

SECTION 8K - SERVICE MOBILE AERONAUTIQUE (DE TERRE)

RAPPORT 926 *

**FACTEURS DONT IL FAUT TENIR COMPTE POUR CALCULER
LES CRITÈRES DE PROTECTION POUR LES SERVICES
DE SÉCURITÉ AÉRONAUTIQUE**

(Question 62/8 et Programme d'études 21A/8)

(1982)

1. Introduction

Dans le présent Rapport, le «bruit électromagnétique», ou «bruit», est défini comme toute énergie électromagnétique provenant à la fois de radiateurs voulus et involontaires, à l'exception de l'énergie provenant d'un signal utile à un système particulier.

Les critères de protection existants et proposés, que l'on appelle aussi parfois «brouilleurs maximaux admissibles», «champs brouilleurs maximaux admis», ou «limites de bruit», sont souvent exprimés comme suit:

$N \mu\text{V/m}$ à 30 m pour la bande de fréquences 108 à 112 MHz

Cette formule peut être insuffisante en soi, car elle ne tient pas compte de bien des facteurs pertinents, dont certains sont analysés dans le § 2 ci-dessous.

* Le présent Rapport doit être porté à l'attention de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), de la Commission électrotechnique internationale (CEI) et de la Commission d'études 1.

2. Facteurs spéciaux

2.1 Il faudrait indiquer les conditions de mesure du champ créé par le signal brouilleur. Si on ne spécifie pas des conditions, comme la largeur de bande du récepteur (exemples: 10 kHz, 100 kHz ou 1 MHz, 3 dB, 6 dB, ou largeur de bande d'impulsion effective), les caractéristiques du détecteur du récepteur, les techniques d'étalonnage, le type d'antenne utilisé, la polarisation et la hauteur de l'antenne au-dessus du sol, la méthode de mesure peut être interprétée de différentes façons, ce qui peut conduire à des conclusions erronées et à l'impossibilité de comparer les résultats avec les données obtenues par d'autres experts. Les caractéristiques divergentes des nombreux types et marques différents d'appareils de mesure du champ largement utilisés empêchent également de comparer directement des données obtenues par différents experts. Une étude récente des appareils de mesure du champ utilisés pour la mesure du bruit induit par des lignes électriques a montré que la corrélation est loin d'être satisfaisante dans certaines bandes de fréquences.

2.2 Les erreurs systématiques et aléatoires de mesure sont la conséquence d'erreurs des instruments et des étalons et d'erreurs de montage d'essai et de procédure de mesure. Des problèmes d'erreur découlent également du fait que les problèmes de brouillage électromagnétique sont souvent de nature probabiliste plutôt que déterministe. Dans la détermination des limites de paramètre, la méthode d'analyse des erreurs devient importante lorsqu'il faut tenir compte des aspects réglementaires.

2.3 Beaucoup d'administrations, d'instituts d'enseignement et d'organismes de recherche industrielle élaborent ou améliorent actuellement des techniques de prévision du brouillage, des modèles de bruit et des modèles de système de communication. La liste ci-après des techniques et paramètres utilisés dans la mesure du bruit n'est pas exhaustive:

- tension moyenne (V_{avg});
- tension efficace (V_{rms});
- tension de quasi-crête (V_{qp}) (CISPR et ANSI);
- tension de crête (V_p);
- rapport impulsionnel $V_d = 20 \log (V_{rms} / V_{avg})$;
- facteur de bruit d'antenne équivalent (F_a);
- puissance de bruit moyenne (P_n);
- distribution de probabilité des amplitudes (RPA);
- distribution d'amplitude de bruit (NAD);
- fréquence moyenne de passage à zéro (ACR).

Certains de ces paramètres sont utiles principalement pour détecter la présence ou l'absence d'émissions non désirées émanant d'une zone ou d'un objet quelconque. L'idéal serait que la technique de mesure ou le paramètre d'émission ou de rayonnement choisi soit en corrélation avec la façon dont le bruit dégrade les performances d'un système de radiocommunication ou de radionavigation.

2.4 Il n'est peut-être pas réaliste de fixer un seul critère de protection contre toutes les sources de bruit à l'intérieur d'une bande de fréquences déterminée. Un tel critère risque de ne pas tenir compte des caractéristiques du bruit (qui peut être du type onde entretenue, gaussien, erratique ou impulsif). Peut-être faut-il définir des groupes de sources de bruit (lignes électriques, applications industrielles, scientifiques et médicales et systèmes d'allumage, par exemple) et des critères de protection pour chacun de ces groupes.

