

Une méthode automatique de détection des défauts d'une chaîne de mesure sonométrique utilisée lors de mesures de bruit sans surveillance

Erik Aflalo, Fernand Dupont

01dB, une marque d'ACOEM
200, chemin des Ormeaux
69578 Limonest CEDEX
France
E-mail : erik.aflalo@acoemgroup.com
et
fernand.dupont@acoemgroup.com

Patrick Cellard, Jean-Noël Durocher

Laboratoire national de métrologie et d'essais
29, avenue Roger Hennequin
78197 Trappes CEDEX
France
E-mail : patrick.cellard@lne.fr
et
jean-noel.durocher@lne.fr

Résumé

La vérification électrique intégrée (par injection de charge multi-fréquences) permet de tester une chaîne de mesure y compris le microphone. Cela consiste à injecter, à des fréquences présélectionnées, une charge sinusoïdale (1 ou 2 niveaux) sur la membrane du microphone. Le principe est de collecter des valeurs de référence (niveau d'initialisation) et de vérifier à tout moment si la variation entre la référence et la mesure n'excède pas une valeur maximum prédéfinie. Une vérification multi-fréquentielle offre l'avantage d'une meilleure analyse d'une possible dégradation de la membrane du microphone ou d'un composant électrique. La procédure de vérification dure entre 10 et 30 secondes et apparaît automatiquement durant la mesure, enregistrant des valeurs avant et après la vérification qui sont nettement séparées afin de faciliter leur validation. Le but de cet article est de décrire les résultats obtenus pour différents types de défauts dans la chaîne de mesure.

Abstract

The built-in electrical check (multi-frequencies charge injection) allows for testing the whole measurement chain, including the microphone. It consists in injecting a sinusoidal charge (1 or 2 levels) into the microphone membrane, at selected frequencies. The principle is to collect reference values (initialization stage) and to check over time if the deviation between reference values and measured values exceeds a maximum predefined deviation value. A multiple-frequency check offers the advantage of a better assessment of a possible degradation of the microphone membrane or of the electronic components. The checking procedure lasts from 10 to 30 seconds and automatically occurs during the measurement, logged values before and after the checking clearly separated, so to make their validation easier. The purpose of the paper is to describe the results obtained for different types of defaults in the measurement chain.

Les risques de mauvaises mesures de bruit dans l'environnement doivent être réduits au minimum. C'est pourquoi, les sonomètres ou les chaînes de mesure équivalentes, y compris la source étalon doivent être périodiquement étalonnés par le fabricant ou dans un laboratoire de métrologie. Ces étalonnages assurent la traçabilité au système international d'unités et doivent être effectués au plus tard tous les deux ans. La norme européenne IEC 61672-3 décrit toutes les étapes des tests périodiques des sonomètres.

La première démarche pour réduire le risque d'une mauvaise mesure est d'étalonner l'appareil avant chaque mesure ; ce qui correspond à effectuer un contrôle journalier. L'étalonnage est suivi, si nécessaire, d'un ajustage (i.e. un facteur de correction de calibration). Souvent les codes de test (et les réglementations) demandent une vérification par étalonnage à la fin de la mesure afin de vérifier qu'il n'y a pas eu de problème au cours du mesurage. C'est une méthode courante et simple pour

vérifier si la chaîne de mesures est restée stable durant la mesure.

La source sonore étalon permet de détecter un changement dans la sensibilité du microphone. Un changement soudain de cette sensibilité laisse à penser qu'une erreur est apparue depuis le dernier ajustage. Une évolution lente du facteur de calibration peut aussi être un signe de vieillissement du microphone.

Toutefois, cette pratique n'est pas suffisante car les sources sonores utilisées sont pour la plupart mono-fréquentielles (classiquement 94 dB à 1000 Hz) ; ils ne peuvent donc pas détecter s'il y a des défauts aux autres fréquences. La figure 1 montre une photo d'un micro endommagé et la figure 2 sa réponse fréquentielle correspondante. Dans cet exemple particulier, la réponse fréquentielle prouve que le micro est totalement inutilisable même si sa sensibilité à 1 000 Hz n'est pas affectée. Une simple calibration à cette fréquence n'aurait donc pas décelé que le micro était défectueux.



