

LA MESURE DE BRUIT AU LNE

P. Drouart, D. Allal

LNE

29 Avenue Roger Hennequin, 78197 Trappes

Résumé

Le facteur de bruit est une des caractéristiques principales des composants et dispositifs hyperfréquences actifs. Il est mesuré à l'aide de sources de bruit étalonnées en température de bruit.

Le laboratoire national de métrologie et d'essais, LNE, possède les quatre références nationales en guide d'ondes dans la bande de fréquences entre 8,2 GHz et 40 GHz (CEI R100, R140, R220, R320).

L'étalonnage des sources de bruit s'effectue à l'aide d'un radiomètre à commutation (un par bande de fréquences). Afin d'améliorer les incertitudes sur la température de bruit et la durée de l'étalonnage, nous réalisons l'automatisation complète des quatre radiomètres existants.

Abstract

The noise figure is one of the main characteristics of the active components microwave. It is measured with a noise source which is calibrated in noise temperature.

The National Metrology and Test Laboratory (LNE) is owner of four national references in waveguide, in the frequency bands between 8.2 GHz and 40 GHz (IEC R100, R140, R220 and R320).

Calibration of the noise sources is made with a switching radiometer (one per frequency band). In order to improve the uncertainty obtained on the noise temperature and the duration of the measurement, we achieve the full automation of our four existing radiometers.

Introduction

Le principe d'une source de bruit étalon repose sur la théorie du corps noir. En effet, dans le domaine des fréquences et des températures considérées, la densité spectrale du rayonnement électromagnétique émis, lorsque ce corps est porté à une certaine température, est directement proportionnelle à cette température.

Le laboratoire national de métrologie et d'essais possède des références nationales, à des fréquences spécifiques, dans le domaine du bruit radioélectrique, situées dans une large bande de fréquence allant de 8,2 GHz à 40 GHz. Jusqu'à maintenant les étalonnages se faisaient à l'aide de quatre radiomètres à commutation (R100, R140, R220, R320) de type manuel, mais le laboratoire a développé

quatre autres radiomètres à commutation dans le but de réaliser les étalonnages en automatique.

Etalons primaires

Le laboratoire national de métrologie et d'essais a développé quatre étalons primaires de bruit radioélectrique dans les quatre bandes de fréquences suivantes : R100, R140, R220 et R320.

Cet étalon est constitué d'un absorbant hyperfréquence à base de carbure de silicium inséré dans un guide d'ondes en platine rhodié à 10%.

Afin de minimiser les variations de température tout au long de l'absorbant hyperfréquence, ce dernier est maintenu dans une masse thermique cylindrique en Inconel à l'intérieur d'un four électrique. L'isolation thermique avec le milieu ambiant est assurée à l'aide de deux bouchons en Macor placés de part et d'autre du four. Les mesures de température sont effectuées à l'aide de thermocouples de type S. [1]

Ces quatre étalons primaires permettent le raccordement au Système International, car la température de bruit est déterminée par la mesure de température physique (K), de longueur (m), et d'affaiblissement (dB). En effet, la température de bruit de l'étalon tient compte de la température de bruit de l'absorbant hyperfréquence, du gradient de température du guide d'ondes, de la longueur de ce guide et de son atténuation.

Dans le domaine industriel, la notion de température de bruit T_B n'est pas utilisée, mais plutôt le rapport d'excès de bruit (ENR) qui est déterminé par rapport à une température de référence $T_0 = 290K$ à partir de la formule suivante :

$$ENR^{(dB)} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{T_B^{(K)}}{T_0} - 1 \right\}$$

Ancien radiomètre de bruit

Le radiomètre de bruit à commutation [2] (Figure 1) (ou de Dicke) est utilisé pour l'étalonnage de sources de bruit par comparaison à l'étalon primaire, ou à un étalon de travail. Il est constitué des éléments suivant :

