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.

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 du service de certification, il n'y a pas eu modification d'autres facteurs.

Note.- Il convient de noter que cette définition de «version dérivée» est différente de la définition de «version dérivée d'un aéronef» qui figure dans le RANT 16 – Part 1 .



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).

NO : Monoxyde d'azote.

NO₂ : Dioxyde d'azote.

NO_x : Oxydes d'azote (voir définition).

SN : Indice de fumée (voir définition).

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



Agence Nationale de l'Aviation Civile
du Togo

RANT 16 - PART 2

Protection de l'environnement Émissions des moteurs d'aviation

Page: **P2** 13 de 110

Révision: 00

Date: 01/07/2015

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 de l'aviation civile 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 de l'aviation civile.

1.3 Le Togo reconnaît la validité d'une certification relative aux décharges de carburant accordée par le service de certification d'un autre État contractant 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.



Agence Nationale de l'Aviation Civile
du Togo

RANT 16 - PART 2

Protection de l'environnement - Émissions des moteurs d'aviation

Page: **P3** 16 de 110

Révision: 00

Date: 01/07/2015

PARTIE 3 - DOCUMENT DE CERTIFICATION- ÉMISSIONS

CHAPITRE 1 :

ADMINISTRATION

1.1 Les dispositions des § 1.2 à 1.4 s'appliquent à tous les moteurs compris dans les catégories définies, aux fins de la certification-émissions, aux chapitres 2 et 3, lorsque ces moteurs sont installés sur des aéronefs utilisés pour la navigation aérienne internationale.

1.2 La certification-émissions sera accordée 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 et 3 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 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 du service 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.

1.4 Le Togo reconnaîtra la validité d'une certification-émissions accordée par le service de certification d'un autre État contractant à condition que les spécifications selon lesquelles cette certification a été accordée ne soient pas moins strictes que les dispositions du présent règlement.

1.5 Le Togo reconnaîtra la validité des dérogations à une exigence de cessation de production de moteurs qui sont accordées par le service de certification d'un autre État contractant à condition qu'elles aient été consenties conformément aux processus et critères définis dans le *Manuel technique environnemental* (Doc 9501), Volume II -- *Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation*, de l'OACI .

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'appliqueront 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 les services de certification exemptent 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 1^{er} 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 sera émise par l'Autorité de l'aviation civile, les plaques d'identification sur les moteurs devront porter la marque « EXEMPTÉ NOUVEAU » ou « EXEMPTÉ RECHANGE » et la délivrance de l'exemption doit être consignée dans le dossier permanent du moteur. Les exemptions doivent être consignées par numéro de série de moteur et mises à disposition dans un registre officiel public.

2.1.1.3 Les dispositions du présent chapitre s'appliquent aussi aux moteurs conçus pour des applications qui, autrement, auraient été réalisées par des turboréacteurs ou des turbosoufflantes.

Note.- Lorsque l'Autorité de l'aviation civile envisage des exemptions, elle doit tenir compte du nombre probable des moteurs en cause qui seront construits et de leur effet sur l'environnement. Lorsqu'une telle exemption est accordée, l'Autorité de l'aviation civile devra envisager d'imposer une limite de temps à la production des moteurs en question lorsqu'ils sont destinés à être montés sur des aéronefs nouveaux. De plus amples orientations sur la délivrance des exemptions 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 seront 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 (NO_x).

2.1.3 Unités de mesure

2.1.3.1 L'émission de fumée sera mesurée et exprimée au moyen de l'indice de fumée (SN).

2.1.3.2 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 § 2.1.4.2. et 2.1.4.3, sera mesurée et exprimée en grammes.

2.1.4 Conditions de référence

2.1.4.1 Conditions atmosphériques

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

2.1.4.2 Réglages de poussée :

Le moteur sera 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 de l'aviation civile.

<i>Régime d'utilisation CAD</i>	<i>Réglage de poussée</i>
Décollage	100 % de F_{00}
Montée	85 % de F_{00}
Approche	30 % de F_{00}
Circulation au sol et ralenti	7% de F_{00}

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 sera représenté par les temps ci-dessous pour chaque régime d'utilisation.

<i>Phase</i>	<i>Temps au régime d'utilisation (minutes)</i>
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 sera 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 aux moteurs construits à compter du 1^{er} janvier 1983.

2.2.2 Indice de fumée réglementaire

À chaque réglage de poussée des quatre régimes d'utilisation CAD, l'indice de fumée mesuré et calculé conformément aux procédures de l'Appendice 2 ou à des procédures équivalentes approuvées par l'Autorité de l'aviation civile 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

Note : Des éléments indicatifs sur la définition et l'utilisation de procédures équivalentes figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II -- Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

2.3 ÉMISSIONS GAZEUSES

2.3.1 Application

Les dispositions du § 2.3.2 s'appliquent aux moteurs dont la poussée nominale est supérieure à 26,7 kN et qui sont construits à compter du 1^{er} janvier 1986 ou, pour les oxydes d'azote, comme il est spécifié ci-après.

2.3.2 Niveaux réglementaires

Les niveaux d'émission 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, ou des procédures équivalentes approuvées par l'Autorité de l'aviation civile, ne doivent pas dépasser pas 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 d'un type ou d'un modèle dont le premier exemplaire de série a été construit avant le 1^{er} janvier 1996 et moteur considéré construit avant le 1^{er} janvier 2000:

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

- b) moteurs d'un type ou d'un modèle dont le premier exemplaire de série a été construit avant le 1^{er} janvier 1996 ou à une date ultérieure ou moteur considéré construit avant le 1^{er} janvier 2000 ou une date ultérieure :

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

- c) moteurs d'un type ou d'un modèle dont le premier exemplaire de série a été construit le 1^{er} janvier 2004 ou une date ultérieure :

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

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

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

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

$$D_P / F_{00} = 37,572 + 1,6\pi_{00} - 0,2087 F_{00}$$

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

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

$$D_P / F_{00} = 7 + 2,0\pi_{00}$$

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

$$D_P / F_{00} = 42,71 + 1,4286 \pi_{00} - 0,4013 F_{00} + 0,00642 \pi_{00} \times F_{00}$$

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

$$D_P / F_{00} = 32 + 1,6 \pi_{00}$$

- d) moteurs d'un type ou d'un modèle dont le premier exemplaire de série a été construit le 1^{er} janvier 2008 ou à une date ultérieure et moteur construit le 1^{er} janvier 2013 ou à une date ultérieure:

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

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

$$D_P / F_{00} = 16,72 + (1,4080 * \pi_{00})$$

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

$$D_P / F_{00} = 38,5486 + (1,6823 \pi_{00}) - (0,2453 F_{00}) - (0,00308 \pi_{00} F_{00})$$

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

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

$$D_P / F_{00} = - 1,04 + (2,0 * \pi_{00})$$

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

$$D_P / F_{00} = 46,1600 + (1,4286 \pi_{00}) - (0,5303 F_{00}) + (0,00642 \pi_{00} F_{00})$$

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

$$D_P / F_{00} = 32 + (1,6 \pi_{00}).$$

e) moteurs d'un type ou d'un modèle dont le premier exemplaire de série a été construit le 1^{er} janvier 2014 ou à une date ultérieure:

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

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

$$DP / F_{00} = 7,88 + 1,4080 \pi_{00}$$

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

$$DP / F_{00} = 40,052 + 1,5681 \pi_{00} - 0,3615 F_{00} - 0,0018 \pi_{00} F_{00}$$

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

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

$$DP / F_{00} = - 9,88 + 2,0 \pi_{00}$$

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

$$D_p / F_{00} = 41,9435 + 1,505 \pi_{00} - 0,5823 F_{00} + 0,005562 \pi_{00} F_{00}$$

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

$$D_p / F_{00} = 32 + 1,6 \pi_{00}$$

Note : Des éléments indicatifs sur la définition et l'utilisation de procédures équivalentes figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II -- Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

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 seront 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 seront 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 seront 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'émission (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 seront fournis pour chaque moteur soumis aux essais 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 gazeux ;
- b) émission brute totale de chaque polluant gazeux mesurée sur un cycle CAD (en 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'émission 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 seront 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 sera 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, sera 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 seront celles de l'atmosphère type internationale au niveau de la mer, sauf pour l'humidité absolue de référence qui sera 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 de l'aviation civile:

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 sera 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 seront pas 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.

3.1.7 Lorsque les conditions d'essai diffèrent des conditions de référence spécifiées au § 3.1.5, les résultats d'essai seront ramenés aux conditions de référence par les méthodes indiquées à l'Appendice 6.

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 dépassera pas le niveau réglementaire donné 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

Note. - Les services 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 dépasseront pas les niveaux réglementaires donnés par les formules ci-après :

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

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

$$\text{Oxydes d'azote (NO}_x\text{): } D_p / F^*_{\infty} = 36 + 2,42\pi_{\infty}$$

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 seront 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 seront fournis pour chaque moteur essayé aux fins de certification à chacun des réglages de poussée spécifiés au § 3.1.5.2. Ces renseignements seront 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 seront 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 seront 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.



Agence Nationale de l'Aviation Civile
du Togo

RANT 16 - PART 2

Protection de l'environnement - Émissions des moteurs d'aviation APPENDICES

Page: **APP** 30 de 110

Révision: 00

Date: 01/07/2015

APPENDICES ET SUPPLEMENTS



Agence Nationale de l'Aviation Civile
du Togo

RANT 16 - PART 2
Protection de l'environnement-
Émissions des moteurs d'aviation
APPENDICE 1

Page: APP 31 de 110
Révision: 00
Date: 01/07/2015

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 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. MESURE

- 2.1 La 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 sera mesurée en un point aussi proche que possible de la sortie du compresseur. Cependant, l'Autorité de l'aviation civile 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 seront 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 de l'aviation civile.



