

MCours.com

***Chapitre III***  
***Etude des effets des paramètres de***  
***la source sur la détermination des***  
***paramètres du bruit d'un 2-ports***

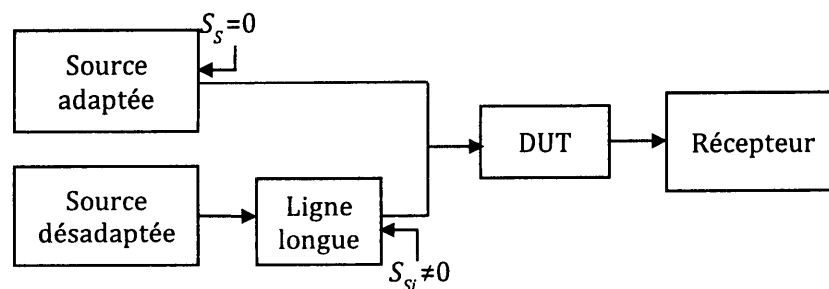
### III.1. Introduction

Actuellement, les amplificateurs à faible bruit deviennent plus silencieux et plus répandus, mais les petites différences dans les paramètres de bruit deviennent de plus en plus importantes [20]. Ainsi, une analyse d'incertitude s'avère très utile pour une bonne compréhension du fonctionnement de ces dispositifs. Dans ce chapitre, on présentera d'abord la méthode de mesure des paramètres d'un 2-ports bruit par la méthode de variation de fréquence, ainsi la méthode du calcul des paramètres du bruit.

Dans une deuxième partie on effectuera une étude des effets des paramètres de la source sur la détermination des paramètres du bruit d'un 2-ports, on présentant les différents résultats obtenus.

### III.2. Mesure de bruit par la méthode y et le principe de variation de la fréquence

Dans cette partie, on présente la méthode de détermination des paramètres de bruit d'un 2-ports linéaire. Le système de mesure du bruit est basé sur l'utilisation d'une source désadapté en cascade avec une ligne de transmission "longue" (figure III.1). Les mesures du bruit sont réalisées selon la méthode y-factor et le principe de variation de fréquence [11], [12].



**Figure III.1 :** Schéma bloc du système de mesure du bruit selon la méthode y et le principe de de variation de fréquence.

Avec :

Récepteur : c'est le mesureur de bruit.

DUT : dispositif à caractériser (device under test).

$S_s = se^{j\varphi_s}$  : Coefficient de réflexion de la source ou s est le module et  $\varphi_s$  leur phase.

La mesure du bruit se fait en deux étapes :

- Une mesure adaptée en connectant une source de bruit adaptée ( $S_s = 0$ ).
- Plusieurs mesures désadaptées pour différents valeurs des coefficients de réflexions (impédance) de la source de bruit désadaptée ( $S_{si} \neq 0$ ).

### III.2.1 Principe de la mesure du bruit par variation de fréquence

La méthode de mesure du bruit par variation de fréquence a été proposée pour la première fois en 1978 par Meys [13], et adoptée ensuite par plusieurs auteurs. La méthode par variation de fréquence est basée sur deux idées :

a) Si une source avec un facteur de réflexion non-nul est placée en cascade avec une ligne de transmission "longue" et la fréquence est légèrement modifiée autour de la fréquence de caractérisation, alors le facteur de réflexion à la sortie de la source de bruit désadaptée plus la ligne de transmission, variera rapidement sur un cercle, fournissant les facteurs de réflexions nécessaires pour définir la fonction de température de bruit.

b) Une modification légère de la fréquence ne pose pas de problèmes lors de la plupart des mesures de bruit. Le bruit est, en effet, une propriété qui dépend essentiellement du premier étage d'une chaîne (principalement du premier transistor du premier amplificateur). Le bruit présente moins d'ondulation avec la fréquence que dans le cas du gain (qui dépend de la même manière de tous les étages de la chaîne de mesure, y compris ceux qui sont électriquement longs).

### III.2.2 Création d'un facteur de réflexion de source non-nul

Durant les mesures, le facteur de réflexion non-nul (désadapté) à présenter à l'entrée du dispositif à caractériser est obtenu en utilisant une source de bruit désadaptée. Cette source de bruit désadaptée est construite en cascade d'une diode et d'un atténuateur désadapté (figure III.2).

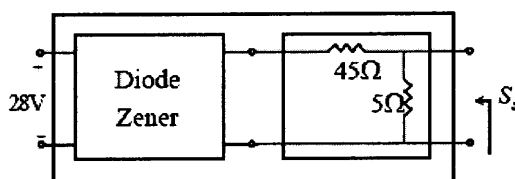


Figure III.2 : Schéma simplifié de la source de bruit désadaptée.

Un module du facteur de réflexion de la source très grand ou très petit devrait être évité [14], [15]. La raison découle également de l'équation (III.23) qui est utilisée pour

calculer  $T_b$ . Si  $s^2$  est proche de 1, l'erreur sur ce facteur va fortement augmenter l'erreur relative sur le dénominateur (par exemple avec  $s^2 = 0.8$ , une erreur de 0.01 sur  $s^2$  conduit à une erreur de 5% sur  $1 - s^2$ ). D'autre part, supposons que  $s^2$  est faible. Alors, pour  $s^2 = 0.2$  et  $T_a = T_b = 300 K$ , l'équation s'écrit :

$$s^2 T_b = (1 - s^2) \bar{T} - T_a \quad (\text{III.1})$$

$$60K = 360K - 300K \quad (\text{III.2})$$

Une erreur de 1% sur  $T_a$  produit une erreur de 5% sur  $T_b$ . En conclusion, une bonne règle de conception est de choisir  $s^2$  entre 0.8 et 0.2 ( $s$  entre  $s_M = 0.9$  et  $s_m = 0.45$ ).

### III.2.3 Variation de la phase du facteur de réflexion de la source

Le principe de la méthode par variation de fréquence consiste à utiliser un transformateur de facteur de réflexion, qui doit être un dispositif linéaire et passif dont la phase du facteur de réflexion de sortie varie rapidement en fonction de la fréquence par rapport aux autres éléments du système de mesures (source de bruit, dispositif à mesurer, récepteur). Tandis que le module du facteur de réflexion reste relativement constant dans les mêmes conditions.

Parmi les dispositifs micro-ondes, une ligne de transmission suffisamment longue peut satisfaire à une telle condition.

