

Recommandation UIT-R S.2158-0 (09/2023)

Série S: Service fixe par satellite

Méthode permettant d'examiner la conformité d'une station terrienne aéronautique en mouvement communiquant avec des stations spatiales géostationnaires du service fixe par satellite dans la bande de fréquences 27,5-29,5 GHz à un ensemble de limites de puissance surfacique préétablies à la surface de la Terre

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Également disponible en ligne: <https://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

Série	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur, y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radioastronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2024

© UIT 2024

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R S.2158-0

**Méthode permettant d'examiner la conformité d'une station terrienne
aéronautique en mouvement communiquant avec des stations spatiales
géostationnaires du service fixe par satellite dans la bande de
fréquences 27,5-29,5 GHz à un ensemble de limites
de puissance surfacique préétablies
à la surface de la Terre**

(2023)

Domaine d'application

La présente Recommandation définit une méthode que doit utiliser le Bureau des radiocommunications de l'UIT pour procéder à l'examen des caractéristiques d'une station terrienne aéronautique en mouvement (A-ESIM) fonctionnant avec des réseaux à satellite géostationnaire du point de vue de la conformité aux limites de puissance surfacique indiquées dans la Partie II de l'Annexe 3 de la Résolution **169 (CMR-19)** du Règlement des radiocommunications.

Mots clés

Station ESIM aéronautique, station A-ESIM, OSG, puissance surfacique, méthode

Abréviations/Glossaire

A-ESIM station terrienne aéronautique en mouvement (*aeronautical earth station in motion*)
OSG orbite géostationnaire (*geostationary orbit*)

Recommandations et rapports de l'UIT connexes

Recommandation UIT-R P.676 – Affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère et effets associés

Rapport UIT-R M.2221 – Possibilités d'exploitation du SMS dans certaines bandes de fréquences

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la Conférence mondiale des radiocommunications de 2019 (CMR-19) a adopté, dans la Résolution **169 (CMR-19)** du Règlement des radiocommunications (RR), les limites de puissance surfacique applicables aux stations terriennes aéronautiques en mouvement (A-ESIM) communiquant avec des stations spatiales géostationnaires (OSG) des systèmes du service fixe par satellite (SFS) dans la gamme de fréquences 27,5-29,5 GHz, afin d'assurer la protection des services de Terre;
- b) que, conformément au point 1.2.5 du *décide* de la Résolution **169 (CMR-19)**, le Bureau examinera les caractéristiques des stations A-ESIM communiquant avec des satellites OSG du SFS du point de vue de la conformité aux limites de puissance surfacique à la surface de la Terre indiquées dans la Partie II de l'Annexe 3 de la Résolution **169 (CMR-19)** et publiera les résultats de cet examen dans la BR IFIC;
- c) qu'en l'absence d'une méthode appropriée, le Bureau n'est pas en mesure d'examiner la conformité dont il est question au point b) du *considérant*;
- d) que, dans sa Résolution **169 (CMR-19)**, la CMR-19 a invité le Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R) à procéder aux études pertinentes pour définir une méthode concernant l'examen visé au point b) du *considérant*,

reconnaisant

que, aux termes du point 1.2.4 du *décide* de la Résolution **169 (CMR-19)**, «les dispositions de [cette] résolution, y compris l'Annexe 3, fixent les conditions applicables à la protection des services de Terre contre les brouillages inacceptables causés par les stations ESIM aéronautiques et maritimes dans les pays voisins dans la bande de fréquences 27,5-29,5 GHz; toutefois, l'obligation de ne pas causer de brouillages inacceptables aux services de Terre auxquels les bandes de fréquence sont attribuées et qui sont exploités conformément au Règlement des radiocommunications, et de ne pas demander à bénéficier d'une protection vis-à-vis de ces services, reste valable»,

recommande

1 que la méthode indiquée dans l'annexe soit prise en considération pour le calcul de la puissance surfacique produite par les émissions provenant d'une station A-ESIM communiquant avec des satellites OSG du SFS à la surface de la Terre et pour l'évaluation de la conformité aux limites de puissance surfacique indiquées dans la Partie II de l'Annexe 3 de la Résolution **169 (CMR-19)**;

2 que les Notes suivantes soient considérées comme une partie intégrante de la présente recommandation.