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.

1.1 L'emploi de toute procédure équivalente à celle indiquée dans le présent appendice ne sera autorisé qu'après approbation par l'Autorité de l'aviation civile.

1.2 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 $16,2 \text{ kg/m}^2$ 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'émission 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 répondra 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 multiple est utilisée, tous les orifices de prélèvement doivent avoir le même diamètre. La sonde sera 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 d'échantillonnage sera 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 aux services 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 sera 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 entre 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 sera 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 sera 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 doivent correspondre aux spécifications suivantes :

- a) *Mesure du volume de l'échantillon.* Un compteur humide ou sec sera utilisé pour mesurer le volume de l'échantillon avec une précision de ± 2 %. La pression et la température à l'entrée de ce compteur seront également mesurées avec des précisions respectives de 0,2 % et $\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- b) *Débit du prélèvement.* Le débit du prélèvement doit être maintenu à une valeur de $14 \pm 0,5$ 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 sera construit dans un matériau résistant à la corrosion et placé comme il est indiqué sur la Figure A2-1. Le filtre sera du type Whatman n°4 ou constitué par un matériau équivalent approuvé par l'Autorité de l'aviation civile.
- d) *Robinets.* Quatre robinets seront prévus comme l'indique la Figure A2-1.

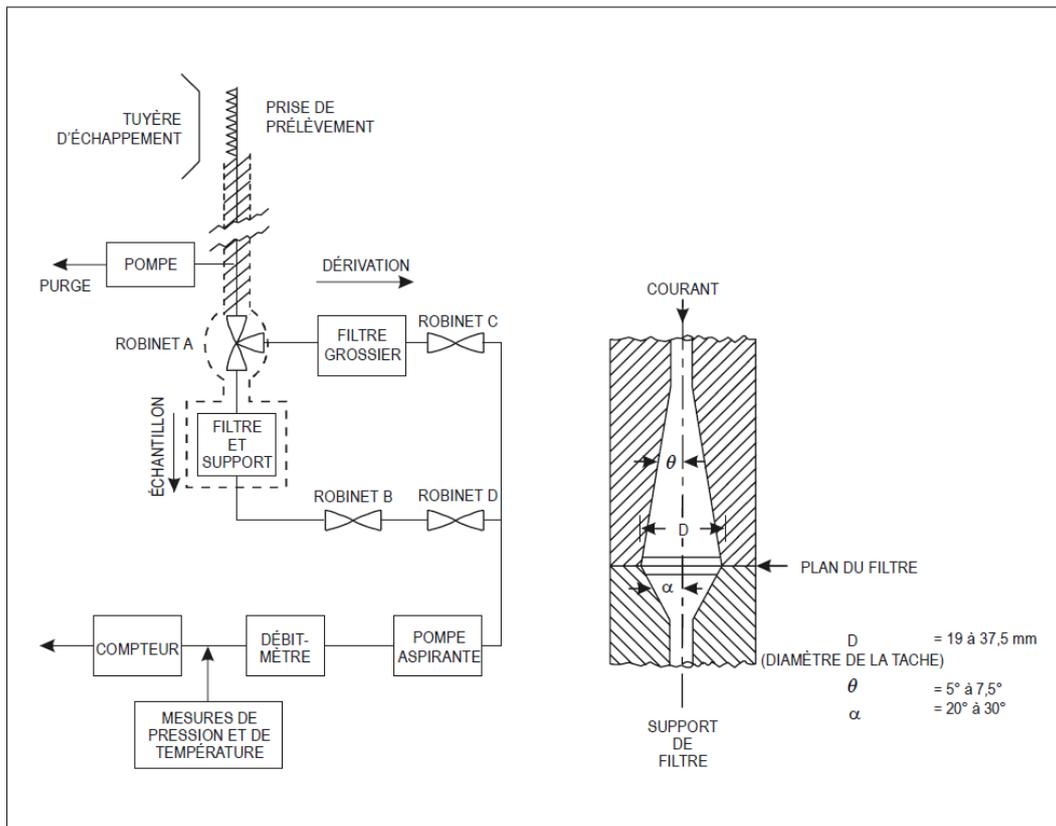


Figure A2-1. Système d'analyse de la fumée

- 1) Le robinet A sera 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.- Le robinet A peut, si cela est nécessaire, être composé de deux robinets interconnectés pour exécuter la fonction nécessaire.

- 2) Les robinets B et C seront des robinets de réglage et ils seront 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 seront 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 28 litres/minute à la température et à la pression normale.

f) *Contrôle de la température.* La tuyauterie de prélèvement interne de l'analyseur jusqu'au support de filtre sera 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 sera aussi proche que possible de la sonde et ne compromettra pas 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 CO₂ ou à un système d'analyse complète des émissions.
- h) Si l'on emploie un séparateur de débit, on fera 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 volume qui passe à travers le compteur pendant une période de 5 minutes. Ce volume ne doit pas excéder 5 litres (dans les conditions normales de température et de pression) et le dispositif ne doit pas être utilisé tant que ce résultat ne sera pas atteint.
- j) *Réfectomètre.* Les mesures de la densité de réflexion diffuse du filtre seront 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 réfectomètre 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 de l'aviation civile. Le moteur doit être stabilisé à chaque régime.

2.5.2 Vérifications d'étanchéité et de propreté

On n'effectuera pas 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 sera 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 2 L. 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 au § 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 sera 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 seront 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 $14 \pm 0,5$ 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) seront 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 seront 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 sera 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 seront calculées à l'aide de la formule :

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

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 seront 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 $W/A = 16,2 \text{ kg/m}^2$ sera évaluée et constituera 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 sera la moyenne arithmétique des différentes valeurs de SN' .

4 COMMUNICATION DES DONNÉES AU SERVICE DE CERTIFICATION

Les données mesurées seront communiquées au service 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.

L'emploi de toute procédure équivalente à celle qui est indiquée dans le présent appendice ne sera autorisé qu'après approbation par l'Autorité de l'aviation civile.

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 : 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 nominalelement 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 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 d'un échantillon. Ce terme désigne également le 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 stable peut être maintenue sur une période de temps donnée ;

3. DONNÉES NÉCESSAIRES

3.1 ÉMISSIONS GAZEUSES

On déterminera les concentrations des émissions 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 (CO₂).

Note.- Le CO₂ ne fait pas partie des émissions réglementées mais sa concentration est nécessaire pour les calculs et les vérifications.

- d) Oxydes d'azote (NO_x): on procédera à une estimation de la somme des deux oxydes, le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂).

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 seront 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 seront obtenues soit par mesure directe, soit par calcul comme il est indiqué au Supplément F au présent appendice.

4. DISPOSITION GÉNÉRALE DE L'APPAREILLAGE

Le carburant utilisé au cours des essais répondra 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 dépendra 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 seront 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.

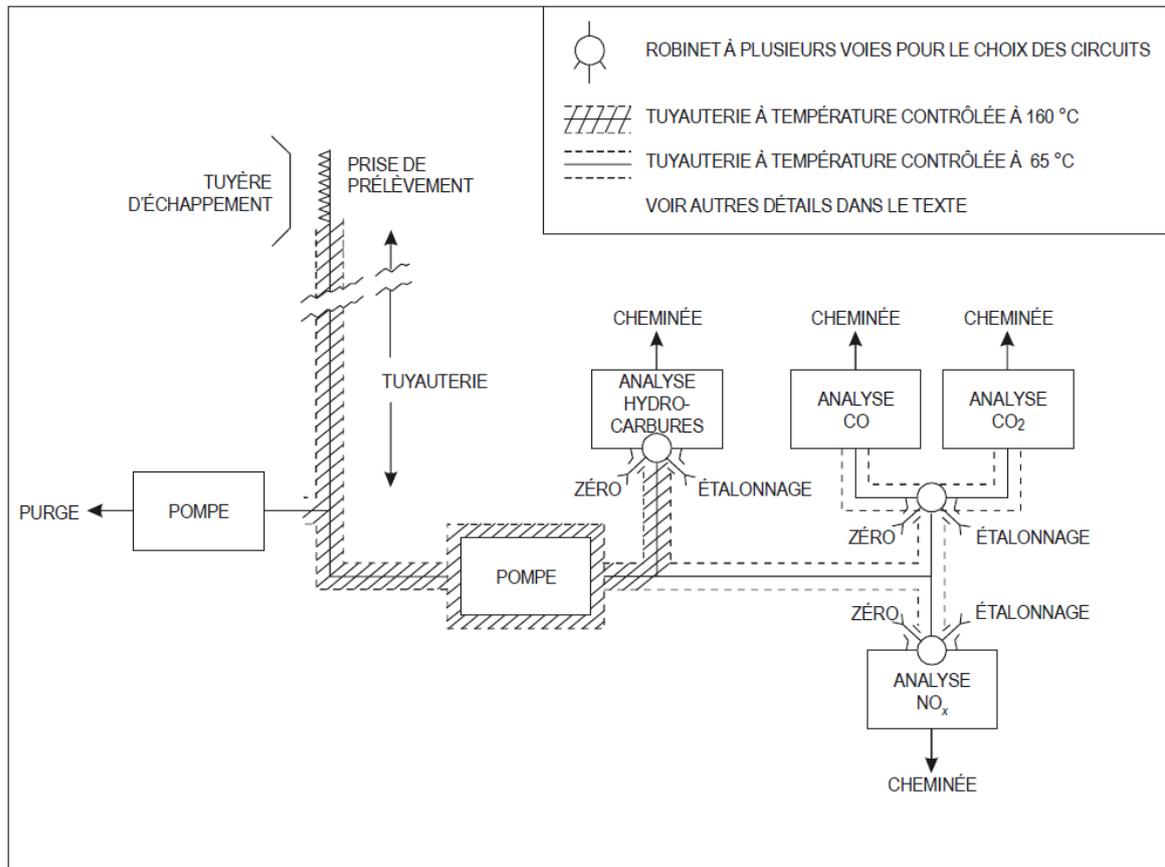


Figure A3-1. Schéma du dispositif de prélèvement et d'analyse

5. DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS

Note.- Nous donnons ci-après une description et une spécification générale des principaux éléments du dispositif de mesure des gaz d'échappement des moteurs. En cas de besoin, des détails complémentaires figurent dans les Suppléments A, B et C au présent appendice.