Fig. 1 : Microphone avec sa membrane endommagée
Microphone with damaged membrane

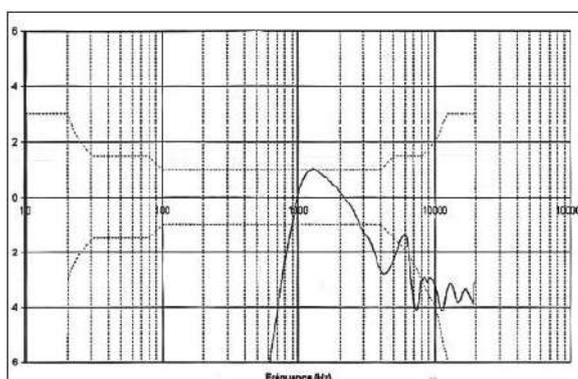


Fig. 2 : Réponse fréquentielle correspondante (micro figure 1)
Corresponding frequency response

Par conséquent, il est toujours recommandé de faire des vérifications plus larges et plus fréquemment que les tests périodiques préconisés par le fabricant ou par le laboratoire de métrologie. Certaines de ces vérifications, retenues dans les normes, sont devenues obligations : voir le chapitre 4.84. *Automatic check* de la norme ISO 20906 et voir l'annexe A de la norme NFS 31-010 avec sa périodicité de 6 mois.

Le but de cet article sera de montrer le lien entre plusieurs dommages physiques provoqués sur des microphones, la réponse fréquentielle de ceux-ci ou leurs niveaux de bruit de fond.

Principe de l'injection de charge multi-fréquentielle

Ce test consiste à injecter un signal de référence stable au travers d'une capacité de référence qui stimule un signal acoustique à la sortie du microphone (voir la ligne pointillée dans la figure 3).

Le signal de référence est un signal sinusoïdal à une fréquence donnée et à un niveau sélectionnable entre 0 à 5 V peak. La capacité pour l'injection de référence de charge C est classiquement autour de 0,2 pF.

Le test consiste à évaluer la différence en dB entre la situation courante et des valeurs de référence créées sur un système valide.

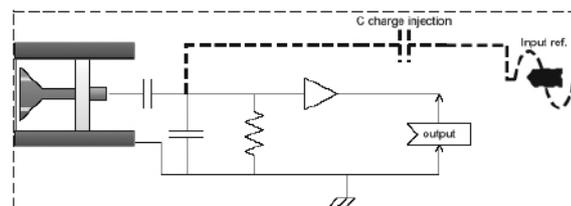


Fig. 3 : Principe de l'injection de charge
Charge injection principle

La valeur de la déviation est représentative de la variation du système.

L'injection de charge se comporte comme une comparaison d'impédance entre le condensateur du microphone et la capacité de référence d'injection de charge C. Si l'impédance du microphone est changée (classiquement un dommage mécanique de la partie active de la membrane peut changer sa capacité), la méthode d'injection de charge peut le détecter.

Conditions de tests

Les tests sont réalisés dans l'une des chambres anéchoïques du LNE, l'appareil sélectionné est un DUO positionné verticalement.



Fig. 4 : Présentation du test avec un DUO en position verticale
Test set-up with DUO in vertical position

Description de la validation

Pour chaque test, nous avons détérioré volontairement un microphone puis réalisé les mesures suivantes avant et après détérioration :

- Niveau de bruit de fond pondéré A (mesuré autour de 18 dB (A) quand il n'y a pas de problème)
- Sensibilité à 1 000 Hz
- Réponse aux injections de charge multi-fréquentielles à 250, 500, 1 000, 2 000 et 4 000 Hz.