Le facteur de réflexion  $S$  à la sortie d'une ligne est lié au facteur de réflexion  $S_s$  à l'entrée par :

$$S = S_s e^{-2\gamma l} = S_s e^{-2\alpha l} e^{-j2\beta l} = S_s e^{-2\alpha l} e^{-j\varphi} \quad (\text{III.3})$$

Où  $\gamma = \alpha + j\beta$  désigne la constante de propagation complexe,  $l$  la longueur de la ligne et  $\varphi$  la phase du facteur de réflexion. Etant donné la relation classique :

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (\text{III.4})$$

et

$$c = \lambda f \quad (\text{III.5})$$

Où  $\lambda$  et  $f$  désignent respectivement la longueur d'onde et la fréquence de l'onde se propageant le long de la ligne,  $c$  représente la vitesse de la lumière dans le vide.

Dès lors, la phase à la sortie de la ligne est donnée par :

$$\varphi = 2\beta l = \frac{4\pi l}{\lambda} = \frac{4\pi l f}{c} = p_{TL} f \quad (\text{III.6})$$

Avec

$$p_{TL} = \frac{4\pi l}{c} = \frac{2\beta l}{f} \quad (\text{III.7})$$

$p_{TL}$  représente la pente de la ligne. C'est une grandeur exclusivement liée aux propriétés physiques de la ligne et non pas à ses aspects de transmission. Donc,  $p_{TL}$  est un paramètre approximativement constant en fonction de la fréquence ( $\beta$  est fonction de l'inductance et de la capacité de ligne qui sont des fonctions variant faiblement en fonction de la fréquence).

On en déduit de l'expression (III.6) que :

$$\Delta\varphi = p_{TL} \Delta f \quad (\text{III.8})$$

Donc, toute variation de la phase du facteur de réflexion de la ligne se traduit par une variation de la fréquence et vice-versa.

Ainsi, la caractérisation du bruit d'un dispositif à une fréquence  $f_0$  nécessite une mesure avec la source adaptée et au minimum trois mesures avec la source désadaptée aux fréquences  $f_i$ , définies par :

$$f_i = f_0 - \frac{\Delta\varphi}{p_{TL}} \quad (\text{III.9})$$

Ou encore si :

$$\Delta\varphi = \varphi_{si} - \varphi_{s0} = 180 \left( l - \frac{2i}{m} \right) \quad (\text{III.10})$$

Où  $\varphi_{s0}$  et  $\varphi_{si}$  représentent, respectivement, la phase du facteur de réflexion à la sortie de la ligne à la fréquence centrale  $f_0$  et à la sous-fréquence de mesure  $f_i$

$i = 1 \dots m$ , tel que  $m$  est le nombre de mesures permettant d'avoir une variation de phase du facteur de réflexion de la source de  $360^\circ$ .

En remplaçant (III.10) dans (III.9), on obtient :

$$f_i = f_0 - \frac{180}{p_{TL}} \left( l - \frac{2i}{m} \right) \quad (\text{III.11})$$

Ainsi, au lieu de choisir arbitrairement ou aléatoirement les phases des facteurs de réflexion, celles-ci sont sélectionnées de manière à permettre une rotation de phase de  $360^\circ$  du facteur de réflexion et cela de manière équidistante (au maximum  $120^\circ$  entre chacune des phases).

Contrairement aux autres méthodes de mesure des paramètres du bruit, travaillant à fréquence fixe, la méthode par variation de phase/fréquence nécessite une connaissance précise de la fréquence pour chacune des mesures et suppose qu'il n'y a pas de variation des propriétés des autres éléments du système de mesure sur la bande de fréquences autour de la fréquence centrale de mesure.

### III.3. Méthode de calcul des paramètres de bruit d'un circuit 2-ports linéaire

La puissance utilisable équivalente du bruit à l'entrée du dispositif à mesuré (DUT)

$P_{ni}$  est donnée, en fonction du facteur de réflexion de la source  $S$ , par :

$$P_{ni}(S) = K.BW_n.(T_n(S) + T_s) \quad (\text{III.12})$$

Où  $T_n(S)$  désigne la température de bruit de la chaîne DUT-récepteur et  $T_s$  désigne la température de la source.

La puissance utilisable de bruit à la sortie de la chaîne de réception  $P_{no}$  est exprimée en fonction de  $P_{ni}$  par l'expression :

$$P_{no}(S) = G_{adr}(S).P_{ni}(S) = G_{adr}(S).K.BW_n.(T_n(S) + T_s) \quad (\text{III.13})$$

Où  $G_{adr}$  désigne le gain en puissance utilisable de la chaîne DUT-récepteur.

Etant donné que la source de bruit a deux états :

- a) L'état froid ou coupé (état "of") : caractérisé par un facteur de réflexion  $S^{of}$ , et une température de bruit  $T_s = T_{of}$  (pour les sources à semi-conducteur  $T_{of}$  est égale à la température ambiante ou physique  $T_p$ ).
- b) L'état chaud (état "on") : caractérisé par un facteur de réflexion  $S^{on}$ , et une température de bruit  $T_s = T_{on}$ .

Le facteur  $y$  est défini par le rapport des puissances utilisables en sortie aux deux états de la source :

$$y = \frac{P_{no}(S^{on})}{P_{no}(S^{of})} = \frac{G_{adr}(S^{on})T_n(S^{on}) + T_{on}}{G_{adr}(S^{of})T_n(S^{of}) + T_p} \quad (\text{III.14})$$

Le gain en puissance utilisable  $G_{adr}(S^{on/of})$  de la chaîne DUT-récepteur aux deux états de la source de bruit adaptée est donné par [16] :

$$G_{adr}(S^{on/of}) = |S_{21}|^2 \frac{1 - |S^{on/of}|^2}{|1 - S_{11}S^{on/of}|^2 - |S_{22} - \Delta_s S^{on/of}|^2} \quad (\text{III.15})$$

Avec

$$\Delta_s = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (\text{III.16})$$

La température du 2-ports correspondante aux deux états de la source de bruit adaptée  $T_n(S^{on/of})$ , est donnée par l'expression (II.52) :

$$T_n(S^{on/of}) = \frac{T_a + (s^{on/of})^2 T_b + 2s^{on/of} T_c \cos(\varphi_s^{on/of} + \varphi_c)}{1 - (s^{on/of})^2} \quad (\text{III.17})$$

Sachant que  $S_{12} = 0$  pour la chaîne DUT-récepteur, et en remplaçant les expressions du gain et de la température dans l'équation (III.14), on obtient :

$$y = \frac{1 - (s^{on})^2}{1 - (s^{of})^2} \cdot \frac{|1 - S_{dr}S^{of}|^2}{|1 - S_{dr}S^{on}|^2} \cdot \frac{T_n(S^{on}) + T_{on}}{T_n(S^{of}) + T_p} \quad (\text{III.18})$$

Où  $S_{dr}$  représente le facteur de réflexion d'entrée de la chaîne DUT-récepteur.