2.5 La caractéristique de temps du bruit est un facteur important. Compte tenu de la qualité de service exigée, il faut peut-être traiter différemment une source de bruit telle que le critère de protection est dépassé pendant 0,5% du temps seulement et une source de bruit telle que ce critère est dépassé pendant 95% du temps.

2.6 Il faut peut-être que les critères de protection tiennent compte des variations des performances de l'équipement de radiocommunication et de radionavigation. Une solution pourrait consister à déterminer la sensibilité des systèmes de radiocommunication et de radionavigation au bruit artificiel et à établir des paramètres et des niveaux décrivant le bruit que ces systèmes peuvent supporter sans dégradation intolérable des performances.

2.7 Quand les sources de bruit sont des articles fabriqués en grande série, on peut contrôler les limites de leurs émissions en radiofréquence au moyen d'essais d'échantillonnage statistique (par exemple la méthode d'essai du CISPR). Ces essais garantissent seulement qu'une certaine proportion de ces articles respectent une limite spécifiée. Il peut par conséquent être nécessaire de procéder à un examen détaillé des essais d'échantillonnage statistique pour déterminer si les garanties statistiques sont compatibles avec le critère de protection requis. L'Annexe I examine cette méthode statistique du CISPR.

2.8 Pour la protection des services de sécurité aéronautique, il n'est peut-être pas réaliste de formuler des critères de protection d'après des mesures de champ effectuées au niveau ou à proximité du sol, alors qu'en fait les aéronefs survolent les sources de bruit. Selon la documentation disponible à ce sujet, les niveaux de bruit mesurés à une distance latérale donnée d'une source de bruit sont parfois moins élevés qu'à la même distance au-dessus de cette source. En outre, les aéronefs en vol peuvent être exposés à des bruits provenant de nombreuses sources possibles; le bruit produit par une source donnée n'a peut-être guère d'incidence, mais l'effet de nombreuses sources du même genre pourrait être important. Il convient de noter que les aéronefs en vol captent régulièrement des signaux brouilleurs qui ne sont pas détectés par les appareils de contrôle au sol.

Etant donné la mobilité des aéronefs et l'étendue de leur zone d'exposition, ainsi que la variabilité et l'incertitude de l'évaluation et de la protection contre le brouillage préjudiciable à la sécurité de la vie humaine, il est manifestement impossible de rendre compte exactement de toutes les caractéristiques des signaux émanant des sources de brouillage que les aéronefs peuvent rencontrer. Néanmoins, il faut tenir compte de ces facteurs pour maintenir la haute fiabilité du transport aérien civil. Un moyen d'en tenir compte consiste à prévoir une compensation sous la forme d'une marge ajoutée aux critères de protection.

2.9 On pourrait assurer une meilleure protection des systèmes de radiocommunication et de radionavigation en combinant les critères de protection dans une zone critique prescrite autour d'un site particulier. Cela faciliterait la planification de l'utilisation des terrains autour des aéroports et des installations de radiocommunication et de radionavigation non situées sur les aéroports. Pour ce qui est de la protection des installations aéronautiques de radiocommunication et/ou de navigation se trouvant dans les aéroports, l'attention est attirée sur la procédure de coordination décrite dans le Rapport 929.

3. Conclusions

Afin de sauvegarder les services aéronautiques de sécurité de la vie humaine, il est indispensable d'établir des critères de protection adéquats contre les signaux brouilleurs. Toutefois, le calcul formel de ces critères de protection est fort compliqué par des facteurs qui introduisent d'importantes incertitudes. Certains de ces facteurs ont été analysés dans le présent Rapport.

ANNEXE I

EXAMEN DE LA MÉTHODE STATISTIQUE D'ESSAI DU COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES (CISPR) AU POINT DE VUE DE LA PROTECTION DES SERVICES AÉRONAUTIQUES CONTRE LES BROUILLAGES

1. Introduction

1.1 Le CISPR a publié de nombreuses études très utiles relatives aux méthodes de mesure de l'énergie aux fréquences radioélectriques et aux limites recommandées pour les émissions de divers types d'équipements susceptibles de causer des brouillages [CISPR, 1975a et b; 1976; 1977]. S'agissant de certains équipements fabriqués en grande série, le CISPR recommande une méthode d'échantillonnage statistique permettant de vérifier que les limites de rayonnement radioélectrique sont respectées. Dans la présente Annexe, on trouve une première évaluation, en termes statistiques, des possibilités de brouillages causés aux services de sécurité aéronautiques par des appareils dont on a mesuré les limites de rayonnement radioélectrique par la méthode statistique du CISPR.