NOTE 1 – Pour la mise en œuvre de la présente recommandation, il convient de tenir compte du point a) du *reconnaisant* ci-dessus.

NOTE 2 – Pour les émissions dans une largeur de bande inférieure à la largeur de bande de référence, cette méthode est applicable à condition que l'administration notificatrice confirme que la station A-ESIM émet uniquement à l'intérieur de la largeur de bande de référence. Si cette confirmation n'est pas fournie, cette méthode n'est pas applicable.

NOTE 3 – Le résultat de l'examen devrait être publié conformément au format de sortie indiqué dans l'annexe.

Annexe

Méthode à suivre pour l'examen de la puissance surfacique à la surface de la Terre produite par les émissions d'une station A-ESIM communiquant avec des satellites OSG du SFS et de la conformité aux limites de puissance surfacique préétablies

1 Vue d'ensemble

La méthode ci-dessous est une description fonctionnelle de la manière de procéder à l'examen des stations A-ESIM fonctionnant avec des réseaux à satellite OSG et de leur conformité aux limites de puissance surfacique indiquées dans la Partie II de l'Annexe 3 de la Résolution **169 (CMR-19)**.

2 Paramètres des stations A-ESIM nécessaires à l'examen

Pour procéder à l'examen pertinent des stations A-ESIM et de leur conformité aux limites de puissance surfacique, les paramètres suivants sont nécessaires:

- Nom du réseau à satellite.
- Longitude du satellite OSG.

- Limites de latitude de la zone de service OSG.
- Limites de longitude de la zone de service OSG.
- Gain de crête de l'antenne des stations A-ESIM.
- Densité de puissance et largeur de bande des stations A-ESIM comme indiqué dans le Tableau 1.
- Gabarit d'affaiblissement dû au fuselage exprimé en fonction de l'angle au-dessous de l'horizon de la station A-ESIM, sur la base des rapports ou recommandations UIT-R.

3 Méthode d'examen

3.1 Introduction

Une station A-ESIM peut être exploitée en différents emplacements définis par la latitude, la longitude et l'altitude. La présente méthode permet de déterminer la puissance maximale admissible P_j pour un émetteur d'une station A-ESIM communiquant avec un satellite OSG du SFS afin de garantir le respect des limites de puissance surfacique préétablies, en vue de protéger les services de Terre, à toutes positions, pour un ensemble défini de plages d'altitudes. La présente méthode permet de calculer P_j compte tenu de la perte et de l'affaiblissement correspondants dans la géométrie étudiée.

On compare alors dans cette méthode la valeur calculée de P_j à la plage de puissance notifiée des émissions de la station A-ESIM. Les valeurs minimales et maximales des puissances des émissions $P_{\min_emission,j}$ et $P_{\max_emission,j}$ de la station A-ESIM sont calculées à partir des données figurant dans les renseignements de notification soumis au titre de l'Appendice 4 pour le réseau à satellite OSG du SFS avec lequel la station A-ESIM communique, et à partir des caractéristiques des stations A-ESIM.

Les stations A-ESIM sont évaluées pour plusieurs plages d'altitudes prédéfinies, afin d'établir un certain nombre de niveaux P_j .

Cette méthode devrait être appliquée dans le cadre d'un examen par le Bureau pour la plage d'altitudes définie, afin de déterminer si la station A-ESIM exploitée dans un réseau à satellite OSG donné respecte les limites de puissance surfacique préalablement établies pour protéger les services de Terre.