5.1 SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT

5.1.1. Sonde de prélèvement

La sonde de prélèvement répondra aux exigences suivantes :

- 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.
- Si une sonde de prélèvement multiple est utilisée, tous les orifices de prélèvement doivent

avoir le même diamètre. La sonde sera 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 sera 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 fournira au service 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 sera 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 sera maintenue à une température de $160\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$ avec une stabilité de $\pm 10\text{ °C}$, 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, CO₂ et NO_x. Cet embranchement sera maintenu à une température de $65\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$ (avec une stabilité de $\pm 10\text{ °C}$). Lorsque le prélèvement a pour objet de mesurer les éléments HC, CO, CO₂ et NO_x, la tuyauterie sera 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 sera 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 comprendra 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 dans le Supplément A au présent appendice.

5.3 ANALYSEURS DE CO ET DE CO₂

Pour la mesure de ces éléments on utilisera 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 comprendra 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 dans le Supplément B au présent appendice.

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 (O₃) ajouté. Le NO₂ sera 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 permettra des vérifications courantes de zéro et d'étalonnage ainsi que de rendement du convertisseur.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet dans le Supplément C au présent appendice.

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 de l'aviation civile. 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 au service 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 faudra vérifier que les réponses à l'oxygène du détecteur et les réponses différentielles aux hydrocarbures sont dans les limites précisées dans le Supplément A au présent appendice. Il faudra également vérifier l'efficacité du convertisseur NO₂/NO afin de s'assurer qu'elle est conforme au Supplément C au présent appendice.

6.2.3. La méthode de vérification du fonctionnement de chaque analyseur sera la suivante (en utilisant les gaz d'étalonnage et d'essai indiqués au Supplément D 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 CO₂ utilisés sous leur forme élémentaire sans linéarisation des résultats, on tracera 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 $\pm 1\text{ppm}^*$, si cette valeur est supérieure), une courbe d'étalonnage pour l'utilisation en exploitation doit être établie.

* Sauf pour l'analyseur de CO₂ pour lequel la valeur sera de ± 100 ppm.

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 faudra 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 dépassera pas 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.

6.3.2. La méthode à adopter pour l'exécution des mesures comprendra 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 polluants jusqu'à ce qu'on obtienne une lecture stabilisée qui sera 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 sera repris après avoir ramené l'instrument dans les limites spécifiées.

6.4. VÉRIFICATION DU RAPPORT AIR/CARBURANT

Chaque essai comprendra 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 porteront sur les concentrations 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 CAD. Les indices d'émission (IE) pour chaque gaz seront établis au moyen des calculs exposés au § 7.1.2 ou des méthodes de

remplacement définies au Supplément E au présent appendice. Pour tenir compte des écarts par rapport aux conditions atmosphériques de référence, les corrections indiquées au § 7.1.3 seront 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 CAD d'un moteur standard de référence dans les conditions du jour de référence seront établis au moyen des procédures décrites au § 7.2.

7.1.2. Paramètres fondamentaux

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

$$IE(\text{CO}) = \left(\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1 + T(P_0/m))$$

$$IE(\text{HC}) = \left(\frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1 + T(P_0/m))$$

$$IE(\text{NO}_x) \text{ (en NO}_2) = \left(\frac{[\text{NO}_x]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{NO}_2}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1 + T(P_0/m))$$

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

où

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

et

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x]) [\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$

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 =16,043g.

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

M_{NO_2} 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.
- [CO₂] concentration moyenne de CO₂ en volume à l'état humide
- [NO_x] concentration moyenne de NO_x en volume à l'état humide = [NO+NO₂].
- [NO] concentration moyenne de NO dans l'échantillon, en volume à l'état humide.
- [NO₂] concentration moyenne de NO₂ dans l'échantillon, en volume à l'état humide.

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

- [(NO_x)_c] concentration moyenne de NO dans l'échantillon après passage dans le convertisseur de NO₂ en NO, en volume, à l'état humide.
- η* efficacité du convertisseur de NO₂ 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* sera 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 utilisera les valeurs *x* = 1 et *y* = 4. Si l'on doit utiliser des mesures de CO et de CO₂ à l'état sec ou semi-humide, celles-ci seront d'abord converties en concentration équivalente à l'état humide comme il est indiqué au Supplément E au présent appendice qui contient également des formules de correction des interférences à utiliser en cas de besoin.

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 seront 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 sera 0,00634 kg d'eau/kg d'air sec.

Ainsi IE corrigé = $K \times$ 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 seront 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 $(T_{Bréf} - T_B) / T_B$ 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 :

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

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

$IE(NO_x) \text{ corrigé} = IE \text{ calculé à partir de la courbe de :}$

$IE(NO_x) (P_{Bréf} / P_B)^{0.5 \exp(19 [h_{masse} - 0,00634])}$ 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 NO_x , sera approuvée par l'Autorité de l'aviation civile.

7.2. PARAMÈTRES DE CONTRÔLE

$(D_p, F_{oo}, \text{et } \pi)$

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_m 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) seront déterminés pour chaque régime d'utilisation CAD. Un minimum de trois points d'essai sera nécessaire pour définir le régime de ralenti. Les relations suivantes seront déterminées dans les conditions atmosphériques de référence pour chaque émission gazeuse :

a) entre $IE(\text{corrigé})$ et T_B ;

b) entre W_f et T_B ;

c) entre F et T_B ;

Note 1. - 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 au service 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 (F_{00}) ;

b) le rapport de pression du moteur (π) à la poussée nominale maximale.

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

7.2.3 L'évaluation de IE (corrigé) pour chaque émission gazeuse aux quatre régimes d'utilisation CAD, 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 F_n correspondant aux quatre régimes d'utilisation CAD, n , dans les conditions atmosphériques de référence ;

b) à partir de la caractéristique $IE(\text{corrigé}) / T_B$ [Figure A3-2 a)],déterminer la valeur IE_n correspondant à T_B

c) à partir de la caractéristique W_f / T_B [Figure A3-2b)],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 A3-2 d)]

e) calculer pour chaque polluant $DP = \sum (IEn)(W_{fn})(t)$ 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 de l'aviation civile 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.

7.3. DÉROGATIONS À LA MÉTHODE PROPOSÉE

Dans les cas où la configuration du moteur ou toute autre condition empêcherait d'utiliser cette méthode, l'Autorité de l'aviation civile, après avoir reçu la preuve technique satisfaisante de l'équivalence des résultats obtenus par une autre méthode, peut approuver cette autre méthode.

