HAL
open science

Amélioration des modèles pour le calcul des fonctions de transfert HIRF

Camille Bastard, Marc Meyer, Christophe Guiffaut, Alain Reineix

To cite this version:

Camille Bastard, Marc Meyer, Christophe Guiffaut, Alain Reineix. Amélioration des modèles pour le calcul des fonctions de transfert HIRF. 20ème Colloque International sur la Compatibilité Electromagnétique, Ecole Centrale de Lyon, Apr 2021, Lyon, France. hal-03328225

HAL Id: hal-03328225

https://hal.science/hal-03328225v1

Submitted on 29 Aug 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AMÉLIORATION DES MODÈLES POUR LE CALCUL DES FONCTIONS DE TRANSFERT HIRF

C. Bastard[1], M. Meyer[1], C. Guiffaut[2], A. Reineix[2]

[1]Airbus Helicopters, aéroport Marseille-Provence 13700 Marignane marc.meyer@airbus.com
[2]XLIM, Université de Limoges 123, Avenue Albert Thomas 87000 Limoges alain.reineix@xlim.fr

Résumé. Pour vérifier la bonne tenue des hélicoptères aux agressions champ fort (HIRF : High Intensity Radiated Field) définies par la règlementation, des essais et des simulations sont effectués afin de s'assurer que les niveaux de courant induits sur les différents câbles de l'appareil sont inférieurs au niveau de qualification des équipements. Un protocole est mis en place pour passer des conditions d'essais aux conditions de vol. Ce dernier repose sur l'identification des champs magnétiques de surface et l'application du théorème de réciprocité de Lorentz. L'objectif de cette publication est de présenter des modifications effectuées sur les modèles numériques ainsi que l'apport de ces modifications sur les résultats utilisables pour la certification champ fort des hélicoptères.

I. INTRODUCTION

Pour répondre aux exigences de la certification vis-à-vis des agressions champ fort, les hélicoptères doivent se conformer à la règlementation de la FAR/CS27.1317 [1] et de la FAR/CS29.1317 [2]. Lors de la démonstration de conformité, ce sont les niveaux de courants induits sur les différents câbles de l'hélicoptère qui sont étudiés. Ces courants doivent être inférieurs au niveau de qualification des équipements électroniques [3]. Une étape clé de cette démonstration réside dans le passage des conditions de test aux conditions de vol. En effet, pour certaines fréquences, les essais sont réalisés dans un hangar avec l'hélicoptère installé dans un retour coaxial [4]. C'est pourquoi il est nécessaire d'appliquer un facteur correctif, appelé facteur de transposition, à certains résultats pour passer des résultats sol aux résultats en vol, c'est-à-dire en espace libre. La problématique ici réside dans le calcul de ces facteurs correctifs permettant de passer aisément des conditions d'essais aux conditions de vol. Ces facteurs sont calculés sur la base de résultats de simulation en appliquant un protocole bien défini après avoir préalablement validé le modèle dans la configuration d'essai.

II. METHODOLOGIE INITIALE

II.1. Les données d'essai

Au cours des essais de certification champ fort les courants sur différents câbles de l'hélicoptère sont mesurés. L'objectif global de ces essais est de couvrir la bande de fréquence allant de 10 kHz à 400 MHz. Pour cela, deux configurations différentes sont utilisées en fonction des bandes de fréquences. Pour la bande basse, de 10 kHz à 100 MHz, zone 1 sur la Fig. 1, l'hélicoptère est positionné dans un retour coaxial pour s'affranchir au maximum des contraintes liées aux distances minimales à respecter entre l'hélicoptère et les parois du hangar, y compris le sol, pour des essais en illuminations. Cette distance à respecter doit être au moins égale à $\lambda/4$, avec λ la longueur d'onde. Pour la bande haute, de 30 MHz à 400 MHz, zone 2 sur la Fig. 1, la distance minimale entre les parois du hangar et l'hélicoptère devenant raisonnable par rapport à la longueur d'onde, l'hélicoptère est donc directement illuminé avec des antennes, ce sont les essais en chambre réverbérante. Une bande de fréquence de recouvrement est donc intentionnellement préservée pour vérifier la cohérence des résultats de mesure. Pour les fréquences plus hautes, il n'y a pas d'essais réalisés car l'atténuation du fuselage n'est pas considérée lors de la qualification des équipements, zone 3 sur la Fig. 1.