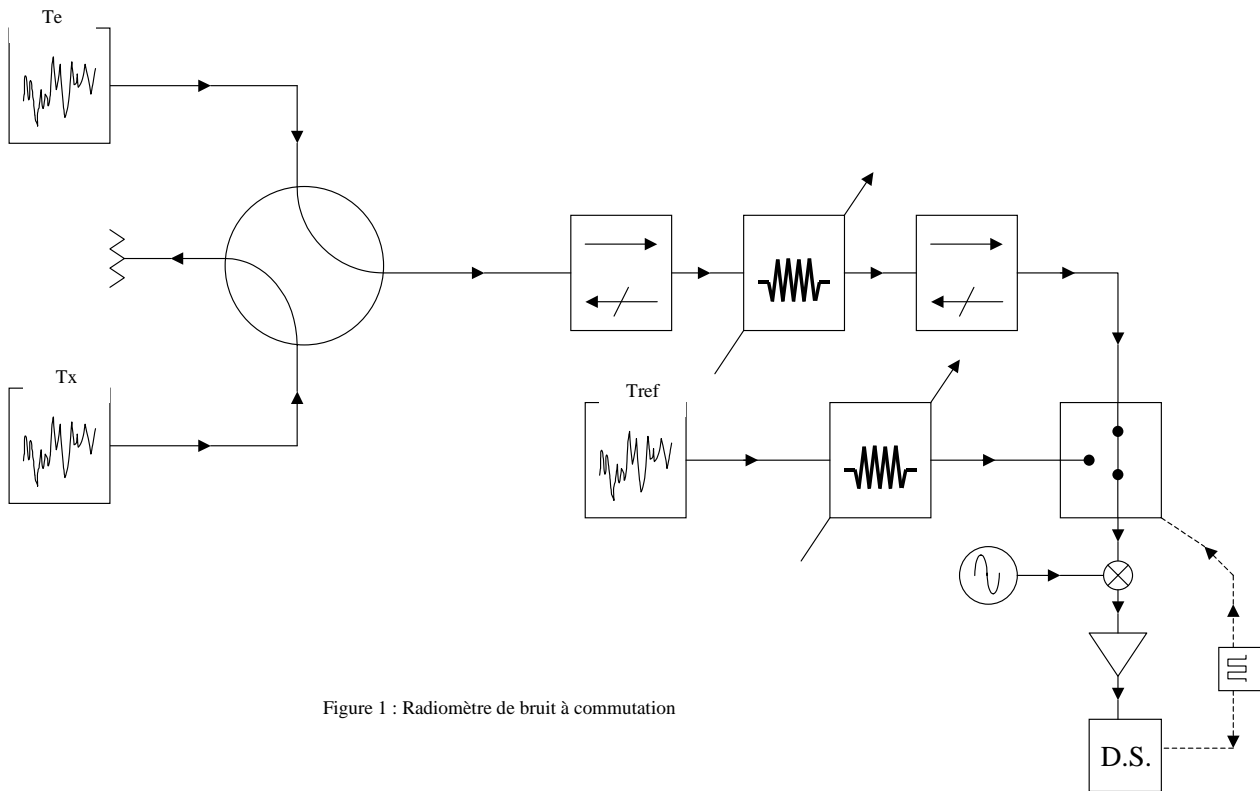


Figure 1 : Radiomètre de bruit à commutation

- Un bras de mesure, incluant un atténuateur de précision (résolution $\frac{1}{100}$ de 0 à 4 dB, résolution $\frac{1}{10}$ de 4 à 60 dB), étalonné et des isolateurs, d'un commutateur mécanique sur lequel on connecte l'étalon primaire ou de travail, et la source de bruit à étalonner.
- Un bras d'équilibre incluant une source de bruit stable et un atténuateur à piston (résolution $\frac{1}{10}$ de 0 à 20 dB).
- Un bras de mélange incluant un mélangeur préamplificateur et un oscillateur local.
- Un récepteur de fréquence intermédiaire 30 MHz incluant un amplificateur à gain variable sélectif, un détecteur synchrone, et un générateur de basses fréquences.

Le principe d'étalonnage repose sur des mesures d'atténuation. En effet, en présence de l'étalon et pour une position donnée de l'atténuateur étalonné (bras de mesure), on fait varier l'atténuateur du bras d'équilibre de manière à détecter un zéro (récepteur).

En présence de l'inconnue (source à étalonner), on fait varier l'atténuateur étalonné (bras de mesure) de manière à rétablir l'équilibre sur le récepteur (détecteur synchrone). (Figure 2)

Avec ce type de mesure, la meilleur incertitude à deux écarts-types obtenue sur le rapport d'excès de bruit est de $\pm 0,03$ dB.