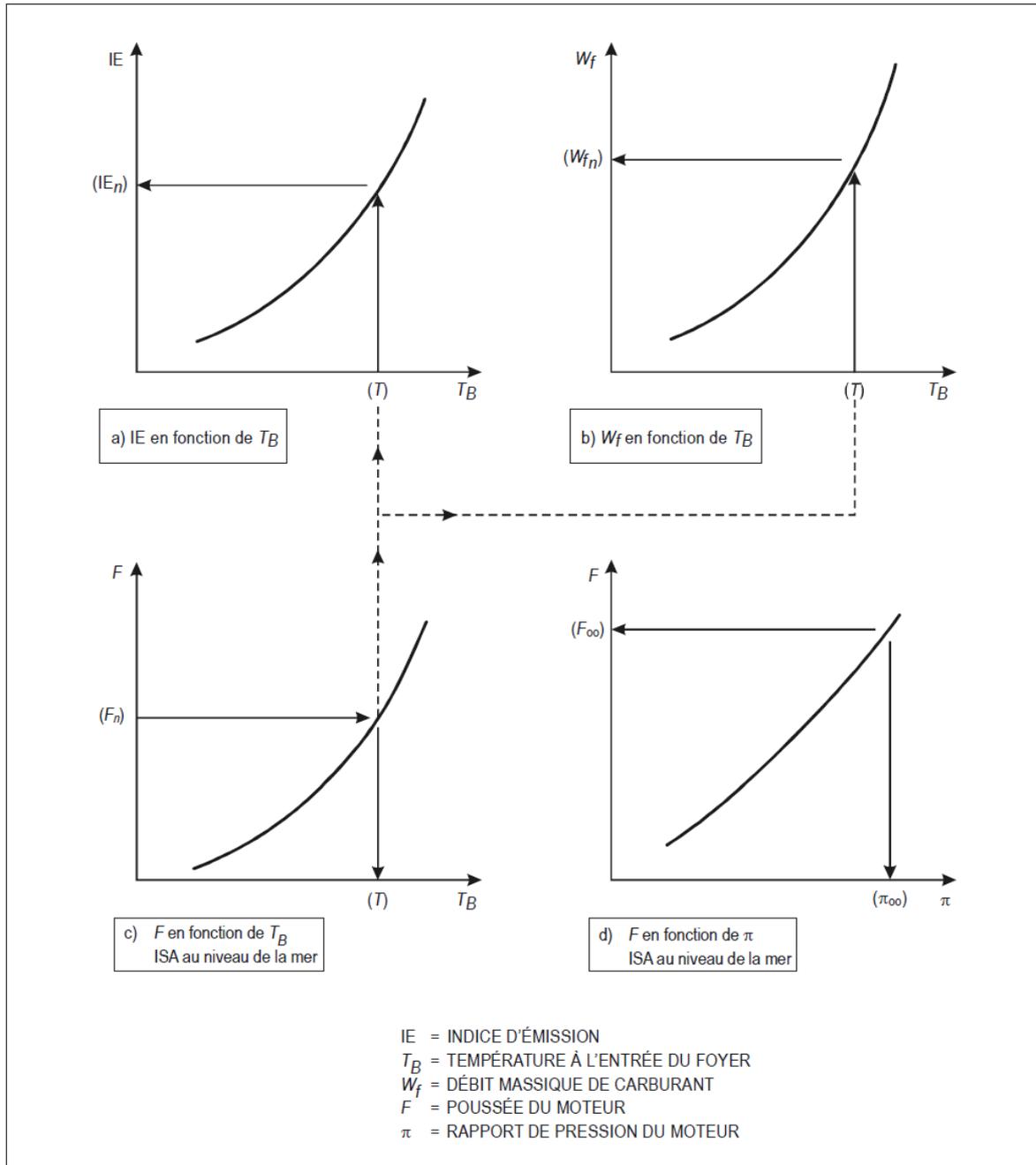


Figure A3-2. Méthode de calcul

SUPPLEMENT A À L'APPENDICE 3

SPÉCIFICATION DE L'ANALYSEUR D'HYDROCARBURES

Note 1.- Comme il est indiqué au § 5.2 de l'Appendice 3, 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 le Supplément D pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai

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 seront prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent seront prises.

L'instrument utilisé sera 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 seront 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:* supérieur à la plus grande des valeurs suivantes: 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 0,5 ppmC.
- c) *Reproductibilité:* supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou $\pm 0,5$ ppmC.
- d) *Stabilité:* supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ± 2 % de la déviation maximale utilisée ou ± 1 ppmC sur une période d'une heure.
- e) *Dérive du zéro:* inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou $\pm 0,5$ ppmC sur une période d'une heure.
- f) *Bruit de fond:* 0,5 Hz et plus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou $\pm 0,5$ ppmC



- g) *Temps de réponse*: ne dépassera pas 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.

2. EFFETS SECONDAIRES

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

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);

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 sera 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 %:

- 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 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 .



3. OBTENTION DE LA RÉPONSE OPTIMALE DU DÉTECTEUR ET RÉGLAGE

- 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 déterminera 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 évaluera ensuite la réponse à l'oxygène et la réponse différentielle aux hydrocarbures comme il est indiqué ci-dessus.
- 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 sera établie pour l'utilisation opérationnelle de l'analyseur.

SUPPLEMENT B À L'APPENDICE 3

SPÉCIFICATION DES ANALYSEURS DE CO ET DE CO₂

Note 1.- Au § 5.3 de l'Appendice 3 sont résumées les caractéristiques du dispositif d'analyse à employer pour la mesure des concentrations de CO et CO₂ 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 et/ou, de préférence, des filtres optiques.

Note 2.- Voir le Supplément D 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 seront prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent seront prises. Les principales spécifications de fonctionnement seront les suivantes:

Analyseur de CO

- a) *Gamme complète de valeurs: 0 à 2 500 ppm subdivisée en plages appropriées.*
- b) *Pouvoir séparateur: supérieur à la plus grande des valeurs suivantes: 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 1 ppm*
- c) *Reproductibilité: supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm.*
- d) *Stabilité: supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±2 % de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm sur une période d'une heure.*
- e) *Dérive du zéro: inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm sur une période d'une heure.*
- f) *Bruit de fond: 0,5 Hz et au-dessus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±1 ppm.*
- g) *Interférences: doivent être limitées par rapport à la concentration de CO indiquée de la*



Agence Nationale de l'Aviation Civile
du Togo

RANT 16 - PART 2
Protection de l'environnement
Emission des moteurs d'aviation
SUPPLEMENT B / APPENDICE 3

Page: **SUP** 59 de 110
Révision: 00
Date: 01/07/2015

façon suivante:

- 1) moins de 500 ppm pour une concentration d'éthylène de 1%;
- 2) moins de 2 ppm pour une concentration de CO₂ 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 CO₂ et/ou la vapeur d'eau ne peuvent pas être respectées, des facteurs de correction appropriés doivent être déterminés, signalés et appliqués.

Note.- Il est recommandé comme étant conforme aux pratiques admises que ces procédures de correction soient adoptées dans tous les cas.

Analyseur de CO₂

- a) *Gamme complète de valeurs:* 0 à 10 % subdivisée en plages appropriées.
- b) *Pouvoir séparateur:* supérieur à la plus grande des valeurs suivantes: 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 100 ppm.
- c) *Reproductibilité:* supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±100 ppm.
- d) *Stabilité:* supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±2 % de la déviation maximale utilisée ou ±100 ppm sur une période d'une heure.
- e) *Dérive du zéro:* inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±100 ppm sur une période d'une heure.
- f) *Bruit de fond:* 0,5 Hz et au-dessus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±100 ppm.
- g) L'effet de l'oxygène (O₂) sur la réponse de l'analyseur de CO₂ sera vérifié. Si la teneur en O₂ passe de 0 % O₂ à 21 % O₂, la réponse d'une concentration donnée de CO₂ ne doit pas varier de plus de 2 % de la lecture. Si cette limite ne peut être respectée, un coefficient de correction approprié sera appliqué.

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

Analyseurs de CO et de CO₂

- 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 CO₂ 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 vérifiera 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 sera 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 établira 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 seront employés au besoin pour bien définir la forme de la courbe.

SUPPLEMENT C À L'APPENDICE 3

SPÉCIFICATION DE L'ANALYSEUR D'OXYDES D'AZOTE

Note.- Voir le Supplément D pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

1. Comme il est indiqué au § 5.4 de l'Appendice 3, la mesure de la concentration des oxydes d'azote sera 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 faudra consigner à la fois la concentration de NO originale et la concentration totale de NO_x. On obtiendra ensuite la concentration de NO₂ par différence.
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 seront des matériaux inattaquables par les oxydes d'azote, tels que de l'acier inoxydable, du verre, etc. La température de l'échantillon sera 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 seront prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent seront prises.
3. Les principales spécifications de fonctionnement, déterminées pour un instrument utilisé dans une température ambiante stable à $\pm 2^\circ\text{C}$ près, seront les suivantes :
 - a) *Gamme complète de valeurs :* 0 à 2 500 ppm subdivisée en plages appropriées.
 - b) *Pouvoir séparateur :* supérieur à la plus grande des valeurs suivantes : 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 1 ppm.
 - c) *Reproductibilité :* supérieure à la plus grande des valeurs suivantes : ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou ± 1 ppm.
 - d) *Stabilité :* supérieure à la plus grande des valeurs suivantes : ± 2 % de la déviation maximale utilisée ou ± 1 ppm sur une période d'une heure.

- e) *Dérive du zéro* : inférieure à la plus grande des valeurs suivantes : ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou ± 1 ppm sur une période d'une heure.
- f) *Bruit de fond* : 0,5 Hz et au-dessus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou ± 1 ppm 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.

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*: supérieure à la plus grande des deux valeurs suivantes: ± 2 % de la déviation maximale utilisée ou ± 2 ppm.
- j) *Convertisseur* : le convertisseur sera conçu et utilisé de façon à convertir le NO_2 présent dans l'échantillon en NO. Le convertisseur ne modifiera pas le NO qui se trouvait à l'origine dans l'échantillon.

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

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

SUPPLEMENT D À L'APPENDICE 3

GAZ D'ÉTALONNAGE ET D'ESSAI

TABLEAU DES GAZ D'ÉTALONNAGE

<i>Analyseur</i>	<i>Gaz</i>	<i>Précision *</i>
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**
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.

TABLEAU DES GAZ D'ESSAI

<i>Analyseur</i>	<i>Gaz</i>	<i>Précision *</i>
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 %
NO _x	NO dans l'azote zéro	±1 %

*Prise dans l'intervalle de confiance de 95 %



Les gaz ci-dessus sont requis pour effectuer les essais mentionnés dans les Suppléments A, B et C.

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.