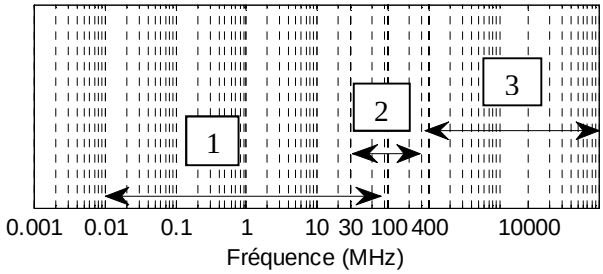

Fig. 1 : Moyens d'essais en fonction des gammes de fréquences

Les résultats issus des essais en illumination sont considérés conformes aux résultats que l'on obtiendrait en espace libre, les résultats obtenus en retour coaxial quant à eux doivent être corrigés pour déterminer les niveaux couplés en conditions de vol. Un protocole est défini pour calculer le facteur correctif liant les résultats d'essais et ceux en conditions de vol.

II.2. Protocole utilisé

Pour passer des conditions de test aux conditions de vol, des coefficients sont calculés sur la base de capteurs en champ magnétique de surface calculés via des modèles numériques. Ce protocole utilise les champs de surface car d'une part les courants sur les câbles situés dans les cavités sont plus complexes à estimer via les calculs que les champs magnétiques de surface et d'autre part utiliser les courants nécessite au préalable d'avoir une représentation de l'ensemble des câbles et de disposer d'un modèle fin du domaine interne de l'appareil. Le lien entre les champs de

surface et les courants sur les câbles à l'intérieur de l'hélicoptère se justifie via le théorème de réciprocité [5]. À partir de ce lien, la définition des facteurs de transposition *k* entre les différentes configurations, retour coaxial vers espace libre, est envisageable (1).

$$TF_{vol|dB[mA/m]} = TF_{sol|db[mA/A]} + \mathrm{k}_{dB} \qquad (1)$$

Ce facteur *k* se calcule pour chaque câble en lui associant *n* points de champs (2).

$$k = 10^{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} log_{10}\left(\frac{H_{surf\ référence\ opérationelle}}{H_{surf\ retour\ coaxial}}\right)} \qquad (2)$$

Pour calculer ce facteur *k*, il faut donc réaliser les calculs pour le modèle de l'hélicoptère placé dans le retour coaxial puis pour différentes illuminations d'onde plane (différentes incidences et polarisations) sur l'hélicoptère en espace libre afin de couvrir la menace réelle. Le pire scénario d'illumination sera envisagé pour chaque fréquence et cela pour chaque câble.
Un découpage en zone de l'hélicoptère est réalisé afin de faciliter l'attribution des points de champs aux différents câbles de l'hélicoptère (Fig. 2). En effet, chaque câble se voit associer une ou plusieurs zones en fonction de son cheminement, et donc les points de champ de ces zones pour calculer le facteur de transposition associé.

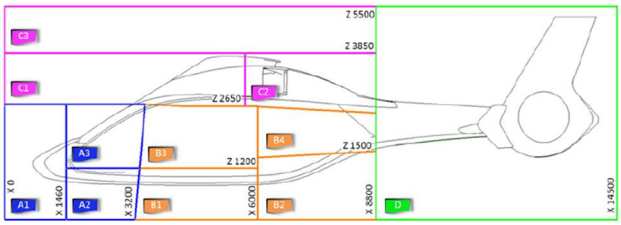

Fig. 2: Différentes zones de l'hélicoptère

Par exemple un câble cheminant dans le nez et en quart de coque avant aura un coefficient *k* correspondant aux zones A1 et A2. Ce coefficient est ensuite appliqué aux courants mesurés lors des essais en retour coaxial pour avoir le courant qui serait obtenu en conditions de vol.
Ce protocole complet est présenté sur la Fig. 3.