2. La méthode statistique d'essai du CISPR

2.1 On trouvera dans la Publication 13 du CISPR [CISPR, 1975b] une description détaillée de la méthode recommandée ainsi qu'un exposé très complet des calculs mathématiques pertinents. En bref, la méthode offre deux démarches entre lesquelles choisir: ou bien effectuer des mesures sur un échantillonnage relativement restreint d'articles provenant de la chaîne de fabrication ou bien sur un seul article.

Dans ce dernier cas, la valeur mesurée doit être d'au moins 2 dB plus rigoureuse que la limite recommandée par le CISPR pour le type particulier d'appareil en cause. Ce n'est que si l'article dont il s'agit ne satisfait pas à cette limite plus rigoureuse que l'application de la méthode d'échantillonnage est obligatoire.

Pour juger de la conformité avec les limites fixées par le CISPR, lorsque l'on applique la méthode d'échantillonnage, on mesure la caractéristique variable du brouillage (par exemple, l'intensité de champ rayonnée dans une bande particulière) conformément à la procédure d'essai et aux caractéristiques de l'instrument de mesure (par exemple, en utilisant un détecteur de quasi-crête sur l'emplacement de l'essai).

Selon la dimension de l'échantillon, et avec les résultats de mesure en main (typiquement 5 à 12 valeurs de champ exprimées en dB par rapport à 1 $\mu\text{V}/\text{m}$), on calcule l'écart moyen et l'écart type de ces valeurs. Ces valeurs des écarts sont à leur tour substituées dans la formule:

$$\bar{X} + KS \leq L$$

où:

\bar{X} : moyenne arithmétique des niveaux mesurés sur les articles;

S: écart type des mêmes niveaux mesurés;

L : limite admissible selon le CISPR;

K : facteur dépendant de la dimension de l'échantillon (n);

K : donné dans le Tableau I ci-dessous.

TABLEAU I

Dimension de l'échantillon (n)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K	2,04	1,69	1,52	1,42	1,35	1,30	1,27	1,24	1,21	1,20

2.2 Si les résultats de l'application de la formule ci-dessus sont conformes aux limites admissibles par le CISPR, la totalité de la production de l'article essayé est classée «conforme à la limite du CISPR».

2.3 Evidemment, le facteur K joue un rôle très important: les publications du CISPR mentionnées sous «Références» montrent que K repose sur l'hypothèse d'une production présentant une distribution normale et que le «risque encouru par le consommateur» est qu'il y aura 80% de confiance, que 80% de tous les articles de la production resteront en deçà de la limite recommandée par le CISPR.

En ce qui concerne le niveau de protection offert à un service affecté par des brouillages, il importe de noter que le risque du consommateur signifie qu'on doit admettre par hypothèse que 20% des articles rayonnent une énergie radioélectrique supérieure à la limite spécifiée par le CISPR: le nombre d'articles dépassant cette limite et la valeur du dépassement dépendent des paramètres de la distribution dans la pratique, laquelle est à son tour conditionnée par les décisions du constructeur. Deux hypothèses sont données ci-dessous à titre d'exemple:

TABLEAU II

Limite du CISPR = L dB	Cas a)	Cas b)
Valeur moyenne des articles de la chaîne de production (dB)	$(L - 5)$	$(L - 1)$
Ecart-type nécessaire pour correspondre exactement au risque du consommateur «80%/80%» du CISPR (dB)	5,95	1,2
Niveau approximatif de rayonnement correspondant dépassé par 5% des articles (dB)	$(L + 5)$	$(L + 1)$
Niveau approximatif de rayonnement correspondant dépassé par 0,5% des articles (dB)	$(L + 10)$	$(L + 2)$

Dans les deux cas ci-dessus, la chaîne de production satisfait aux limites du CISPR, et il existe néanmoins une large plage de niveaux de rayonnement plus élevés.

2.4 Un examen plus approfondi montre aussi que le facteur K est très sensible au choix des pourcentages relatifs au risque du consommateur. Le Tableau III donne des exemples de variation de K pour des valeurs de risque plus rigoureuses. Il est évident que de telles variations pourraient avoir d'importantes répercussions économiques pour les fabricants des articles soumis aux essais.