L'expression (III.18) représente l'expression exacte du facteur  $y$ . Ainsi, lors de l'application de la méthode y-factor, on effectue :

a) une mesure du facteur  $y$  avec la source de bruit adaptée "y<sub>0</sub>", tel que :

$$y_0 = \frac{1 - (s^{on})^2}{1 - (s^{of})^2} \frac{|1 - S_{dr}S^{of}|^2}{|1 - S_{dr}S^{on}|^2} \frac{T_n(S^{on}) + T_{on0}}{T_n(S^{of}) + T_p} \quad (\text{III.19})$$

b) une série de mesures du facteur  $y$  avec la source de bruit désadaptée "y<sub>i</sub>" ( $i = 1, \dots, m$ ), tel que :

$$y_i = \frac{1 - (S_i^{on})^2}{1 - (S_i^{of})^2} \frac{|1 - S_{dr} S_i^{of}|^2}{|1 - S_{dr} S_i^{on}|^2} \frac{T_n(S_i^{on}) + T_{on0}}{T_n(S_i^{of}) + T_p} \quad (III.20)$$

### III.3.1. Calcul approché des paramètres de bruit

Nous avons vu au chapitre 2 que la température du bruit d'un 2-ports varie sinusoidalement (figure III.3.b) lorsque la phase du facteur de réflexion de la source  $\varphi_s$  varie sur une circonférence centrée à l'origine dans le plan du facteur de réflexion.

Supposons qu'on réalise  $m$  mesures désadaptées de la température de bruit  $T_{ni}$  le long du cercle  $C$  de la (figure III.3.a), ce qui signifie avec un module  $s$  constant et des phases  $\varphi_{si}$  régulièrement réparties sur  $360^\circ$  :

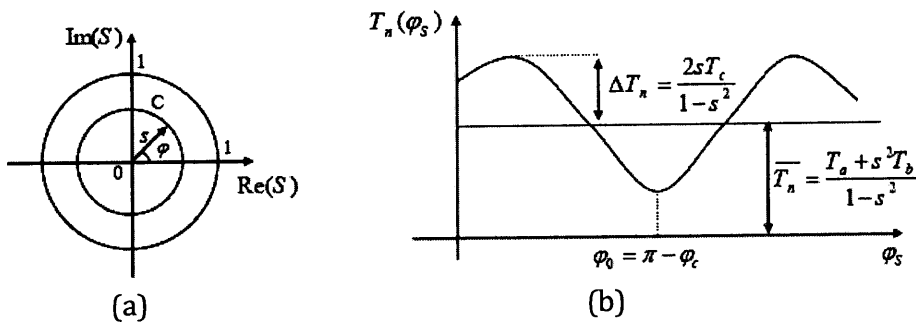


Figure III.3 : La variation de  $T_n$  à  $s$  constant et  $\varphi_s$  variable.  
(a) Variation de  $S$  sur un cercle (b) Variation de  $T_n$  en fonction de  $\varphi_s$

$$\varphi_{si} = \varphi_0 - i \frac{2\pi}{m} \quad (III.21)$$

Où  $i = 0, 1, \dots, (m-1)$  et  $\varphi_c$  désigne la phase initiale arbitraire.

Utilisant les propriétés trigonométriques adéquates, on peut montrer que :

$$\sum_0^{m-1} \cos(\varphi_{si} + \varphi_c) = 0 \quad (III.22)$$

En considérant l'équation (III.22), les valeurs de  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$  et  $\varphi_c$  qui minimisent la somme des carrés des erreurs entre le modèle et les mesures sont obtenues en utilisant les formules suivantes :

$$T_b = \frac{(1 - s^2) P_1 - T_a}{s^2} \quad (III.23)$$



$$T_c = \frac{(1-s^2)}{2s} P_3 \quad (\text{III.24})$$

$$\varphi_c = P_2 \quad (\text{III.25})$$

Avec

$$P_1 = \frac{1}{m} \sum_0^{m-1} T_{ni} \quad (\text{III.26})$$

$$P_2 = \tan^{-1} \left[ \frac{\sum_0^{m-1} T_{ni} \sin(\varphi_{si})}{\sum_0^{m-1} T_{ni} \cos(\varphi_{si})} \right] \quad (\text{III.27})$$

$$P_3 = \frac{2}{m} \sum_0^{m-1} T_{ni} \sin(\varphi_{si} + P_2) \quad (\text{III.28})$$

$$T_{ni}(S_i) = \frac{T_a + s_i^2 T_b + 2s_i T_c \cos(\varphi_{si} + \varphi_c)}{1 - s_i^2} \quad (\text{III.29})$$

La valeur de  $P_2$  donnée par (III.27) est indéfinie à  $\pi$  près, il faut choisir sa valeur de manière que  $P_3$  et  $T_c$  soient positifs.

En supposant que le facteur de réflexion de la source de bruit adaptée est nul et ne varie pas entre les deux états "on" et "of" ( $S_{on} = S_{of} = 0$ ), l'expression (III.17) donne :

$$T_n(S^{on}) = T_n(S^{of}) = T_a \quad (\text{III.30})$$

Dans ce cas, l'expression (III.19), se réduit à :

$$y_0 = \frac{T_a + T_{on0}}{T_a + T_p} \quad (\text{III.31})$$

Ce qui permet d'obtenir une approximation de premier ordre pour le paramètre  $T_a$  :

$$T_a = \frac{y_0 T_{on0} - T_p}{y_0 - 1} \quad (\text{III.32})$$

En supposant, maintenant, que pour la source désadaptée  $S_i^{on} = S_i^{of}$ , l'expression (III.20) donne la température  $T_{ni}(S_i)$  du 2-ports pour les  $m$  mesures désadaptées :