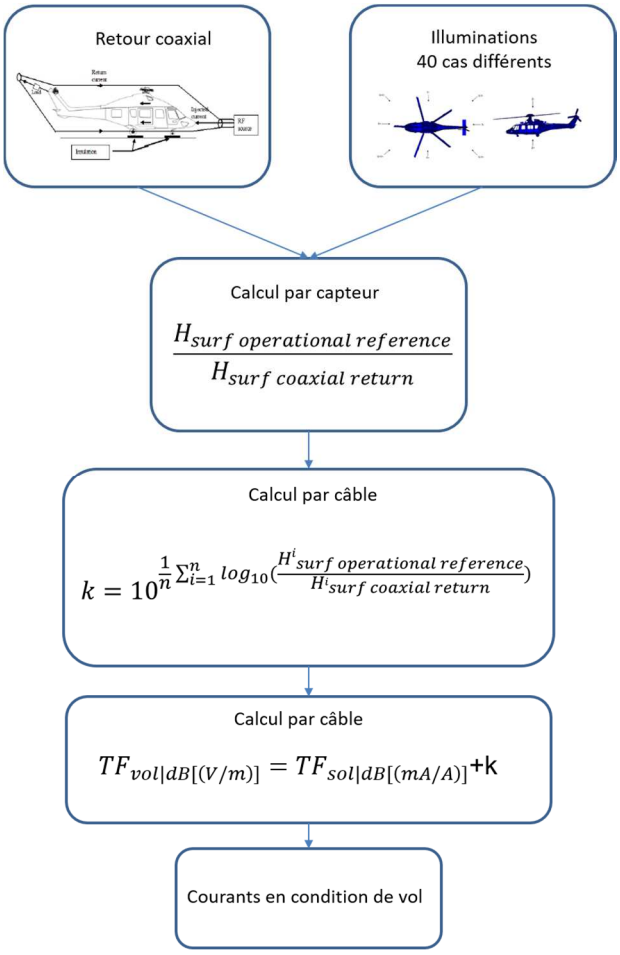

Fig. 3: Protocole de transposition

II.3. Résultats

À partir de ce protocole, les courants mesurés en retour coaxial sont donc transposés aux résultats que l'on obtiendrait en espace libre. Ces résultats sont ensuite comparés aux résultats obtenus en illumination directe, considérés comme les résultats de référence sur la bande de fréquences commune aux deux essais. Lors de cette étude, deux cas apparaissent : les enveloppes des deux courbes peuvent être en accord (Fig. 4) ou alors une surestimation est observée pour les résultats transposés (Fig. 5). L'objectif de cette étude est alors de réduire ces écarts afin d'avoir les résultats les plus prédictifs possible.

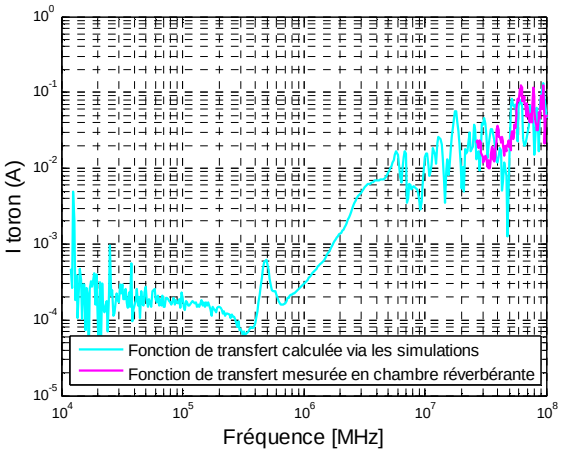

Fig. 4 : Correspondance des enveloppes

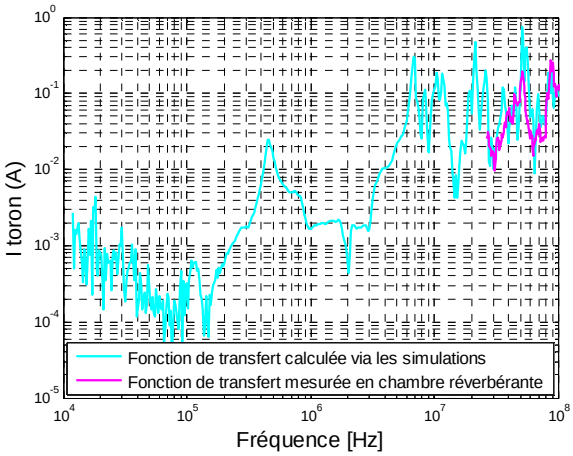

Fig. 5 : Surestimation des niveaux obtenus via la transposition

Une étude sur la représentativité des modèles utilisés est alors menée afin de réduire ces écarts et éviter une surestimation des niveaux. En effet, ces surestimations peuvent mener à des ajouts de protection électromagnétique surdimensionnés impactant la masse de l'hélicoptère.