Le gaz zéro spécifié pour l'analyseur de CO, CO₂ et d'hydrocarbures sera 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 sera 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 CO₂

1 ppm de NO_x

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



SUPPLEMENT E À L'APPENDICE 3

CALCUL DES PARAMÈTRES D'ÉMISSION - 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 $\times 10^3$
- 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,
 $= (32R + 28,1564S + 44,011T) \text{ g}$
- 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_{NO_2} 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_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
- P_0 nombre de moles d'air par mole de carburant dans le mélange initial air/carburant
- Z symbole utilisé et défini au § 3.4
- $[\text{CO}_2]$ concentration moyenne de CO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume
- $[\text{CO}]$ concentration moyenne de CO dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume
- $[\text{HC}]$ concentration moyenne d'hydrocarbures dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume
- $[\text{NO}]$ concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume
- $[\text{NO}_2]$ concentration moyenne de NO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume
- $[\text{NO}_x]$ concentration moyenne de NO + NO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement en volume
- $[\text{NO}_x]_c$ concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO_2 en NO, en volume

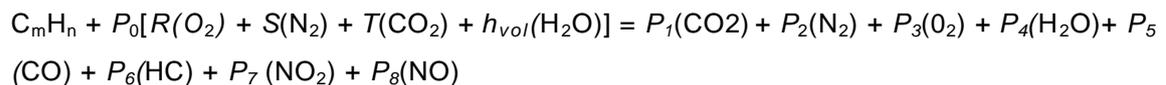
$$[\text{NO}_2] \text{ Valeur moyenne} = \frac{([\text{NO}_x]_c - [\text{NO}])}{\eta}$$



- []_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 NO₂ 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:



équation dont on peut, par définition, déduire les paramètres nécessaires :

$$IE(CO) = P_5 \left(\frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right)$$

$$IE(HC) = xP_6 \left(\frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ exprimé en équivalent de méthane}$$

$$IE(NO_x) = (P_7 + P_8) \left(\frac{10^3 M_{NO_2}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ exprimé en équivalent de NO}_2$$

$$RAC = P_0 \left(\frac{M_{AIR}}{mM_C + nM_H} \right)$$



- 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 (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 de l'aviation civile.
- 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 :

$$m + TP_o = P_1 + P_5 + xP_6 \dots\dots\dots (1)$$

$$n + 2 h_{vol} P_o = 2P_4 + yP_6 \dots\dots\dots (2)$$

$$(2R + 2T + h_{vol}) P_o = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \dots\dots\dots (3)$$

$$2SP_o = 2P_2 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (4)$$

$$[CO_2] P_T = P_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$[CO] P_T = P_5 \dots\dots\dots (6)$$

$$[HC] P_T = xP_6 \dots\dots\dots (7)$$

$$[NO_x]_C P_T = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8)$$

$$[NO] P_T = P_8 \dots\dots\dots (9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (10)$$

L'ensemble d'équations conditionnelles ci-dessus 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 CO₂ 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 CO₂ et de H₂O 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 :

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$\text{et } [NO_x]_C = [NO_x]_{cm} (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

équation qui transforma les équations (6), (8) et (9) de la manière suivante lorsque les effets d'interférence doivent être corrigés:

$$[CO]_m P_T + LP_1 + MP_4 = P_5 \dots\dots\dots(6A)$$

$$[NO_x]_{cm} (P_T + L'P_1 + M'P_4) = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots(8A)$$

$$[NO]_m (P_T + L'P_1 + M'P_4) = P_8 \dots\dots\dots(9A)$$

2.6 La possibilité de mesurer les concentrations de CO₂ 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:

$$[CO_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots\dots\dots(5A)$$

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 :

$$[CO]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + LP_1 + Mh_d (P_T - P_4) = P_5 \dots\dots\dots(6B)$$

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. 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 CO₂ 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 .



3.2. ÉQUATION DE CONVERSION DES MESURES DE CONCENTRATION A L'ÉTAT SEC EN MESURES DE CONCENTRATION À L'ÉTAT HUMIDE

Concentration humide = $K \times$ concentration à sec, c'est-à-dire :

$$[] = K []_d$$

L'expression suivante qui donne K s'applique lorsque les concentrations de CO et de CO₂ sont déterminées sur échantillon sec :

$$K = \frac{\left\{ 4 + (n/m)T + \left(\left[\frac{n}{m} \right] T - 2h_{\text{vol}} \right) \left(\left[\text{NO}_2 \right] - (2[\text{HC}]/x) \right) + (2 + h_{\text{vol}}) \left(\left[\frac{y}{x} \right] - \left[\frac{n}{m} \right] \right) [\text{HC}] \right\} (1 + h_d)}{(2 + h) \left\{ 2 + (n/m) (1 + h_d) \left(\left[\text{CO}_2 \right]_d + \left[\text{CO} \right]_d \right) \right\} - \left(\left[\frac{n}{m} \right] T - 2h \right) (1 - [1 + h_d] [\text{CO}]_d)}$$

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 CO₂ 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:

$$[\text{CO}] = [\text{CO}]_m + L[\text{CO}_2] + M[\text{H}_2\text{O}]$$

$$[\text{CO}]_d = [\text{CO}]_{m,d} + L[\text{CO}_2]_d + M \left(\frac{h_d}{1 + h_d} \right)$$

$$[\text{NO}] = [\text{NO}]_m (1 + L'[\text{CO}_2] + M'[\text{H}_2\text{O}])$$

$$\eta[\text{NO}_2] = \left([\text{NO}_2]_{cm} - [\text{NO}]_m \right) (1 + L'[\text{CO}_2] + M'[\text{H}_2\text{O}])$$

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 :

$$[\text{H}_2\text{O}] = \frac{\left(\left[\frac{n}{2m} \right] + h_{\text{vol}} \left[\frac{P_0}{m} \right] \right) \left(\left[\text{CO}_2 \right] + \left[\text{CO} \right] + \left[\text{HC} \right] \right)}{1 + T \left(\frac{P_0}{m} \right)} - (y/2x) [\text{HC}]$$

où

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

et

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - \left(\left[\frac{2}{x} \right] - \left[\frac{y}{2x} \right] \right) [\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{\left[\text{CO}_2 \right] + \left[\text{CO} \right] + \left[\text{HC} \right]}$$



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.

SUPPLEMENT F À L'APPENDICE 3

SPÉCIFICATIONS DE DONNÉES SUPPLÉMENTAIRES

Comme il est spécifié au § 3.2 de l'Appendice 3, en plus des concentrations mesurées des éléments de l'échantillon, il faudra 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 $\pm 0,5$ °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) $\pm 0,000317$ 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 $\pm 0,5$ % ;
 - 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 a), b), d) et f) seront déterminés pour chaque régime moteur de l'essai d'émissions tandis que le paramètre c) sera déterminé à des intervalles ne dépassant pas une heure pendant la durée des essais d'émissions.



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 de l'aviation civile. 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 (en °C)	
Température de tête (10 %)	155 – 201
Température finale de queue	235 – 285
Chaleur nette de combustion (en MJ/kg)	42,86 – 43,50
Pourcentage en volume des carburants aromatiques	15 – 23
Pourcentage en volume des naphthalènes	1,0 – 3,5
Point de fumée (en mm)	20 – 28
Pourcentage d'hydrogène (en masse)	13,4 – 14,3
Pourcentage de soufre (en masse)	moins de 0,3 %
Viscosité cinématique à –20 °C (en 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 sera spécifiée lorsqu'on en aura trouvée une. En attendant, toute méthode de correction appliquée aux moteurs avec postcombustion pourra être utilisée si elle est approuvée par l'Autorité de l'aviation civile.

Des variations de la méthode recommandée dans le présent appendice ne seront autorisées qu'après approbation par l'Autorité de l'aviation civile.

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 le 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 déterminera 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 (CO₂).

Note.- Le CO₂ 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 procédera à une estimation de la somme de deux oxydes, le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂).

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 seront 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 Supplément F au présent appendice.

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 faudra 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 dépendra 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 seront 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.

5. DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS

Note.- Nous donnons ci-après une description et une spécification générale des principaux éléments du dispositif de mesure des gaz d'échappement des moteurs. En cas de besoin, des détails complémentaires figurent dans les Suppléments A, B et C au présent 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 seront pas 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 sera pas 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 sera égal à au moins quatre diamètres de sortie de la tuyère et dont l'axe sera 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, sera divisé en trois parties délimitées par des circonférences centrées sur l'axe du panache et dont les rayons sont respectivement :

$$R1 = 0,05X$$

$$R2 = 0,09X$$

et un minimum de trois échantillons sera 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 sera prélevé à une distance de l'axe comprise entre $0,11X$ et $0,16X$.

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, CO₂ et NO_x, la tuyauterie sera 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 sera 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 comprendra 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 dans le Supplément A au présent appendice.