$$T_{ni}(S_i) = \frac{y_i T_{on} - T_p}{y_i - 1} \quad (\text{III.33})$$

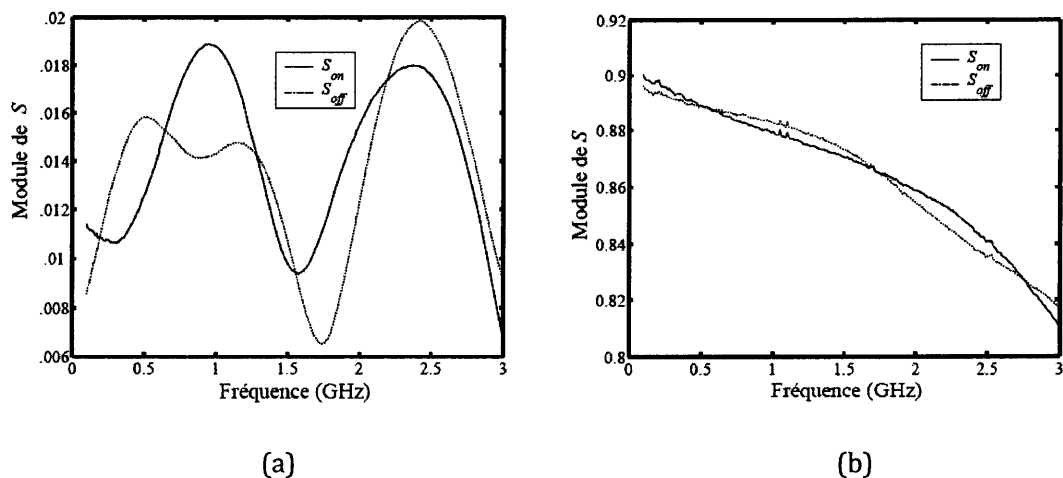
Et dès lors, utilisant les expressions (III.32) et (III.33) dans les expressions (III.23) à (III.25), on peut calculer une première approximation des paramètres du bruit  $T_b$ ,  $T_c$  et  $\varphi_c$ .

### III.3.2. Optimisation des paramètres de bruit

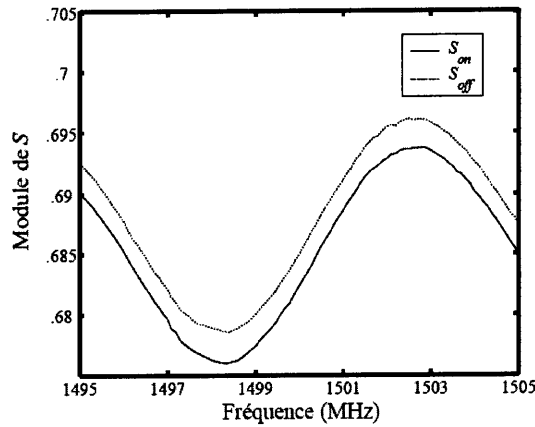
#### a. Justification

Les expressions (III.23) à (III.25), avec la mesure adaptée qui fournit directement  $T_a$  donnent une bonne approximation de la fonction température de bruit  $T_n(S)$ . Cependant, il existe quelques erreurs expérimentales qui sont négligées dans ce calcul :

- le facteur de réflexion de la source de bruit adaptée n'est pas parfaitement égal à zéro (figure III.4.a) ;
- le facteur de réflexion de la source de bruit (adaptée et désadaptée) change entre ses deux états 'on' et 'of' (figure III.4.a et III.4.b).
- lorsque on varie la fréquence sur une bande étroite  $\Delta f$  autour de la fréquence de mesure, le module du facteur de réflexion de la combinaison source de bruit désadaptée (court-circuit) plus la ligne varie légèrement (figure III.5).
- la température de bruit à la sortie de cette combinaison varie aussi sur la bande de fréquence  $\Delta f$ .
- avec la procédure de variation de fréquence les phases  $\varphi_{si}$  ne peuvent pas être régulièrement réparties sur  $360^\circ$ . Cela rend l'équation (III.22) différente de zéro.



**Figure III.4 :** Effet on/of - Variation du module du facteur de réflexion de la source entre ses deux états (a) source de bruit adaptée (b) Source de bruit désadaptée.



**Figure III.5 :** Variation du module du facteur de réflexion à la sortie de la ligne longue autour de la fréquence 1.5 GHz.

Afin de diminuer les erreurs induites par la procédure d'approximation du premier ordre, on introduit un processus de minimisation numérique de l'erreur entre les grandeurs mesurées (facteur  $y$ ) et celles reconstruites à partir des paramètres de bruit (modèle théorique).

Le processus de minimisation consiste en une méthode d'optimisation numérique multidimensionnelle (variables  $T_a, T_b, T_c$  et  $\varphi_c$ ), Etant donné que les températures de bruit sont des grandeurs physiques positives (contraintes).

**b. Procédure d'optimisation**

Etant donné qu'une approximation du premier ordre des paramètres de bruit et de la température de bruit  $T_n(S)$  est disponible, les facteurs  $y_0, y_i$  (donnés par les expressions (III.19), (III.20) respectivement) peuvent être calculés :

On désigne par :

-  $y_{c0}$  : le facteur  $y$  calculé, qui correspond à la mesure adaptée. Il est donné par (III.19) :

$$y_{c0} = \frac{1 - (S^{on})^2}{1 - (S^{of})^2} \cdot \frac{|1 - S_{dr} S^{of}|^2}{|1 - S_{dr} S^{on}|^2} \cdot \frac{T_n(S^{on}) + T_{on0}}{T_n(S^{of}) + T_p} \tag{III.34}$$

-  $y_0$  : le facteur  $y$  mesuré utilisant la source de bruit adaptée.

-  $y_{ci}$  : le facteur  $y$  calculé, qui correspond à la  $i^{\text{ème}}$  mesure désadaptée. Il est donné par (III.20) :

$$y_{ci} = \frac{1 - (S_i^{on})^2}{1 - (S_i^{of})^2} \cdot \frac{|1 - S_{dr} S_i^{of}|^2}{|1 - S_{dr} S_i^{on}|^2} \cdot \frac{T_n(S_i^{on}) + T_{oni}}{T_n(S_i^{of}) + T_p} \quad (\text{III.35})$$

-  $y_{mi}$  : la  $i^{\text{ème}}$  mesure du facteur  $y$  effectuée en utilisant la source de bruit désadaptée.