Enfin, la réponse fréquentielle est mesurée et est utilisée comme référence : et si la réponse fréquentielle montre un défaut (courbe rouge dans les figures suivantes), est-ce que la procédure de validation va le détecter ?

Défauts effectués sur les microphones

Les défauts suivants ont été effectués sur différents micros :

- Perforations de la membrane
- Goutte d'eau sur la membrane
- Poussière légère sur la membrane
- Poussière lourde sur la membrane
- Choc sur le bord du micro
- Petite coupure au bord du micro
- Grosse coupure au bord du micro
- Mauvais contact sur les broches internes du micro

Résultats des tests et analyses

1er cas : Perforations de la membrane



Fig. 5 : Membrane perforée
Membrane punched

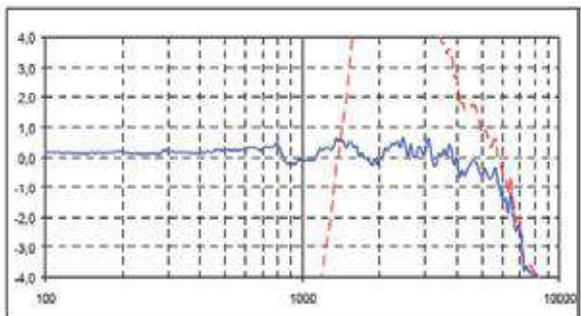


Fig. 6 : Réponse fréquentielle correspondante (figure 5)
Corresponding frequency response

Niveau de bruit de fond pondéré A	Pas significatif
Sensibilité à 1 000 Hz	- 7 dB
Réponse aux injections de charge multi-fréquentielles :	de - 0, 36 dB à - 0, 93 dB

Ce cas est très proche de celui présenté précédemment mais avec une réponse fréquentielle déplacée. Heureusement, dans ce cas, la procédure de calibration détectera le défaut.

La réponse d'injection de charge multi-fréquentielle est sensible à ce défaut ; le dommage mécanique a changé la réaction du microphone.

Cas n°2 : Goutte d'eau sur la membrane



Fig. 7 : Goutte d'eau sur la membrane
Water drop on the membrane

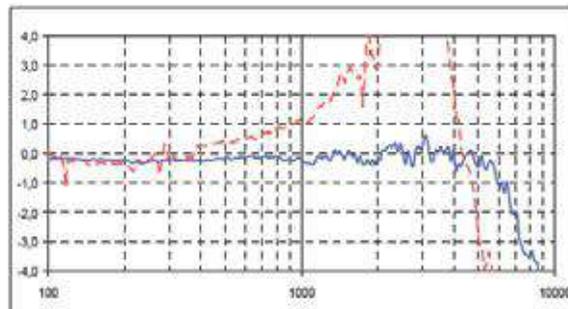


Fig. 8 : Réponse fréquentielle correspondante (figure 7)
Corresponding frequency response

Niveau de bruit de fond pondéré A	+ 3 dB
Sensibilité à 1 000 Hz	+ 0,5 dB
Réponse aux injections de charge multi-fréquentielles :	+ 1,45 dB à 4 000 Hz

Le bruit de fond est légèrement augmenté mais la valeur de 21 dB (A) n'est pas facile à mesurer dans des conditions normales. L'augmentation de la sensibilité à 1 000 Hz montre qu'il y a une instabilité dans le système mais la valeur affichée peut être liée à la température, à l'humidité ou à la pression barométrique. La réponse fréquentielle est altérée et réagit comme une augmentation de masse avec une fréquence de résonance autour de 3 000 Hz.

La réponse à l'injection de charge multi-fréquentielle montre une différence significative, qui indique nettement un défaut dans le système (changement mécanique de la membrane dû au poids de la goutte d'eau).

Cas n°3 : Poussière fine sur la membrane

Aucun indicateur n'est significatif et la réponse fréquentielle ne montre pas de différence significative non plus. La poussière sur la membrane n'aura pratiquement aucune incidence sur la qualité de la mesure.