III. ÉTUDE DES CHAMPS DE SURFACE

III.1. Modèle de l'hélicoptère

Les coefficients de transpositions sont calculés sur la base des champs de surface, ce qui impose une connaissance correcte de ces derniers. Par conséquent, l'étude de la représentativité des modèles numériques est réalisée en comparant les champs de surface mesurés en retour coaxial et ceux calculés pour le modèle de l'hélicoptère dans le retour coaxial. La méthode numérique utilisée est la FDTD (Finite Difference Time Domain), par conséquent le modèle est réalisé avec un maillage cartésien. En comparant les deux résultats, mesurés en essai et issus du calcul, des disparités peuvent être observées, notamment au niveau des résonances et anti-résonances (Fig. 6) dont les amplitudes sont surestimées en modélisation. L'objectif est alors de réduire ces écarts qui amènent à surestimer certaines fonctions de transfert en appliquant certaines améliorations au modèle.

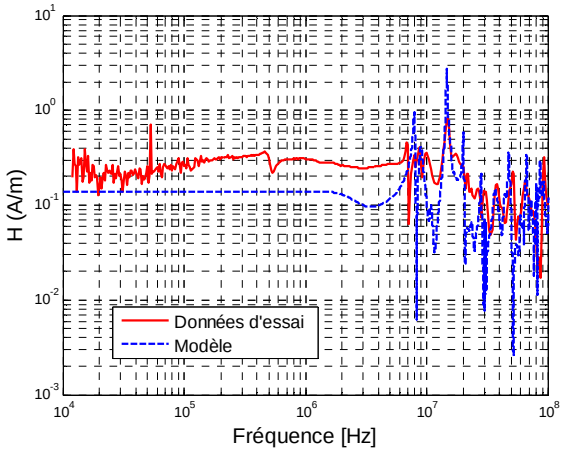

Fig. 6: Champ H en un point

III.2. Amélioration du modèle

Suite à l'observation des écarts présents entre les essais en retour coaxial, différentes modifications du modèle ont été effectuées afin de se rapprocher des résultats d'essais.
Le modèle initial est celui d'un hélicoptère entièrement réalisé en matériaux parfaitement conducteurs (PEC) et sans présence de sol
Donc deux modifications majeures ont été appliquées au modèle. La première modification est une définition plus réaliste des matériaux de la structure avec la prise en compte des pertes. Cette modification permet d'avoir des niveaux plus cohérents avec les essais. La deuxième modification est l'ajout d'un plan de masse parfaitement conducteur sous l'hélicoptère. L'ajout de ce plan de masse impacte surtout les niveaux de champs sous l'hélicoptère avec des redistributions de courant significatives (Fig. 7) et permet d'atténuer les résonances et antirésonances amplifiées par l'absence de sol. Cela démontre que le retour coaxial ne permet pas de s'affranchir entièrement de l'effet de proximité de sol.

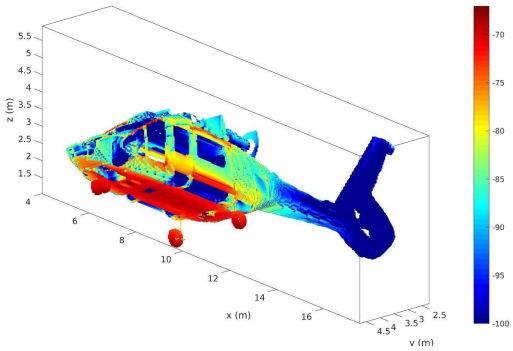

Fig. 7: Cartographie de la différence en champ magnétique de surface entre avec et sans le sol à 1 MHz (dBA/m)

D'autres modifications telles que l'ajout des fentes pour représenter les interfaces entre les différents panneaux

constituant la peau externe ne seront pas conservées pour la suite des calculs car le formalisme des fentes chargées utilisé ne produit pas un impact significatif sur les points de champ magnétique.
Nous avons donc retenu le modèle avec les matériaux réels et un plan de masse. Les résultats tendent donc vers une meilleure cohérence au niveau des résonances, antirésonances et niveaux basses fréquences (Fig. 8).

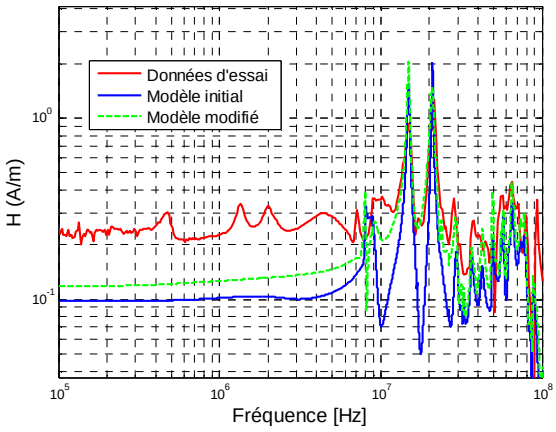

Fig. 8 : Champ H en un point après modification du modèle

Une fois ce nouveau modèle défini, le protocole de transposition doit être appliqué afin d'étudier l'impact sur les courants, c'est-à-dire les fonctions de transfert qui sont in fine utilisées pour établir la conformité aux champs forts.