Par suite, on définit et on calcul une fonction d'erreur quadratique, EF dont l'expression est la suivante :

$$EF = w \left( \frac{y_{c0} - y_0}{y_0} \right)^2 + \sum_0^{m-1} \left( \frac{y_{ci} - y_{mi}}{y_{mi}} \right)^2 \quad (\text{III.36})$$

Où  $w$  est un facteur de poids. Les différentes simulations effectuées ont montré que le choix  $w = m$  paraît produire une bonne distribution de l'erreur.

Enfin, la procédure d'optimisation basée sur l'algorithme de Hooke-Jeeves fournit l'ensemble des paramètres  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$  et  $\varphi_c$  qui conduisent à la meilleure concordance possible entre l'ensemble des mesures et le modèle théorique.

Bien qu'il soit toujours possible d'appliquer exclusivement un algorithme d'optimisation, il est préférable d'utiliser une approximation du premier ordre afin d'éviter la divergence du processus d'optimisation (minima locaux, non convergence de l'algorithme, ...).

#### **III.4. Etude de l'effet des paramètres de la source sur la détermination des paramètres du bruit**

La source de bruit représente le dispositif le plus important dans une chaîne de mesure du bruit. Cette source est caractérisée par deux paramètres : son coefficient réflexion et sa température chaude dont les valeurs peuvent avoir une grande influence sur la précision de la détermination des paramètres du bruit d'un 2-ports.

Dans cette section, nous allons effectuer une étude des effets des paramètres de la source sur la détermination des paramètres du bruit par variation de fréquence. On a adopté une procédure d'évaluation basée sur une méthode statistique pour le calcul des incertitudes sur les paramètres du bruit.

## III.4.1. Procédure d'évaluation

La procédure d'évaluation adoptée pour l'étude des effets des paramètres de la source sur les paramètres du bruit d'un circuit 2-ports est illustrée par le l'organigramme suivant :

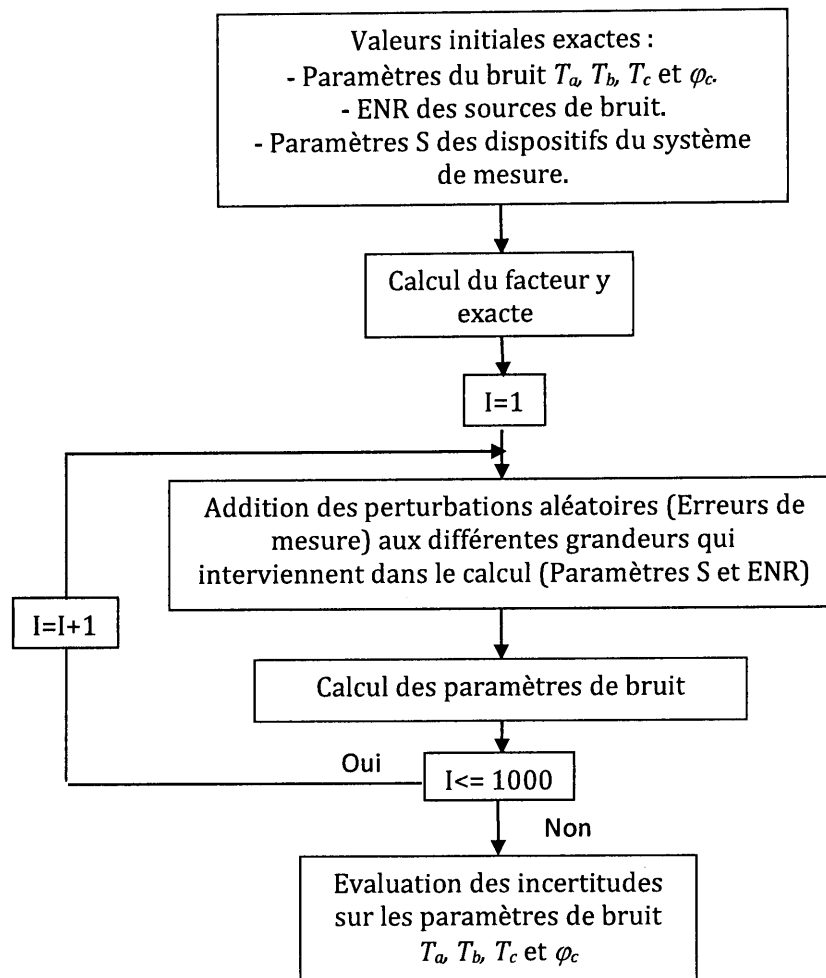


Figure III.6 : Algorithme de la procédure d'évaluation des effets des paramètres de la source.

Le calcul s'effectue selon les étapes suivantes :

1. Choix des valeurs initiales des différents paramètres du système de mesure qui interviennent dans la détermination des paramètres du bruit. Désormais, ces valeurs constituent les données de référence pour l'évaluation des incertitudes :

- Paramètres de bruit  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$  et  $\varphi_c$  du DUT.
- ENR des deux sources de bruit.
- Paramètres S des différents dispositifs et composants utilisés dans le système de mesure du bruit (sources de bruit, ligne longue DUT, ...).

2. Calcul des valeurs exactes de facteur  $y$ , à partir des équations (III.34) et (III.35). Ce facteur représente les mesures du bruit, à partir desquels les paramètres du bruit sont déterminés par la procédure décrite dans le paragraphe III.3.
3. Addition des erreurs aux grandeurs qui interviennent dans la détermination des paramètres du bruit. Celles-ci comprennent le coefficient de réflexion de la source, les paramètres  $S$  de DUT, la température ambiante  $T_p$ , les ENR des sources de bruit, et les facteurs  $y$  etc.

Le choix des valeurs maximales des erreurs a été effectué à partir de la littérature [3], [17], [18]. Ils correspondent aux valeurs conventionnelles des erreurs commises par les appareils de mesures du bruit (mesureur de bruit) et des paramètres  $S$  (analyseur de réseaux).