Cette expérience montre qu'il vaut mieux ne pas nettoyer le microphone, pour éviter tout risque de détérioration durant la manipulation.



Fig. 9 : Poussière fine sur la membrane
Light dust on the membrane

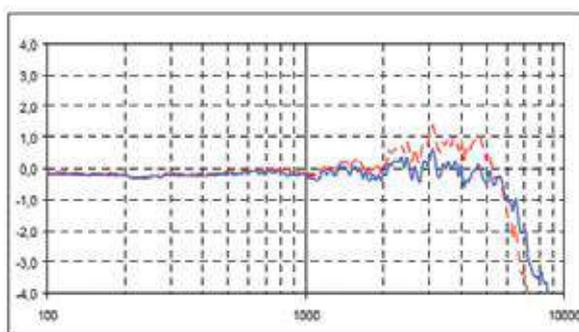


Fig. 10 : Réponse fréquentielle correspondante (figure 9)
Corresponding frequency response

Niveau de bruit de fond pondéré A	Pas significatif
Sensibilité à 1 000 Hz	Pas significatif
Réponse aux injections de charge multi-fréquentielles :	Pas significatif

Cas n°4 : Poussière lourde sur la membrane

Ce cas dépasse les valeurs limites de la poussière sur une membrane de microphone! La réponse fréquentielle est altérée et réagit comme l'augmentation de sa masse avec une fréquence de résonance autour de 2 500 Hz. La réponse d'injection de charge multi-fréquentielle détecte une légère différence due au poids de la poussière.



Fig. 11 : Poussière lourde sur la membrane
Heavy dust on the membrane

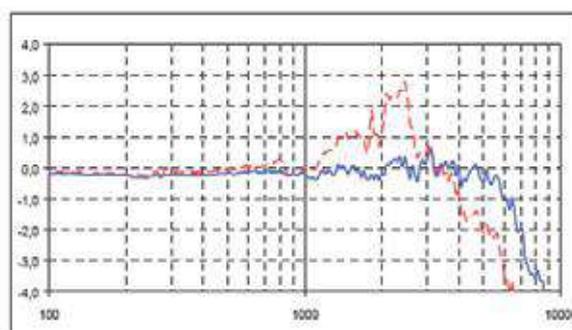


Fig. 12 : Réponse fréquentielle correspondante (figure 11)
Corresponding frequency response

Niveau de bruit de fond pondéré A	Pas significatif
Sensibilité à 1 000 Hz	Pas significatif
Réponse aux injections de charge multi-fréquentielles :	+ 0,38 dB à 4 000 Hz

Cas n°5 : Coup sur le bord du microphone



Fig. 13 : Coup sur le bord du microphone
Shock on the edge of the membrane

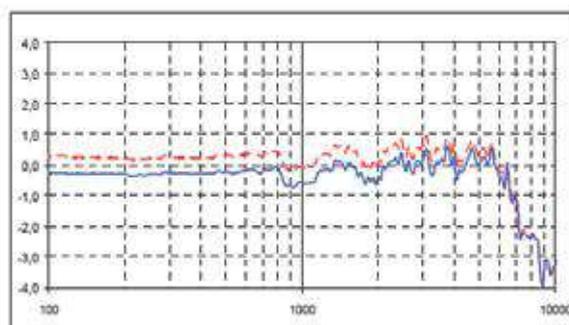


Fig. 14 : Réponse fréquentielle correspondante (figure 13)
Corresponding frequency response

Niveau de bruit de fond pondéré A	Pas significatif
Sensibilité à 1 000 Hz	Pas significatif
Réponse aux injections de charge multi-fréquentielles :	Pas significatif

Cet exemple est la détérioration la plus courante d'un microphone quand un sonomètre est utilisé sur le terrain. La réponse fréquentielle montre seulement une légère augmentation de la sensibilité autour de 0,3 dB sur l'ensemble des fréquences. En fait, la seule conséquence de ce défaut est une diminution de la tension de la membrane sans effet véritable sur la mesure.