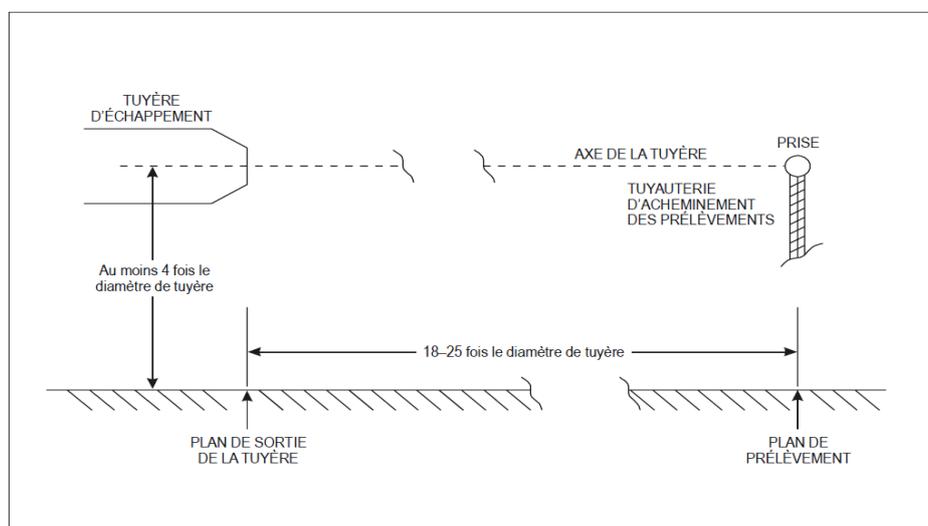


Figure A5-1. Schéma du dispositif de prélèvement des gaz d'échappement

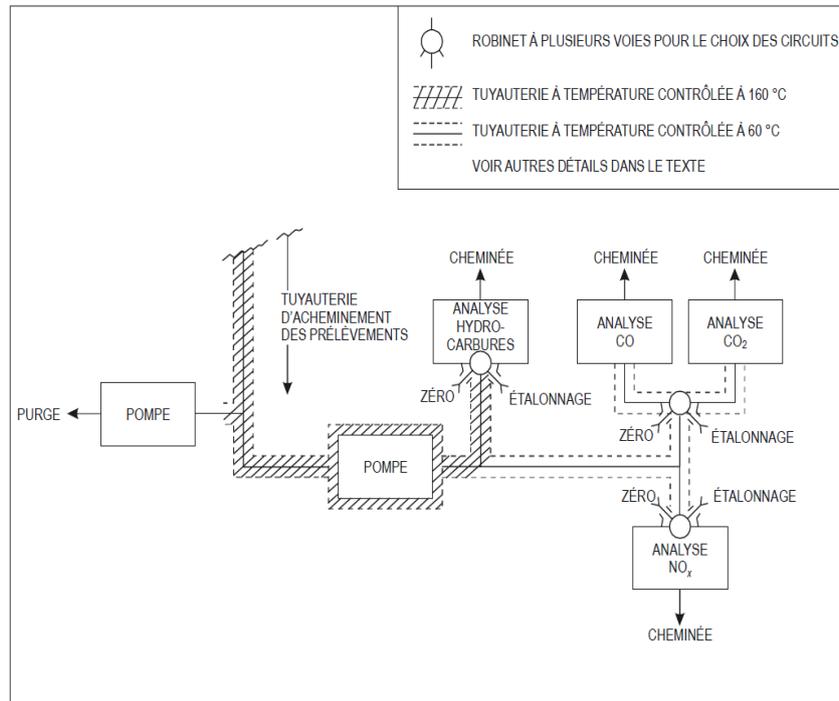


Figure A5-2. Schéma du dispositif d'acheminement et d'analyse

5.3 ANALYSEURS de CO et de CO₂

Pour la mesure de ces éléments on utilisera 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 comprendra 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 dans le Supplément B au présent appendice.

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 (O₃) ajouté. Le NO₂ 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 permettra des vérifications courantes de zéro et d'étalonnage ainsi que de rendement du convertisseur.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet dans le Supplément C au présent appendice.

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 de l'aviation civile. Le moteur doit être stabilisé à chaque régime.

6.2 CONDITIONS ATMOSPHERIQUES AMBIANTES

6.2.1 On vérifiera les concentrations de l'air ambiant en CO, HC, CO₂ et NO_x, 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 faudra corriger ou éviter, selon le cas.

Note.— À titre indicatif, la concentration normale ambiante est de 0,03 % pour le CO₂, 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 NO_x soient dépassés dans les conditions ambiantes normales.

6.2.2 Il faudra 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 au service 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 faudra vérifier que les réactions à l'oxygène du détecteur et les réactions différentielles aux hydrocarbures sont dans les limites précisées dans le Supplément A au présent appendice. Il faudra également vérifier l'efficacité du convertisseur NO₂/NO afin de s'assurer qu'elle est conforme au Supplément C au présent appendice

6.3.3 La méthode de vérification du fonctionnement de chaque analyseur sera la suivante (en utilisant les gaz d'étalonnage et d'essai indiqués au Supplément D 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 CO₂ utilisés sous leur forme élémentaire sans linéarisation des résultats, on tracera 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 CO₂, pour lequel la valeur sera de ± 100 ppm.

6.4 EXÉCUTION DES MESURES

6.4.1 Aucune mesure ne sera 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 faudra 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 dépassera pas 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 comprendra 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 sera 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.

7. CALCULS

7.1 ÉMISSIONS GAZEUSES

7.1.1 . Généralités

Les mesures d'analyse effectuées porteront 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 consignera ces paramètres de base, et on calculera et consignera 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 :

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

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 ;
 $C_{i\text{ moy}}$ 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 Supplément E au présent appendice).

- b) La qualité des mesures pour chaque polluant sera déterminée au moyen d'une comparaison avec les mesures de CO₂ en utilisant le coefficient de corrélation suivant :

$$r_i = \frac{n \sum_{j=1}^n C_{ij} \text{CO}_{2j} - \sum_{j=1}^n C_{ij} \sum_{j=1}^n \text{CO}_{2j}}{\sqrt{\left\{ \left[n \sum_{j=1}^n (\text{CO}_{2j})^2 - \left(\sum_{j=1}^n \text{CO}_{2j} \right)^2 \right] \left[n \sum_{j=1}^n C_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n C_{ij} \right)^2 \right] \right\}}}$$

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 E au présent appendice. Ces concentrations moyennes sont utilisées pour calculer les paramètres fondamentaux ci-après :

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



$$IE(\text{CO}) = \left(\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_C + (n/m)M_H} \right) (1+T(P_0/m))$$

$$IE(\text{HC}) = \left(\frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_C + (n/m)M_H} \right) (1+T(P_0/m))$$

$$\frac{IE(\text{NO}_x)}{(\text{en NO}_2)} = \left(\frac{[\text{NO}_x]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{NO}_2}}{M_C + (n/m)M_H} \right) (1+T(P_0/m))$$

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

où

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

et

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x]) [\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$

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

$$\text{CH}_4 = 16,043 \text{ g}$$

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

M_{NO_2} masse moléculaire du NO₂ = 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.

[CO₂] concentration moyenne de CO₂ en volume à l'état humide

- [NO_x] concentration moyenne de NO_x en volume à l'état humide =[NO+NO₂]
[NO] concentration moyenne de NO dans l'échantillon, en volume à l'état humide.
[NO₂] concentration moyenne de NO₂ dans l'échantillon, en volume à l'état humide

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

- [(NO_x)_c] concentration moyenne de NO dans l'échantillon après passage dans le convertisseur de NO₂ en NO, en volume, à l'état humide
 η efficacité du convertisseur de NO₂ 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 sera 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 utilisera les valeurs $x = 1$ et $y = 4$. Si l'on doit utiliser des mesures de CO et de CO₂ à l'état sec ou semi-humide, celles-ci seront d'abord converties en concentration équivalente à l'état humide comme il est indiqué au Supplément E au présent appendice 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 du service de certification.

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

Des corrections des indices d'émission mesurés seront 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 sera 0,00634 kg d'eau/kg d'air sec.

Ainsi IE corrigé = $K \times$ IE mesuré

où K représente l'expression généralisée suivante:

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

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 seront 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 $(|T_{Bréf} - T_B|/c)$ 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, sera approuvée par l'Autorité de l'aviation civile.

7.2 PARAMÈTRES DE CONTRÔLE (D_p , F_{00} , 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_{00} 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 le service 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, seront 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 sera nécessaire pour définir le régime de ralenti. Les relations suivantes seront 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 de l'aviation civile comme étant représentatif du type de moteur pour lequel la certification est demandée.

Le constructeur fournira également au service 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 :

d) la poussée nominale maximale (F_{00}) ;

e) le rapport de pression du moteur (π) à la poussée nominale maximale.