IV. ETUDE DES COURANTS

Le protocole de transposition est appliqué à nouveau à partir d'un modèle bénéficiant des résultats de cette étude. Ces améliorations n'impactent pas les résultats lorsque le modèle initial apportait déjà satisfaction. Dans les autres cas, la tendance générale est une baisse des niveaux en cohérence avec les niveaux obtenus pour les essais en illumination lorsque des écarts entre les enveloppes étaient présents (Fig. 9 et Fig. 10).

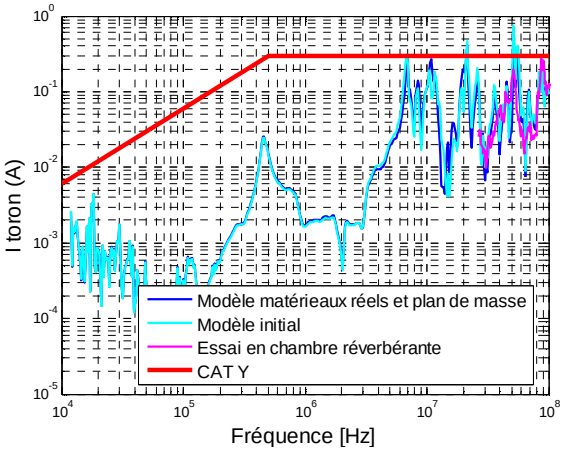

Fig. 9: Courant sur un câble selon les modèles utilisés

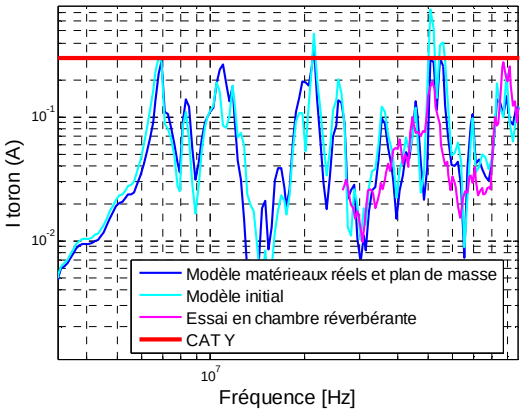

Fig. 10 : Courant sur un câble selon les modèles utilisés (zoom)

Cette tendance d'une baisse des niveaux se généralise à l'ensemble des câbles, ce qui est en accord avec les courants mesurés avec le cas de référence.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'ensemble de ces modifications, que ce soit l'ajout d'un sol parfait ou encore la définition des pertes dans les matériaux résistifs, permet donc d'être plus représentatif du comportement de l'hélicoptère et par conséquent précis dans l'établissement des fonctions de transfert champs forts. Cela permet donc d'étendre le domaine de validité du retour coaxial jusqu'à 80 MHz et donc d'éviter d'utiliser systématiquement les données issues des essais en illumination directe entre 30 MHz et 80 MHz. En effet, l'impact des parois n'est pas négligeable dans une telle configuration pour des câblages positionnés à proximité du sol. Ainsi, il est possible de se reposer avec un meilleur degré de confiance sur les résultats issus des essais en retour coaxial jusqu'à 80MHz.
Dans la suite de l'étude, le modèle peut être amélioré en utilisant une définition des fentes peut-être plus adaptée pour représenter les interfaces entre les panneaux composant la peau externe de l'hélicoptère et en définissant des pertes pour le sol, aujourd'hui considéré comme parfait en raison des limitations des logiciels utilisés.

REFERENCES

[1] E. A. S. Agency, *Certification Specifications for Small Rotorcraft CS27*, 2008.

[2] E. A. S. Agency, *Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Rotorcraft CS29*, vol. amendment 4, 2016.

[3] DO160/ED-14G, *Environmental conditions and test procedures for airborne equipment*, 2011.

[4] ED105, *Aircraft Lightning test methods*, 2005.

[5] D. Lacour et V. Gobin, *Application du principe de réciprocité au calcul du couplage par une ouverture*, ONERA, 8 rue des Vertugadins, 92190 MEUDON.