4. Le calcul des paramètres de bruit est effectué 1000 fois. A chaque itération (évaluation des paramètres du bruit), la valeur de l'erreur sur un paramètre donné est choisie aléatoirement parmi  $10^6$  (un million) de valeurs générées par un générateur de nombre aléatoire qui suit une distribution gaussienne pour les puissances de bruit ( $ENR$ ,  $y$ ) et les modules des paramètres  $S$  et une distribution uniforme pour la température ambiante et les phases des différents paramètres  $S$ .
5. Enfin, les erreurs RMS (en  $dB$ ), sont obtenues à partir des valeurs exactes des paramètres de bruit ( $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$  et  $\varphi_c$  et  $F_{min}$ ,  $R_n$  et  $S_{opt}$ ) et ceux calculés à partir des mesures bruitées. L'erreur RMS est définie pour le paramètre de bruit  $T_a$ , par exemple, par l'expression suivante :

$$RMS (dB) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( 10 \log \left( \frac{T_{ac}}{T_{ar}} \right) \right)^2} \quad (III.37)$$

Où  $T_{ar}$  et  $T_{ac}$  désignent, respectivement, les valeurs exacte et calculée du paramètre  $T_a$ .

#### III.4.2. Résultats des simulations

Nous présentons dans cette section les résultats des simulations réalisées sous Matlab. Les valeurs des principaux paramètres de références sont données par le tableau suivant :

Paramètre	$T_a (K)$	$T_b (K)$	$T_c (K)$	$\varphi_c (^\circ)$	ENR de la source adaptée (dB)	ENR de la source désadaptée (dB)
Valeur	478.5	333.5	341	10	9.2462	11.5655

Tableau III.1 : Les valeurs des principaux paramètres de références

Les paramètres de bruit du dispositif à caractériser sont ceux d'un composant passif qui présente un comportement similaire à celui d'un transistor [1]. Les simulations réalisées sont regroupés dans deux catégories :

**a. Effet du module du coefficient de réflexion de la source désadaptée  $S_s$**

Afin d'étudier l'effet de l'amplitude du coefficient de la source sur la précision de la détermination des paramètres du bruit d'u circuit 2-ports, nous avons calculé les erreurs RMS sur les paramètres  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$  et  $\varphi_c$  et les paramètres  $F_{min}$ ,  $R_n$  et  $S_{opt}$  en fonction de  $S_s$ . On varie  $S_s$  de 0.2 à 0.9 avec un pas de 0.1 et pour différentes valeurs de  $S_{opt}$ . Les résultats obtenus sont données par les figures de III.7 à III.14.

**b. Effet de la température chaude des sources adaptée et désadaptée**

Pour examiner l'effet de la valeur des températures chaudes des sources adaptée et désadaptée, nous avons calculé les erreurs RMS sur les paramètres du bruit pour les deux cas suivant :

- On varie la température chaude de la source adaptée de 500 K à 3300 K avec un pas de 400 K et pour différentes valeurs de  $S_{opt}$ . Les résultats obtenus sont données par les figures de III.15 à III.18.
- On varie la température chaude de la source désadaptée de 3000 K à 10000 K avec un pas de 1000 K et pour différentes valeurs de  $S_{opt}$ . Les résultats obtenus sont données par les figures de III.19 à III.22.

On se contente ici, de donner les erreurs pour les paramètres d'onde  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$  et  $\varphi_c$