TABLEAU III — Méthode d'échantillonnage statistique du CISPR

(Source: Biometrika Tables for Statisticians)

K (80%/80%)	2,04	1,69	1,52	1,42	1,35	1,30	1,27	1,24	1,21	1,20
K (95%/95%)	—	5,13	4,19	3,70	3,39	3,18	3,02	2,83	—	—
K (99,5%/99,5%)	—	17,25	11,77	9,37	8,01	7,15	6,56	6,12	—	—

3. Exigences statistiques des services aéronautiques

Il est évidemment difficile, en faisant appel aux probabilités statistiques relatives à certains articles manufacturés outrepassant certaines limites d'émission, d'évaluer la probabilité de brouillage préjudiciable dans la pratique.

Néanmoins, il convient de noter que certains services aéronautiques sont conçus de manière à atteindre des objectifs statistiques extrêmement stricts, plusieurs fois supérieurs aux valeurs découlant d'un risque du consommateur de «80%/80%» (voir le Rapport 927). On peut donc légitimement douter que le risque du consommateur actuellement spécifié par le CISPR soit acceptable en pareils cas et l'étude de cette question doit être poursuivie.

4. Domaines particuliers de préoccupation

On a reconnu les points suivants, afin de faciliter la suite des études:

4.1 L'emploi d'une méthode statistique d'essai reposant sur un petit nombre d'échantillons et sur une simple déclaration de «risque du consommateur» ne procure pas une grande maîtrise pratique sur la gamme des limites de rayonnement réelles susceptibles d'être rencontrées dans la pratique et en quantités notables. Comme on le montre dans le § 2, une proportion notable d'équipements manufacturés pour répondre à une limite recommandée par le CISPR pourrait dépasser d'une marge assez grande la valeur limite réelle.

Dans la pratique, des pressions d'ordre commercial pourraient amener un fabricant à adopter une spécification plus rigoureuse que ne l'indique le «risque du consommateur» du CISPR, en vue de mieux s'assurer que son produit sera homologué lorsqu'il aura été essayé par la méthode d'échantillonnage. Cependant, on ne peut pas facilement tenir compte de ce facteur possible dans les milieux de l'aéronautique.

4.2 La possibilité, à titre d'autre solution, dans le cadre de la méthode d'essai du CISPR, d'évaluer la conformité avec la limite recommandée par le CISPR en soumettant à l'essai un seul article d'une série – bien qu'à un niveau plus rigoureux de 2 dB – n'offre, du point de vue statistique, aucune garantie de protection à quelque utilisateur que ce soit, à un niveau quelconque de «risque du consommateur». Il semble donc très souhaitable d'en réexaminer la validité.

4.3 Il semblerait que la nécessité se fasse sentir pour que les besoins justifiés en matière de protection aérienne soient exposés aussi précisément et complètement que possible, y compris les critères statistiques s'il y a lieu.

4.4 Il semblerait que le domaine d'études qui présente le plus de difficultés soit la conversion *pratique* des limites établies en 4.3 ci-dessus en limites correspondantes pour les essais d'articles de série effectués par la méthode d'échantillonnage statistique du CISPR.

4.5 Il semble important, en fonction de 4.1, d'envisager la possibilité de limiter l'utilisation actuelle des équipements qui émettent des rayonnements supérieurs à certains niveaux (c'est-à-dire à la limite pertinente fixée par le CISPR). On notera que, compte tenu des conditions statistiques strictes mentionnées au § 3, il pourra être nécessaire de fixer comme objectif primordial la prévention des brouillages plutôt que leur détection et leur suppression.

5. Conclusions

La présente Annexe indique les domaines dans lesquels l'utilisation de la méthode d'essai statistique du CISPR pose des problèmes s'il faut assurer un niveau très élevé de protection contre les brouillages, par exemple en matière de radionavigation aéronautique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CISPR [1975a et 1976] Publications 11 et 11A. Limits and methods of measurement of radio interference characteristics of industrial, scientific and medical radio-frequency equipment (excluding surgical diathermy apparatus).
- CISPR [1975b] Publication 13. Limits and methods of measurement of radio interference characteristics of sound and television receivers.
- CISPR [1977] Publication 16. CISPR specification for radio interference measuring apparatus and measurement methods.