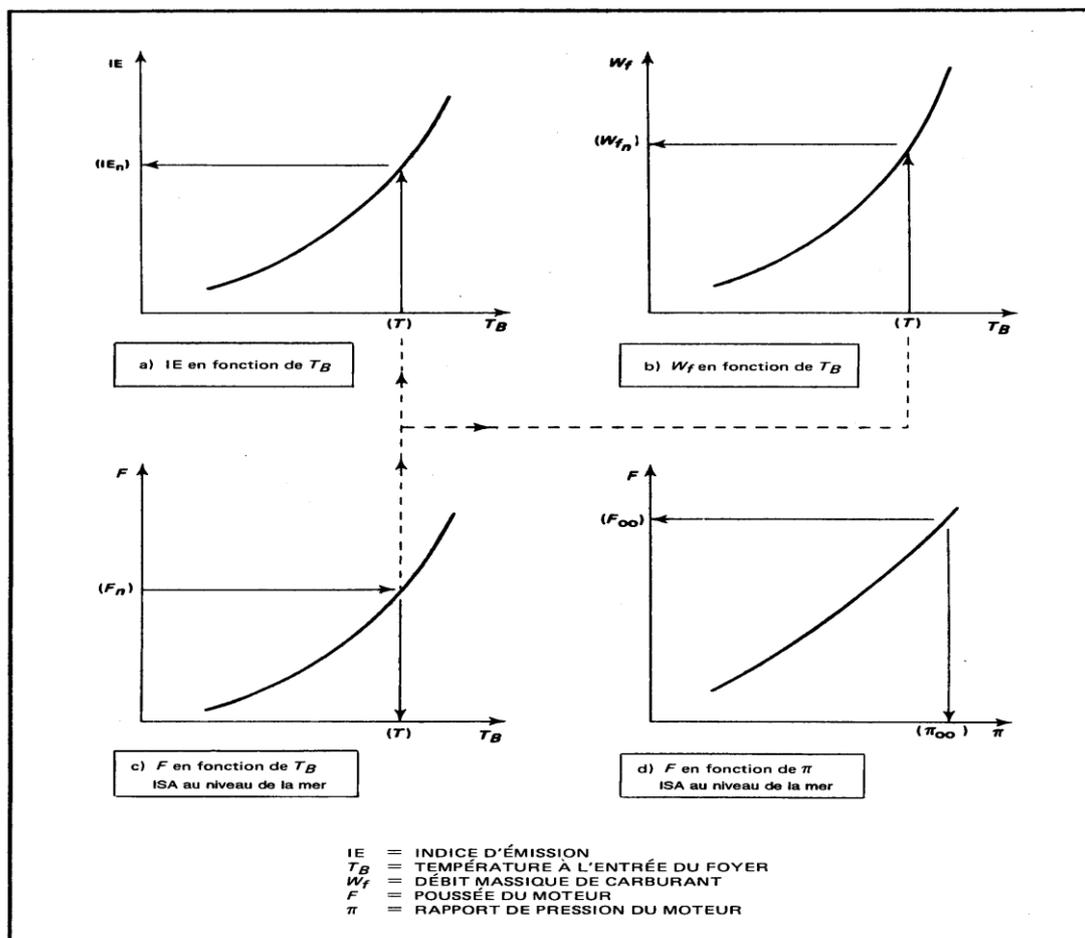


Figure A5-3 . Méthode de Calcul

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, sera 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 $D_P = \sum (IE_n)(W_{fn})(t)$ 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 de l'aviation civile 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.

7.3 DÉROGATIONS À LA MÉTHODE PROPOSÉE.

Dans les cas où la configuration du moteur ou toute autre condition empêcherait d'utiliser cette méthode, l'Autorité de l'aviation civile, après avoir reçu la preuve technique satisfaisante de l'équivalence des résultats obtenus par une autre méthode, peut approuver cette autre méthode.



SUPPLEMENT A À L'APPENDICE 5

SPÉCIFICATION DE L'ANALYSEUR D'HYDROCARBURES

Note 1. - Comme il est indiqué au § 5.2 de l'Appendice 5, 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 le Supplément D pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

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 seront prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent seront prises.

L'instrument utilisé sera 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 seront 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:* supérieur à la plus grande des valeurs suivantes: 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 0,5 ppmC.
- c) *Reproductibilité:* supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou $\pm 0,5$ ppmC.
- d) *Stabilité:* supérieure à la plus grande des valeurs suivantes:
 ± 2 % de la déviation maximale utilisée ou ± 1 ppmC sur une période d'une heure.
- e) *Dérive du zéro:* inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou $\pm 0,5$ ppmC sur une période d'une heure.
- f) *Bruit de fond:* 0,5 Hz et plus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou $\pm 0,5$ ppmC.

- g) *Temps de réponse*: ne dépassera pas 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.

2. EFFETS SECONDAIRES

Note.- Dans l'application de cette méthode, deux phénomènes peuvent influencer 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 sera 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 .



3. OBTENTION DE LA RÉPONSE OPTIMALE DU DÉTECTEUR ET RÉGLAGE

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 déterminera 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 évaluera ensuite la réponse à l'oxygène et la réponse différentielle aux hydrocarbures comme il est indiqué ci-dessus.

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 sera établie pour l'utilisation opérationnelle de l'analyseur.

SUPPLEMENT B À L'APPENDICE 5

SPÉCIFICATION DES ANALYSEURS DE CO ET DE CO₂

Note 1.- Au § 5.3 de l'Appendice 5 sont résumées les caractéristiques du dispositif d'analyse à employer pour la mesure des concentrations de CO et CO₂ 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 et/ou, de préférence, des filtres optiques.

Note 2.- Voir le Supplément D 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 seront prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent seront prises.

Les principales spécifications de fonctionnement seront les suivantes:

Analyseur de CO

- a) *Gamme complète de valeurs : 0 à 2 500 ppm subdivisée en plages appropriées.*
- b) *Pouvoir séparateur: supérieur à la plus grande des valeurs suivantes: 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 1 ppm.*
- c) *Reproductibilité : supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm.*
- d) *Stabilité : supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±2 % de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm sur une période d'une heure.*
- e) *Dérive du zéro : inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm sur une période d'une heure.*
- f) *Bruit de fond : 0,5 Hz et au-dessus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±1 ppm.*



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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂

- a) *Gamme complète de valeurs* : 0 à 10 % subdivisée en plages appropriées.
- b) *Pouvoir séparateur* : supérieur à la plus grande des valeurs suivantes : 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 100 ppm.
- c) *Reproductibilité* : supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou ± 100 ppm.
- d) *Stabilité* : supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ± 2 % de la déviation maximale utilisée ou ± 100 ppm sur une période d'une heure
- e) *Dérive du zéro* : inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou ± 100 ppm sur une période d'une heure.
- f) *Bruit de fond* : 0,5 Hz et au-dessus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou ± 100 ppm.
- g) L'effet de l'oxygène (O₂) sur la réponse de l'analyseur de CO₂ sera vérifié. Si la teneur en O₂ passe de 0% O₂ à 21 % O₂, la réponse d'une concentration donnée de CO₂ ne doit pas varier de plus de 2 % de la lecture. Si cette limite ne peut être respectée, un coefficient de correction approprié sera appliqué.

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

Analyseurs de CO et de CO₂

- 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 CO₂ 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 vérifiera 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 sera 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 établira 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 seront employés au besoin pour bien définir la forme de la courbe.

SUPPLEMENT C À L'APPENDICE 5

SPÉCIFICATION DE L'ANALYSEUR D'OXYDES D'AZOTE

Note. - Voir le Supplément D pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

1. Comme il est indiqué au § 5.4 de l'Appendice 5, la mesure de la concentration des oxydes d'azote sera 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 faudra consigner à la fois la concentration de NO originale et la concentration totale de NO_x. On obtiendra ensuite la concentration de NO₂ par différence.
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 seront des matériaux inattaquables par les oxydes d'azote, tels que de l'acier inoxydable, du verre, etc. La température de l'échantillon sera 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 seront prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent seront prises.
3. Les principales spécifications de fonctionnement, déterminées pour un instrument utilisé dans une température ambiante stable à ± 2 °C près, seront les suivantes :
 - a) *Gamme complète de valeurs :* 0 à 2 500 ppm subdivisée en plages appropriées.
 - b) *Pouvoir séparateur :* supérieur à la plus grande des valeurs suivantes: 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 1 ppm.
 - c) *Reproductibilité :* supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou ± 1 ppm.
 - d) *Stabilité :* supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: 2 % de la déviation maximale utilisée ou ± 1 ppm sur une période d'une heure.
 - e) *Dérive du zéro :* inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou 1 ppm sur une période d'une heure.

- f) *Bruit de fond* : 0,5 Hz et au-dessus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes : ± 1 % de la déviation maximale utilisée ou ± 1 ppm 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 CO_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* : supérieure à la plus grande des deux valeurs suivantes: ± 2 % de la déviation maximale utilisée ou ± 2 ppm.
- j) *Convertisseur* : le convertisseur sera conçu et utilisé de façon à convertir le NO_2 présent dans l'échantillon en NO. Le convertisseur ne modifiera pas le NO qui se trouvait à l'origine dans l'échantillon.

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

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

SUPPLEMENT D À L'APPENDICE 5

GAZ D'ÉTALONNAGE ET D'ESSAI

Tableau des gaz d'étalonnage

<i>Analyseur</i>	<i>Gaz</i>	<i>Précision *</i>
HC	propane dans l'air zéro	$\pm 2 \%$ ou $\pm 0,05 \text{ ppm}^{**}$
CO ₂	CO ₂ dans l'air zéro	$\pm 2\%$ ou $\pm 100 \text{ ppm}^{**}$
CO	CO dans l'air zéro	$\pm 2 \%$ ou $\pm 2 \text{ ppm}^{**}$
NO _x	NO _x dans l'azote zéro	$\pm 2 \%$ ou $\pm 1 \text{ ppm}^{**}$

* 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

Tableau des gaz d'essai

<i>Analyseur</i>	<i>Gaz</i>	<i>Précision *</i>
HC	propane dans un mélange d'oxygène et d'azote zéro contenant 10 % $\pm 1 \%$ d'oxygène	$\pm 1 \%$
HC	propane dans un mélange d'oxygène et d'azote zéro contenant 21 % $\pm 1 \%$ d'oxygène	$\pm 1 \%$
HC	propylène dans l'air zéro	$\pm 1 \%$
HC	toluène dans l'air zéro	$\pm 1 \%$
HC	n-hexane dans l'air zéro	$\pm 1 \%$
HC	propane dans l'air zéro	$\pm 1 \%$
CO ₂	CO ₂ dans l'air zéro	$\pm 1 \%$
CO ₂	CO ₂ dans l'azote zéro	$\pm 1 \%$
CO	CO dans l'air zéro	$\pm 1 \%$
NO _x	NO dans l'azote zéro	$\pm 1 \%$

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



Les gaz ci-dessus sont requis pour effectuer les essais mentionnés dans les Suppléments A, B et C.