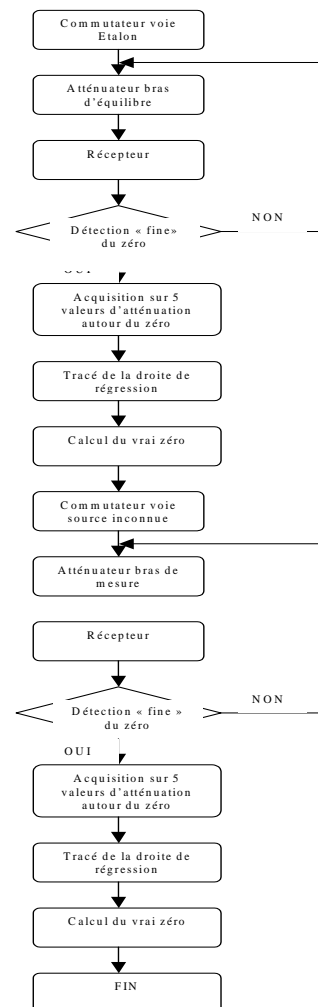
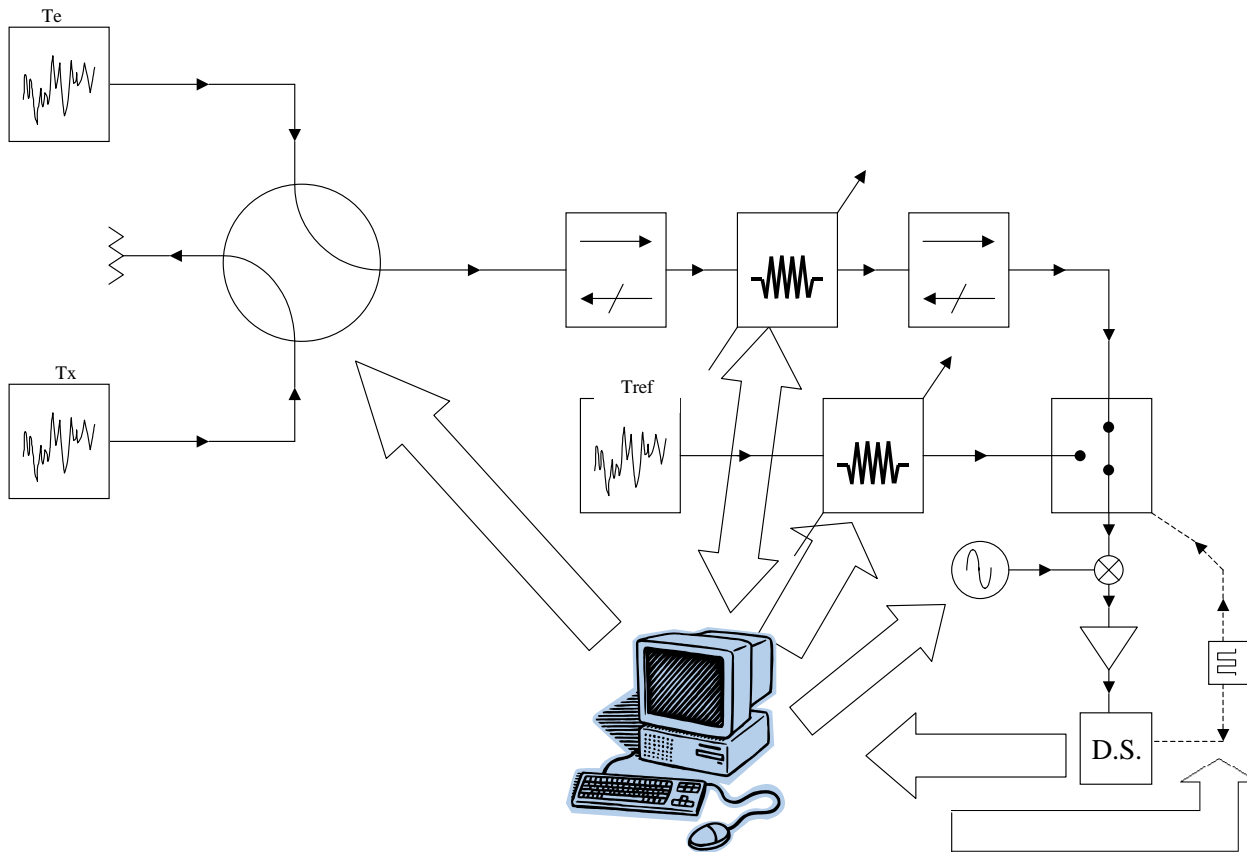


Figure 2 : Algorithme de l'étalonnage d'une source de bruit avec l'ancien radiomètre.