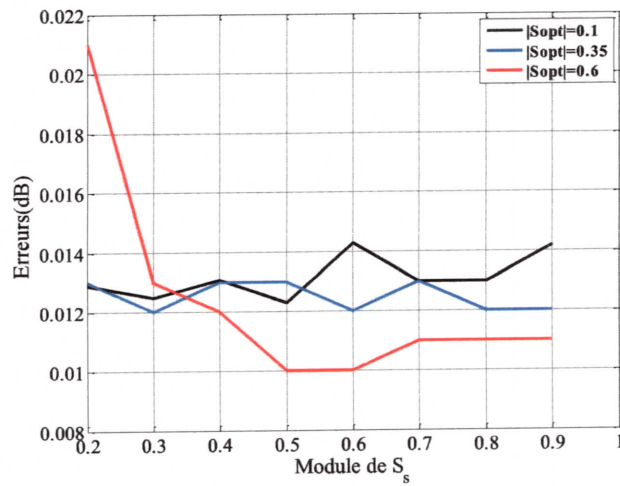


Figure III.7 : Erreurs RMS sur  $T_a$

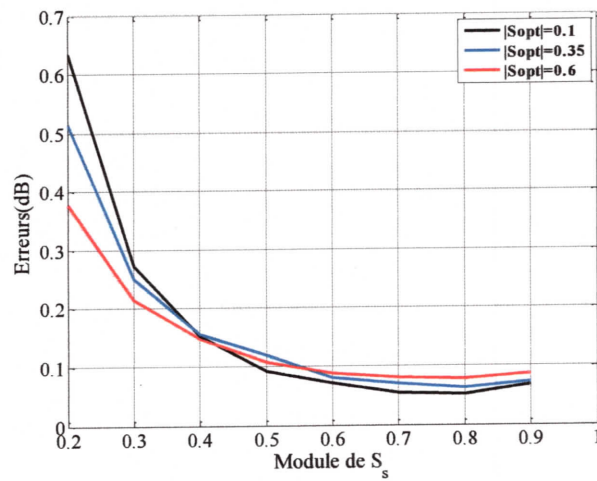


Figure III.8 : Erreurs RMS sur  $T_b$

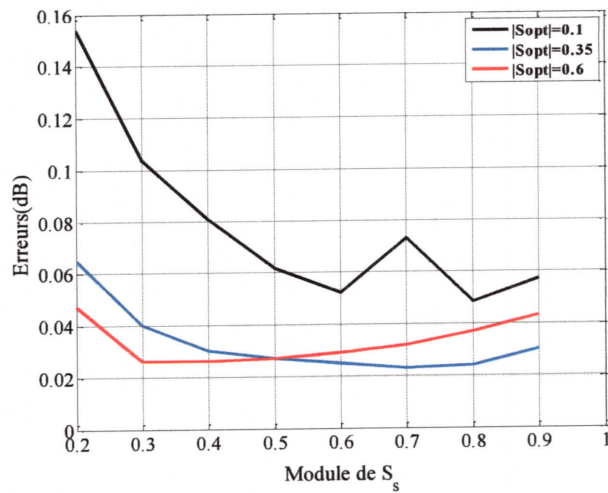


Figure III.9 : Erreurs RMS sur  $T_c$



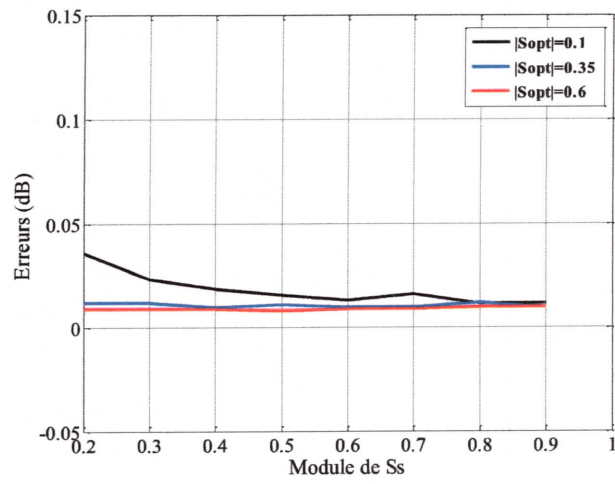


Figure III.10 : Erreurs RMS sur  $\varphi_c$

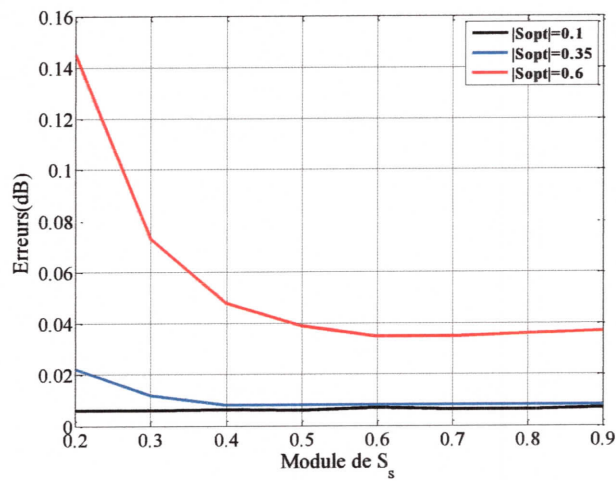


Figure III.11 : Erreurs RMS sur  $F_{min}$

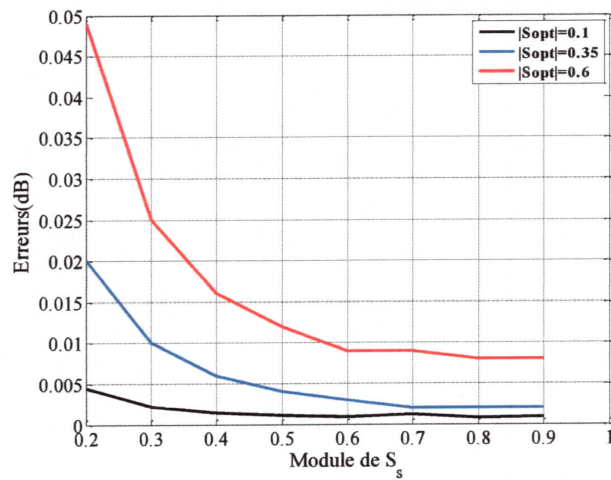


Figure III.12 : Erreurs RMS sur le module de  $S_{opt}$

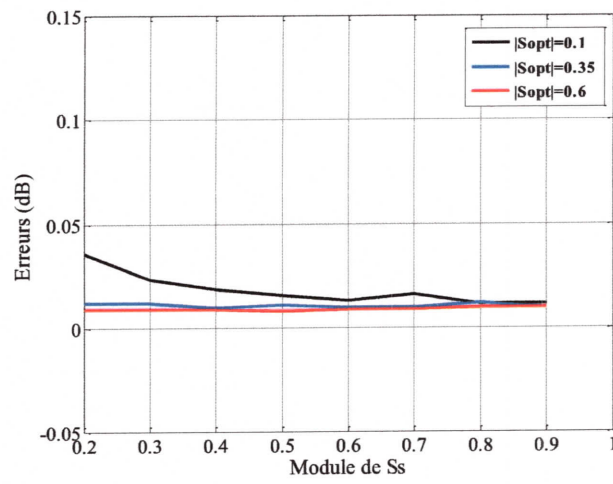


Figure III.13 : Erreurs RMS sur la phase de  $S_{opt}$  ( $\varphi_{opt}$ )