La réponse d'injection de charge multi-fréquentielle ne détecte aucun défaut parce que la partie active de la membrane n'est pas affectée.

Cas n°6 : Petite coupure sur le bord du microphone



Fig. 15 : Petite coupure sur le bord du microphone
Small cut on the edge of the microphone

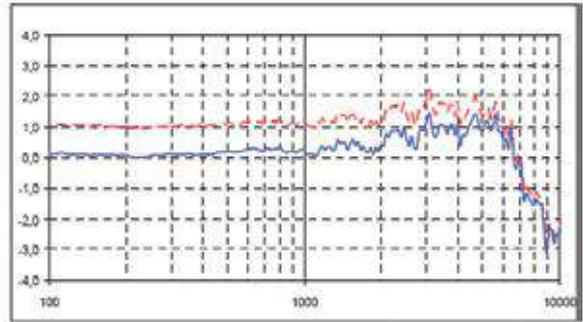


Fig. 16 : Réponse fréquentielle correspondante (figure 15)
Corresponding frequency response

Niveau de bruit de fond pondéré A	Pas significatif
Sensibilité à 1 000 Hz	+1 dB
Réponse aux injections de charge multi-fréquentielles :	Pas significatif

La réponse fréquentielle montre une augmentation de la sensibilité à 1 000 Hz d'environ 1dB sur toute la gamme de fréquences. La conséquence de ce défaut est une tension de la membrane plus faible qui est détectée par une source sonore étalon.

La réponse d'injection de charge multi-fréquentielle ne détecte aucun défaut parce que la partie active de la membrane n'est pas affectée.

Cas n°7 : Grande coupure sur le bord du microphone

La réponse fréquentielle montre une augmentation de la sensibilité à 1 000 Hz d'environ 2dB sur les gammes de fréquences basse et moyenne. La conséquence de ce défaut est une tension de la membrane plus faible qui est détectée par une source sonore étalon.

La réponse d'injection de charge multi-fréquentielle ne détecte aucun défaut parce que la partie active de la membrane n'est pas affectée.



Fig. 17 : Grande coupure sur le bord du microphone
Large cut on the edge of the microphone

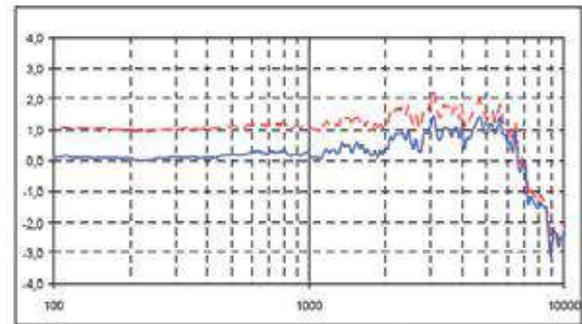


Fig. 18 : Réponse fréquentielle correspondante (figure 18)
Corresponding frequency response

Niveau de bruit de fond pondéré A	Pas significatif
Sensibilité à 1 000 Hz	+2 dB
Réponse aux injections de charge multi-fréquentielles :	Pas significatif

Cas n°8 : Mauvais contact sur le connecteur interne du microphone (simulée par du papier fin humidifié)



Fig. 19 : Papier fin humidifié sur le connecteur du microphone
Humid paper on the inner pin of the microphone

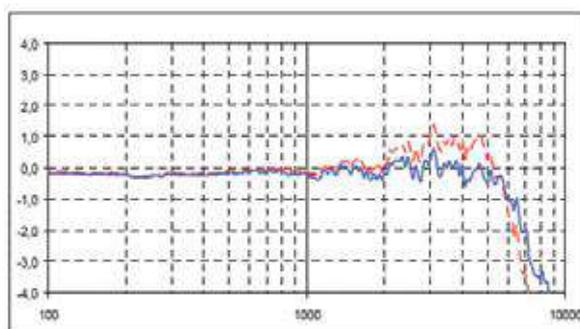


Fig. 20 : Réponse fréquentielle correspondante (figure 19)
Corresponding frequency response