3.2 Paramètres et géométrie

En prenant un réseau OSG du SFS hypothétique, le Tableau 1 ci-dessous donne un exemple d'émissions qui figurent dans un groupe associé à la classe «UO» de stations terriennes émettant dans la bande de fréquences 27,5-29,5 GHz. Les Tableaux 2 à 4 contiennent des hypothèses supplémentaires et la Figure 1 illustre la géométrie utilisée pour l'examen.

TABLEAU 1

**Exemple de Groupe d'émissions de stations A-ESIM
(relativement aux champs de données pertinents de l'Appendice 4 du RR)**

Émission N°	C.7.a Désignation de l'émission	BW _{emission} (MHz)	C.8.c.3 Densité minimale de puissance dB(W/Hz)	C.8.a.2/C.8.b.2 Densité maximale de puissance dB(W/Hz)
1	6M00G7W--	6,0	-69,7	-66,0
2	6M00G7W--	6,0	-64,7	-61,0
3	6M00G7W--	6,0	-59,7	-56,0

TABLEAU 2

Autres hypothèses prises pour exemple

ID	Paramètre	Notation	Valeur	Unité
1	Assignation de fréquence	f	29,5	GHz
2	Largeur de bande de référence du gabarit de puissance surfacique	BW_{Ref}	1,0 ou 14,0 en fonction de l'altitude prise en compte pour l'examen	MHz
3	Longitude du satellite OSG	GSO_{lon}	13,0	Degrés E
4	Limites de latitude de la zone de service OSG	GSO_{srvLat}	(23,55; 63,55)	Degrés N
5	Limites de longitude de la zone de service OSG	GSO_{srvLon}	(-9,72; 30,28)	Degrés E
6	Gain de crête de l'antenne des stations A-ESIM	G_{max}	37,5	dBi
7	Diagramme de gain d'antenne des stations A-ESIM	—	Conformément à la Rec. UIT-R S.580 (voir l'élément C.10.d.5.a)	

TABLEAU 3

Hypothèses supplémentaires définies dans la méthode

ID	Paramètre	Notation	Valeur	Unité
8	Angle d'élévation minimal des stations A-ESIM en direction du satellite OSG	ϵ	10	Degrés
9	Affaiblissement atmosphérique	L_{atm}	Calculée conformément à la Recommandation UIT-R P.676 (voir la Note ci-dessous)	dB
10	Angle d'arrivée de l'onde incidente à la surface de la Terre	δ	Définie par les ensembles de limites de puissance surfacique préétablies, qui peuvent varier entre 0° et 90°	Degrés
11	Altitude minimale pour l'examen	H_{min}	0,01	km
12	Altitude maximale pour l'examen	H_{max}	15,0	km

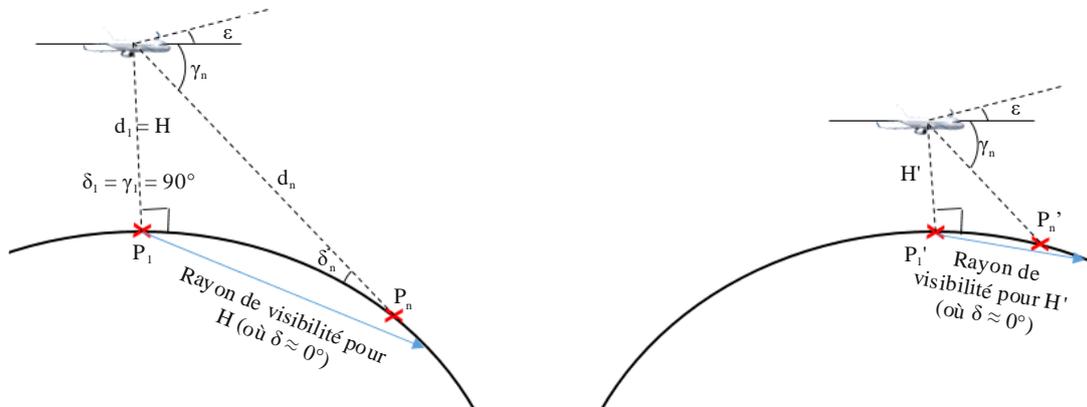
TABLEAU 3 (fin)