Le radiomètre de bruit automatisé



Afin d'améliorer l'incertitude sur la mesure du rapport d'excès de bruit, nous avons décidé d'automatiser le radiomètre à commutation. Pour cela, nous avons fait l'acquisition pour :

- Le bras de mesure : de commutateurs mécaniques contrôlables à distance, d'un atténuateur variable de meilleure résolution ($\frac{1}{100}$ de 0 à 20 dB, résolution $\frac{1}{10}$ de 20 à 60 dB) contrôlable à distance et cela pour chacune des quatre bandes de fréquence.
- Le bras d'équilibre : d'un double atténuateur à plot contrôlable à distance. (Figure 3)

Désormais, du fait du contrôle à distance de quasiment tous les appareils, le principe de la détection du zéro a dû être modifié.

En raison de la résolution dix fois plus importante de l'atténuateur à plot que pour l'atténuateur à piston (bras d'équilibre), la recherche du zéro, en première phase, est « grossière » et on affine la recherche du zéro par l'utilisation de l'atténuateur de précision du bras de mesure.

Le contrôle du générateur de basses fréquences permettra également de faire la recherche de la fréquence optimale d'horloge, ainsi la sensibilité de réponse du radiomètre pourra être améliorée. [3]

De plus, comme l'atténuateur variable du bras de mesure a une résolution améliorée d'un coefficient dix (dans la zone utilisée), l'arrêt de la méthode de recherche de la meilleure atténuation (méthode de la droite de régression) peut être envisagé, que ce soit pour l'étalon primaire, ou de travail et pour la source à étalonner. En effet, la recherche du zéro se fait à un centième près ! (Figure 4)

Pour réaliser l'automatisation de la mesure de bruit, un programme est créé sous le logiciel LabVIEW™ de National Instruments™.

Par comparaison avec l'ancien radiomètre, le temps de mesure passe de six jours pour dix fréquences à une journée pour le même nombre de fréquences avec le radiomètre automatisé. On constate par le simple algorithme, la réduction du temps passé au réglage du « zéro fin ». En effet, l'utilisation d'un atténuateur à piston sur le bras d'équilibre engendre une difficulté importante pour faire un réglage fin. Et le fait de faire des acquisitions afin d'obtenir une droite de régression rallonge d'autant le temps, et pour en final, avoir de moins bons résultats que par la nouvelle méthode.