Niveau de bruit de fond pondéré A	+ 20 dB
Sensibilité à 1 000 Hz	- 0,7 dB
Réponse aux injections de charge multi-fréquentielles :	> 6 dB à toutes les fréquences

Cet exemple illustre un défaut susceptible de se produire quand un sonomètre a été utilisé durant plusieurs mois sans maintenance périodique. Même si les connexions sont en plaqué-or, une corrosion peut apparaître, particulièrement si le connecteur interne a été touché avec les doigts. La réponse fréquentielle montre un effet de filtre passe-haut.

La perte de sensibilité à 1 000 Hz montre qu'il peut y avoir une instabilité du système, mais la valeur affichée (variation de - 0,7 dB) peut être liée à des variations de température, d'humidité, et/ou de pression barométrique.

Ce défaut est détecté par une augmentation du bruit de fond et par une réponse d'injection de charge multi-fréquentielle. L'impédance du microphone équivalent a complètement changé, ce qui explique la forte sensibilité à la réponse d'injection de charge multi-fréquentielle.

Conclusion

Les différents tests effectués montrent l'utilité de la méthode d'injection de charge multi-fréquentielle pour détecter des défauts courants (trous dans la membrane, eau ou poussière sur la membrane, mauvais contact). Seules les coupures sur les côtés de la membrane ne peuvent pas être détectées par une injection de charge pendant ce test parce que il n'y a pas de variation de l'impédance du microphone (ce défaut peut être détecté par un étalonnage).

Le choix de 5 fréquences par défaut (250 Hz, 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz et 4 000 Hz) peut être optimisé : nous recommandons de sélectionner 63 Hz, 250 Hz, 1 000 Hz et 4 000 Hz.

La différence maximale acceptable entre la référence et la mesure courante doit être entre 0,35 et 0,5 dB pour une détection précise des défauts. Pour pouvoir utiliser de telles valeurs, il est important d'utiliser un générateur de haute précision stable dans le temps.

L'injection de charge générant un niveau de bruit équivalent de l'ordre de 100 dB pour un signal de 5 V, le niveau mesuré peut être affecté par le bruit ambiant si ce dernier est supérieur à 90 dB. Il est donc recommandé de s'assurer de l'absence de bruits parasites pendant le test et donc de répéter la mesure si nécessaire.

La méthode d'injection de charge multi-fréquentielle n'est pas un étalonnage du système. Son but est de contrôler la stabilité d'un équipement de mesure de bruit. Lorsqu'elle est effectuée périodiquement de façon automatique et à distance (classiquement de 1 à 4 fois par jour), elle permet de sécuriser la validité d'une mesure entre deux vérifications.

La vérification par injection de charge multi-fréquentielle est un des outils utiles pour assurer des mesurages fiables entre deux étalonnages sur des stations de mesures de bruit opérant à distance en permanence sans la présence d'un opérateur.

Remerciements

Chaleureux remerciements à Dominique Rodriguez du LNE pour sa disponibilité et le partage de ses connaissances.

Les auteurs souhaitent également remercier l'animateur du groupe «Autocontrôle des sonomètres» de la commission de normalisation S30J de l'AFNOR, Daniel Brassens de la RATP.

Références bibliographiques

[1] IEC 61672-3 Electroacoustics-sound level meters - part 3 : Periodic tests, 2006:10

[2] ISO 20906:2009 Acoustics-Unattended monitoring of aircraft sound in the vicinity airports, 2009

[3] NFS 31-010 Acoustique - Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement - Méthodes particulières de mesurage

[4] 01dB, a brand of ACOEM : DUO Product data sheet : NOT 1507 - Décembre 2011