ID	Paramètre	Notation	Valeur	Unité
13	Espacement entre les altitudes pour l'examen ¹	H_{step}	1,0	km
14	Affaiblissement dû au fuselage	L_f	Calculée sur la base des Rapports ou des Recommandations UIT-R (voir le Tableau 4)	dB

NOTE – L'affaiblissement atmosphérique est calculé à l'aide de la Recommandation UIT-R P.676, avec l'atmosphère de référence moyenne annuelle pour le monde entier définie dans la Recommandation UIT-R P.835.

FIGURE 1

Géométrie pour l'examen de la conformité de deux stations A-ESIM à des altitudes différentes



S.2158-01

TABLEAU 4

Modèle d'affaiblissement dû au fuselage

$L_{fuse}(\gamma) = 3,5 + 0,25 \cdot \gamma$	dB	pour	$0^\circ \leq \gamma \leq 10^\circ$
$L_{fuse}(\gamma) = -2 + 0,79 \cdot \gamma$	dB	pour	$10^\circ < \gamma \leq 34^\circ$
$L_{fuse}(\gamma) = 3,75 + 0,625 \cdot \gamma$	dB	pour	$34^\circ < \gamma \leq 50^\circ$
$L_{fuse}(\gamma) = 35$	dB	pour	$50^\circ < \gamma \leq 90^\circ$

Notes:

- Ce modèle d'affaiblissement dû au fuselage repose sur des mesures effectuées à 14,2 GHz (voir la Fig. 3.6-14 du Rapport UIT-R M.2221).

¹ La quatrième valeur d'altitude (H_4) calculée en fonction de cette valeur H_{step} est ajustée à 2,99 km pour faciliter l'examen de conformité aux deux ensembles de valeurs de puissance surfacique prédéfinies indiquées dans les Tableaux 5 et 6.

Les Tableaux 5 et 6 sont tirés de la Partie II de l'Annexe 3 de la Résolution **169 (CMR-19)**. La largeur de bande de référence pour les ensembles de limites de puissance surfacique figurant dans les Tableaux 5 et 6 s'élève respectivement à 1 MHz et 14 MHz.

TABLEAU 5

Gabarit de puissance surfacique à respecter pour des altitudes allant jusqu'à 3 km

$\text{pfd}(\delta) = -136,2$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	pour $0^\circ \leq \delta \leq 0,01^\circ$
$\text{pfd}(\delta) = -132,4 + 1,9 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	pour $0,01^\circ < \delta \leq 0,3^\circ$
$\text{pfd}(\delta) = -127,7 + 11 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	pour $0,3^\circ < \delta \leq 1^\circ$
$\text{pfd}(\delta) = -127,7 + 18 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	pour $1^\circ < \delta \leq 12,4^\circ$
$\text{pfd}(\delta) = -108$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	pour $12,4^\circ < \delta \leq 90^\circ$

TABLEAU 6

Gabarit de puissance surfacique à respecter pour des altitudes supérieures à 3 km

$\text{pfd}(\delta) = -124,7$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	pour $0^\circ \leq \delta \leq 0,01^\circ$
$\text{pfd}(\delta) = -120,9 + 1,9 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	pour $0,01^\circ < \delta \leq 0,3^\circ$
$\text{pfd}(\delta) = -116,2 + 11 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	pour $0,3^\circ < \delta \leq 1^\circ$
$\text{pfd}(\delta) = -116,2 + 18 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	pour $1^\circ < \delta \leq 2^\circ$
$\text{pfd}(\delta) = -117,9 + 23,7 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	pour $2^\circ < \delta \leq 8^\circ$
$\text{pfd}(\delta) = -96,5$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	pour $8^\circ < \delta \leq 90,0^\circ$

3.3 Algorithme de calcul

On trouvera dans le présent paragraphe une description pas à pas de la manière dont la méthode d'examen serait mise en œuvre.