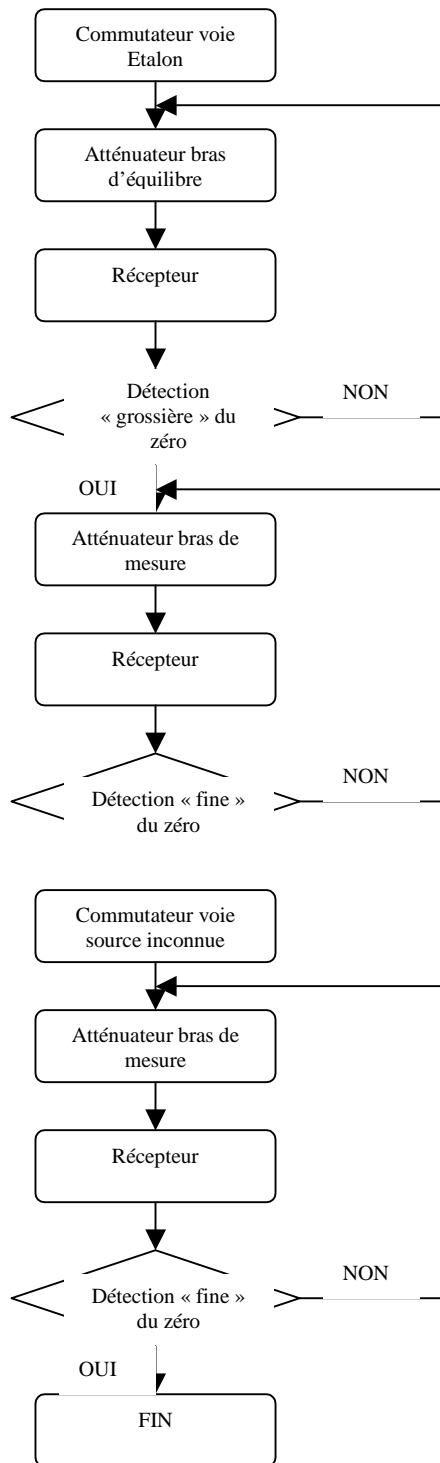


Figure 4 : Algorithme du programme du radiomètre automatisé

Les premiers résultats obtenus sur l'incertitude à deux écarts-types sur le rapport d'excès de bruit avec le nouveau radiomètre en comparaison avec l'ancien sont :

	Radiomètre automatisé	Ancien radiomètre
Incertitude sur l'ENR (dB)	0,020	0,033

Tableau 1 : Comparaison des incertitudes à deux écarts-types avec les deux radiomètres.

Comme on peut le constater d'après le tableau précédent, nous constatons que « le facteur humain en moins » permet une nette amélioration des incertitudes. En effet la reproductibilité de la mesure devient quasiment négligeable, ce qui sera confirmé dans la suite des mesures à venir.

Un autre aspect peut entrer en jeu pour améliorer les incertitudes sur l'ENR, il s'agit de la température ambiante (T_A).

En effet, l'équation du radiomètre [4] donnant la température de bruit (T_x) d'une source inconnue, à une fréquence donnée, est la suivante :

$$T_x(K) = [T_e - T_A] \cdot 10^{\left\{ \frac{A_x - A_e}{10} \right\}} \cdot \frac{|1 - S_{11} \cdot \rho_x|^2}{|1 - S_{11} \cdot \rho_e|^2} \cdot \left(\frac{1 - |\rho_e|^2}{1 - |\rho_x|^2} \right) + T_A$$

Elle tient compte de la température ambiante et des caractéristiques électromagnétiques de l'étalon (température de bruit, facteur de réflexion), de l'inconnue (facteur de réflexion) et du radiomètre (facteur de réflexion, variation d'atténuation).

Si on peut parfaitement maîtriser, contrôler et enregistrer la température ambiante du laboratoire, l'incertitude de la température de bruit de la source inconnue sera d'autant améliorée.

Par le fait que le laboratoire national de métrologie et d'essais ait fait construire un nouveau laboratoire pour la mesure de bruit, avec des caractéristiques sur la température nettement améliorée (consigne passée de $[23 \pm 1,5]^\circ\text{C}$ à $[23 \pm 0,5]^\circ\text{C}$), on peut déjà affirmer que l'incertitude sera améliorée.

Conclusion

L'amélioration des incertitudes sur le rapport d'excès de bruit fera probablement l'objet d'une révision de nos C.M.C. (Calibration and Measurement Capabilities)

Cette automatisation de la mesure de bruit sera, par la suite, mise à disposition de notre laboratoire d'étalonnage, afin qu'il puisse élargir leur domaine de compétences (plus de fréquence, plus de points de mesures...)

De plus par la suite, le laboratoire national de métrologie et d'essais peut envisager d'automatiser l'étalonnage des atténuateurs de précision, et ainsi augmenter les capacités d'étalonnage dans ce domaine de son laboratoire d'étalonnage.

Références

- [1] J. Achkar et T. Colard, « Etude sur le bruit radioélectrique » dans Rapport d'étude n°1266, janvier 1994.
- [2] A.E. Bayley, Microwave measurement, IEE Electrical Measurement Series 3, 1985, Ch. 10 pp 195-222.
- [3] G. Evans and C. W. McLeish, RF Radiometer Handbook, Artech House, 1977, Ch. 2 p 26 et Appendix A
- [4] L. Erard, « Etude d'un étalon de bruit radioélectrique » dans Rapport d'étude n°407, septembre 1971.