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.

Le gaz zéro spécifié pour l'analyseur de CO, CO₂ et d'hydrocarbures sera 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 sera 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 CO₂
- 1 ppm de NO_x

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

SUPPLEMENT E À L'APPENDICE 5

CALCUL DES PARAMÈTRES D'ÉMISSION - 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 $\times 10^3$
- 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,
$$=(32R+28,1564S+44,011T)g$$
- 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
- P₁* nombre de moles de CO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant.
- P₂* nombre de moles de N_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant
- P₃* nombre de moles de O_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant
- P₄* nombre de moles de H_2O dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant
- P₅* nombre de moles de CO dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant
- P₆* nombre de moles de HC dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant
- P₇* nombre de moles de NO_2 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant
- P₈* 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

P_O nombre de moles d'air par mole de carburant dans le mélange initial air/carburant

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

$[NO_2]$ 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

$$[NO_2] \text{ Valeur moyenne} = \frac{([NO_X]_C - [NO])}{\eta}$$

$[]_d$ 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

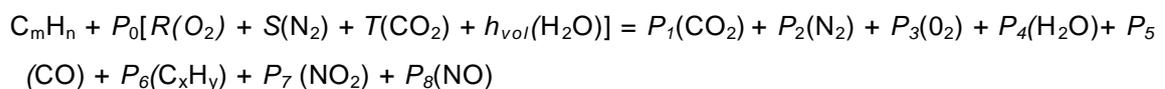
x nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique des hydrocarbures des gaz d'échappement



- 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:



équation dont on peut, par définition, déduire les paramètres nécessaires :

$$IE(CO) = P_5 \left(\frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right)$$

$$IE(HC) = xP_6 \left(\frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ exprimé en équivalent de méthane}$$

$$IE(NO_x) = (P_7 + P_8) \left(\frac{10^3 M_{NO_2}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ exprimé en équivalent de } NO_2$$

$$RAC = P_0 \left(\frac{M_{AIR}}{mM_C + nM_H} \right)$$

- 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 (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 de l'aviation civile.
- 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 :

$$m + TP_o = P_1 + P_5 + xP_6 \dots\dots\dots(1)$$

$$n + 2hP_o = 2P_4 + yP_6 \dots\dots\dots(2)$$

$$(2R + 2T + h_{vol}) P_o = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \dots\dots\dots(3)$$

$$2SP_o = 2P_2 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots(4)$$

$$[CO_2] P_T = P_1 \dots\dots\dots(5)$$

$$[CO] P_T = P_5 \dots\dots\dots(6)$$

$$[HC] P_T = xP_6 \dots\dots\dots(7)$$

$$[NO_x]_C P_T = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots(8)$$

$$[NO] P_T = P_8 \dots\dots\dots(9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots(10)$$

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 CO₂ 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 CO₂ et de H₂O 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 :

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$\text{et } [NO_x]_C = [NO_x]_{cm} (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

équation qui transforma les équations (6), (8) et (9) de la manière suivante lorsque les effets d'interférence doivent être corrigés:

$$[CO]_m P_T + LP_1 + MP_4 = P_5 \dots\dots\dots(6A)$$

$$[NO_x]_{cm} (P_T + L'P_1 + M'P_4) = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots(8A)$$

$$[NO]_m (P_T + L'P_1 + M'P_4) = P_8 \dots\dots\dots(9A)$$



2.6 La possibilité de mesurer les concentrations de CO₂ 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:

$$[\text{CO}_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots \dots \dots (5A)$$

et

$$[\text{CO}]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5$$

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 :

$$[\text{CO}]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + LP_1 + Mh_d (P_T - P_4) = P_5 \dots \dots \dots (6B)$$

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. 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 CO₂ 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.

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 CO₂ sont déterminées sur échantillon sec :

$$K = \frac{\{4 + (n/m)T + ([n/m]T - 2h_{vol}) ([\text{NO}_2] - (2[\text{HC}]/x)) + (2 + h_{vol}) ([y/x] - [n/m]) [\text{HC}]\} (1 + h_d)}{(2 + h_{vol}) \{2 + (n/m) (1 + h_d) ([\text{CO}_2]_d + [\text{CO}]_d)\} - ([n/m]T - 2h_{vol}) (1 - [1 + h_d] [\text{CO}]_d)}$$

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 CO₂ 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 :

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO_2]_d + M \left(\frac{h_d}{1 + h_d} \right)$$

$$[NO] = [NO]_m (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

$$\eta[NO_2] = ([NO_x]_{cm} - [NO]_m) (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

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 :

$$[H_2O] = \frac{([n/2m] + h_{vol}[P_0/m]) ([CO_2] + [CO] + [HC])}{1 + T(P_0/m)} - (y/2x) [HC]$$

ou

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

et

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

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.

SUPPLEMENT F À L'APPENDICE 5

SPÉCIFICATIONS DE DONNÉES SUPPLÉMENTAIRES

Comme il est spécifié au § 3.2 de l'Appendice 5, en plus des concentrations mesurées des éléments de l'échantillon, il faudra 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 $\pm 0,5$ °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 $\pm 0,5$ % ;
 - 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 a), b), d) et f) seront déterminés pour chaque régime moteur de l'essai d'émissions tandis que le paramètre c) sera déterminé à des intervalles ne dépassant pas une heure pendant la durée des essais d'émissions.

 <p>Agence Nationale de l'Aviation Civile du Togo</p>	<p>RANT 16 - PART 2 Protection de l'environnement Emission des moteurs d'aviation APPENDICE 6</p>	<p>Page: APP 108 de 110 Révision: 00 Date: 01/07/2015</p>
---	--	--

APPENDICE 6

PROCÉDURE DE DÉMONSTRATION DE LA CONFORMITÉ POUR LES ÉMISSIONS DE GAZ ET DE FUMÉE.

1. GÉNÉRALITÉS

Les principes généraux suivants seront respectés pour démontrer la conformité aux niveaux maximaux admissibles stipulés aux § 2.2, 2.3, 3.2 et 3.3 de la Partie 3.

- a) Le constructeur sera autorisé à choisir pour les essais de certification un nombre quelconque de moteurs, même un seul moteur, s'il le désire.
- b) L'Autorité de l'aviation civile tiendra compte de tous les résultats obtenus au cours des essais de certification.
- c) Trois essais de moteur au moins seront 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 est essayé plusieurs fois, la valeur moyenne des résultats des essais sera considérée comme étant la valeur moyenne pour ce moteur. Le résultat des essais de certification (X) sera alors la moyenne des valeurs (X_i) obtenue pour chaque moteur essayé.
- e) Le constructeur fournira au service de certification les renseignements spécifiés au § 2.4 ou 3.4 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 répondra 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 sera 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 de l'aviation civile. Les méthodes de correction des résultats d'essai pour les effets de l'air ambiant seront celles qui sont indiquées au § 7 de l'Appendice 3 ou au § 7 de l'Appendice 5, selon le cas.

2. PROCÉDURE DE DÉMONSTRATION DE LA CONFORMITÉ

L'Autorité de l'aviation civile délivrera 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 choisissant le facteur approprié qui est déterminé en fonction du nombre de moteurs essayés (i), comme il est indiqué dans le tableau ci-après.

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 coefficient correspondant au nombre de moteurs essayés, figurant dans le tableau A6-1.

**Tableau A6-1. Niveau caractéristique de l'indice de fumée
ou des émissions de gaz**

Nombre de moteurs essayés (i)	CO	HC	NO _x	SN
1	0,814 7	0,649 3	0,862 7	0,776 9
2	0,877 7	0,768 5	0,909 4	0,852 7
3	0,924 6	0,857 2	0,944 1	0,909 1
4	0,934 7	0,876 4	0,951 6	0,921 3
5	0,941 6	0,889 4	0,956 7	0,929 6
6	0,946 7	0,899 0	0,960 5	0,935 8
7	0,950 6	0,906 5	0,963 4	0,940 5
8	0,953 8	0,912 6	0,965 8	0,944 4
9	0,956 5	0,917 6	0,967 7	0,947 6
10	0,958 7	0,921 8	0,969 4	0,950 2
plus de 10	$1 - 0,130 59$	$1 - 0,247 24$	$1 - 0,096 78$	$1 - 0,157 36$
	\sqrt{i}	\sqrt{i}	\sqrt{i}	\sqrt{i}

3. PROCÉDURE EN CAS D'ÉCHEC

Note.- 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, le constructeur doit être autorisé à présenter des preuves supplémentaires de la conformité du type de moteur aux spécifications.

3.1 Si un type de moteur subit un échec aux essais de certification, l'Autorité de l'aviation civile autorisera le constructeur à procéder, s'il 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 sera autorisé à soumettre aux essais autant de moteurs supplémentaires qu'il le désire. Les résultats de ces essais seront alors pris en considération avec les données antérieures.



- 3.2 S'il y a encore échec, le constructeur sera 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 seront alors examinés et de nouveaux essais seront effectués de sorte que l'on dispose des résultats d'au moins trois essais. La moyenne de ces résultats sera déterminée pour chaque moteur et appelée «moyenne avant modification».
- 3.3 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 sera appelée «moyenne après modification» pour chaque moteur. Cette «moyenne après modification» sera comparée à la «moyenne avant modification» afin de juger de l'amélioration relative qui sera 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.
- 3.4 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.