DÉBUT

- i) Pour chaque altitude des stations A-ESIM, il est nécessaire de générer autant d'angles δ_n (angle d'arrivée de l'onde incidente) que nécessaire pour tester la parfaite conformité à l'ensemble applicable de limites de puissance surfacique. Les N angles δ_n doivent être compris entre 0° et 90° et avoir une résolution compatible avec la granularité des limites de puissance surfacique préétablies. Chacun des angles δ_n correspondra à autant de N points au sol.
- ii) Pour chaque altitude $H_j = H_{min}, H_{min} + H_{step}, \dots, H_{max}$:
 - a) Définir l'altitude des stations A_ESIM à H_j .
 - b) calculer les angles au-dessous de l'horizon $\gamma_{j,n}$ vu depuis les stations A-ESIM pour chacun des N angles δ_n générés au point i) en utilisant l'équation suivante:

$$\gamma_{j,n} = \arccos \left(\frac{R_e \cdot \cos(\delta_n)}{(R_e + H_j)} \right) \quad (1)$$

où R_e est le rayon moyen de la Terre.

- c) Calculer la distance $D_{j,n}$, en km, pour $n = 1, \dots, N$ entre les stations A-ESIM et le point testé au sol:

$$D_{j,n} = \sqrt{R_e^2 + (R_e + H_j)^2 - 2 R_e (R_e + H_j) \cos(\gamma_n - \delta_n)} \quad (2)$$

- d) Calculer l'affaiblissement dû au fuselage $L_{f,j,n}$ (dB) avec $n = 1, \dots, N$ applicable à chacun des angles $\gamma_{j,n}$ calculés au point b) ci-dessus.
- e) Calculer l'absorption par les gaz $L_{atm,j,n}$ (dB) avec $n = 1, \dots, N$ applicable à chacune des distances $D_{j,n}$ calculées au point c) ci-dessus, en utilisant les paragraphes correspondants de la Recommandation UIT-R P.676.

iii)

- a) Pour chaque altitude $H_j = H_{min}, H_{min} + H_{step}, \dots, H_{max}$, et chaque angle au-dessous de l'horizon $\gamma_{j,n}$, calculer le niveau maximal de puissance d'émission dans la largeur de bande de référence $P_{j,n}(\delta_n, \gamma_{j,n})$ pour laquelle les limites de puissance surfacique sont respectées, à l'aide de l'algorithme suivant:

$$P_{j,n}(\delta_n, \gamma_{j,n}) = pfd(\delta_n) + 10 \log_{10}(4\pi(D_{j,n} \cdot 1\,000)^2) + L_{f,j,n} + L_{atm,j,n} - Gtx(\gamma_{j,n} + \varepsilon)$$

où $Gtx(\gamma_{j,n} + \varepsilon)$ représente le gain d'antenne d'émission avec l'angle hors axe depuis l'axe de visée, lequel équivaut à la somme des deux angles $\gamma_{j,n}$ et de l'angle d'élévation minimal ε de 10 degrés défini dans le Tableau 3.

- b) Calculer la valeur minimale de P_j pour toutes les valeurs calculées lors de l'étape précédente:

$$P_j = \text{Min}(P_{j,n}(\delta_n, \gamma_{j,n}))$$

Le résultat de cette étape est le niveau maximal de puissance dans la largeur de bande de référence pouvant être utilisée par la station A-ESIM pour garantir la conformité de cette station aux limites de puissance surfacique indiquées dans le Tableau 5 ou le Tableau 6, selon qu'il convient, pour tous les angles δ_n à l'altitude H_j et à l'élévation indiquée dans le Tableau 3. Il y aura une valeur de P_j pour chacune des altitudes H_j considérées.

Les résultats de l'étape b) sont présentées sous forme résumée dans le Tableau 7 ci-dessous:

TABLEAU 7

Valeurs P_j calculées

H_j (Altitude) (km)	P_j (niveau maximal de puissance dans la largeur de bande de référence pouvant être utilisé à l'élévation minimale) dB(W/BW)
0,01	À déterminer
1,0	À déterminer
2,0	À déterminer
2,99	À déterminer
4,0	À déterminer
5,0	À déterminer
6,0	À déterminer

TABLEAU 7 (fin)

H_j (Altitude) (km)	P_j (niveau maximal de puissance dans la largeur de bande de référence pouvant être utilisé à l'élévation minimale) dB(W/BW)
7,0	À déterminer
8,0	À déterminer
9,0	À déterminer
10,0	À déterminer
11,0	À déterminer
12,0	À déterminer
13,0	À déterminer
14,0	À déterminer
15,0	À déterminer

- c) Pour chaque altitude $H_j = H_{min}, H_{min} + H_{step}, \dots, H_{max}$, et pour chacune des émissions des groupes d'émissions à l'examen, calculer les puissances minimale et maximale de l'émission dans la largeur de bande de référence:

$$P_{\min_emission,j} = \text{Minimum Power density(Emission, dBW/Hz)} + 10 * \log_{10}(BW)$$

$$P_{\max_emission,j} = \text{Maximum Power density(Emission, dBW/Hz)} + 10 * \log_{10}(BW)$$

La valeur de BW en Hz est la suivante:

$$BW_{Ref} \text{ si } BW_{Ref} = 1 \text{ MHz}$$

$$BW_{Ref} \text{ si } BW_{Ref} = 14 \text{ MHz et } BW_{emission} \geq BW_{Ref}$$

$$BW_{emission} \text{ si } BW_{Ref} = 14 \text{ MHz et } BW_{emission} < BW_{Ref}$$

- d) Pour chacune des émissions des groupes d'émissions à l'examen, vérifier si au moins une altitude H_j remplit la condition suivante:

$$P_{\max_emission,j} > P_j > P_{\min_emission,j}$$

Les résultats de cette vérification sont présentés dans le Tableau 8 ci-dessous.

TABLEAU 8

Exemple de comparaison entre P_j et ($P_{\min_emission,j}$; $P_{\max_emission,j}$)

Émission N°	C.7.a Désignation de l'émission	BW _{emission} MHz	C.8.c.3 Densité minimale de puissance dB(W/Hz)	C.8.a.2/C.8.b.2 Densité maximale de puissance dB(W/Hz)	Altitude H_j (km) minimale pour laquelle $P_{\max_emission,j} > P_j >$ $P_{\min_emission,j}$
1	6M00G7W--	6,0	-69,7	-66,0	À déterminer
2	6M00G7W--	6,0	-64,7	-61,0	À déterminer
3	6M00G7W--	6,0	-59,7	-56,0	À déterminer

- e) Sur la base du test décrit au point iii) d) ci-dessus appliqué à toutes les émissions du groupe à l'examen, les résultats de l'examen mené par le Bureau concernant ce groupe sont favorables, une fois que les émissions qui n'ont pas satisfait à l'examen ont été supprimées. Dans le cas contraire, les résultats sont défavorables (aucune émission n'a satisfait à l'examen).
- iv) Le résultat de la méthode doit comprendre au moins les éléments suivants:
- les paramètres obtenus figurant dans le Tableau 7;
 - les résultats de l'examen pour chaque groupe;
 - dans les cas où certaines émissions satisfont à l'examen et d'autres non, les résultats de l'examen pour le nouveau groupe obtenu comprenant uniquement les émissions qui ont satisfait à l'examen.