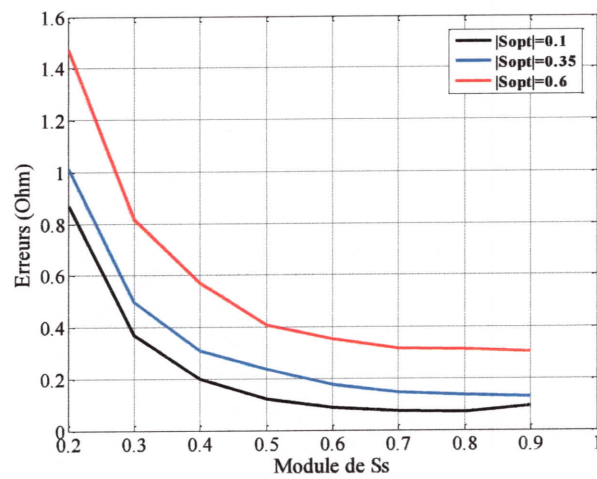


Figure III.14 : Erreurs RMS sur  $R_n$

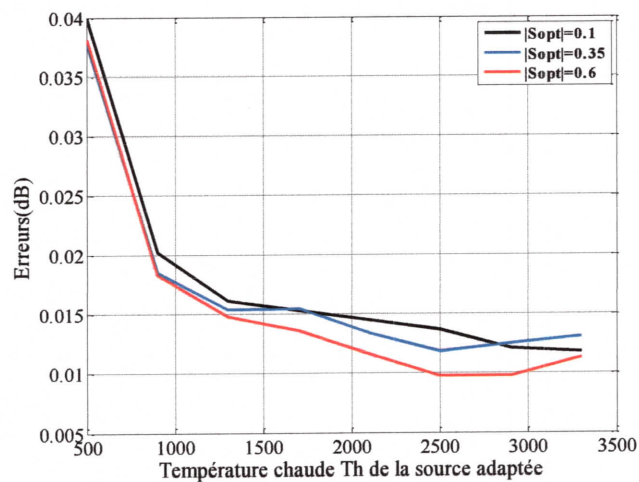


Figure III.15 : Erreurs RMS sur  $T_a$

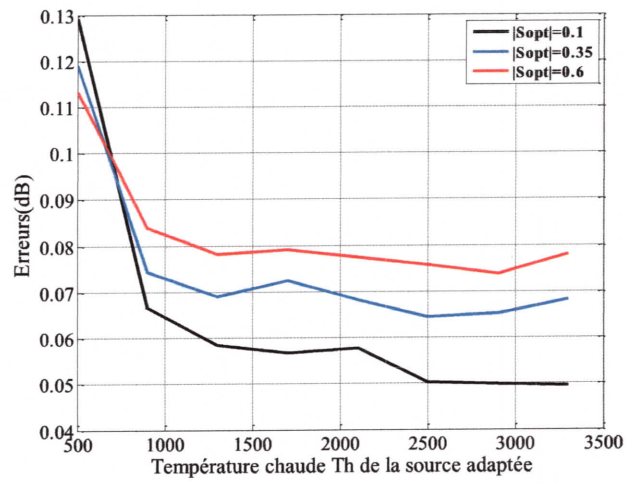


Figure III.16 : Erreurs RMS sur  $T_b$

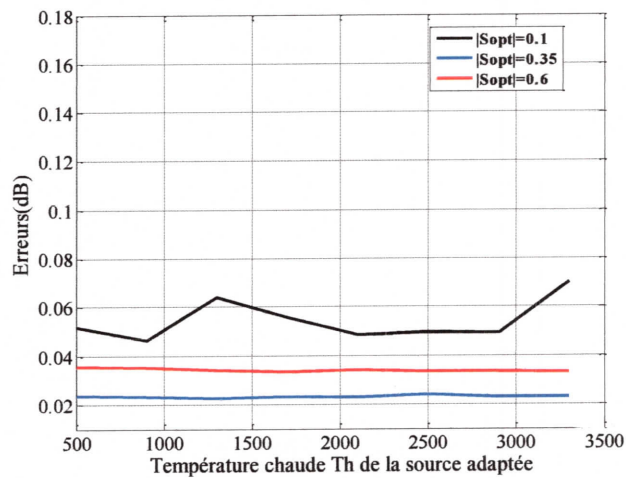


Figure III.17 : Erreurs RMS sur  $T_c$

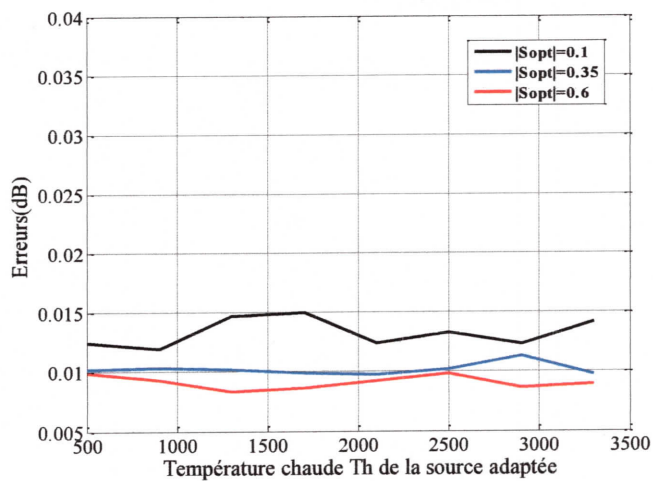


Figure III.18 : Erreurs RMS sur  $\varphi_c$

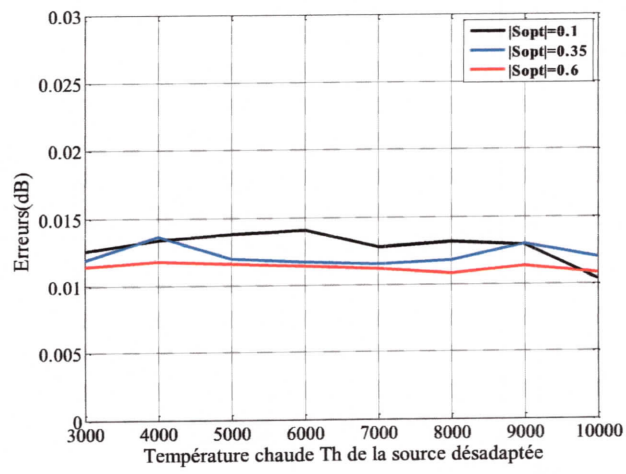


Figure III.19 : Erreurs RMS sur  $T_a$

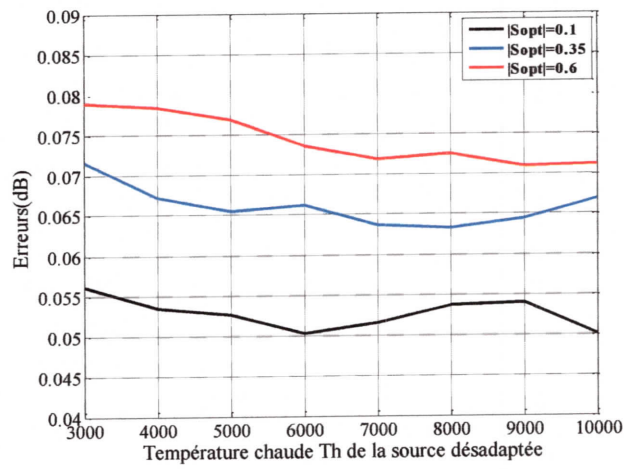


Figure III.20 : Erreurs RMS sur  $T_b$

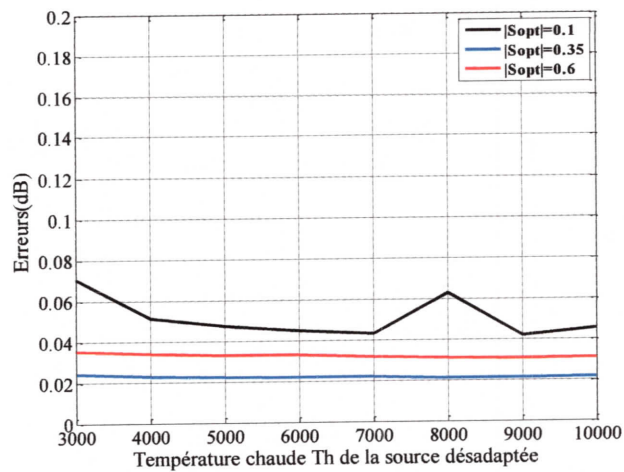
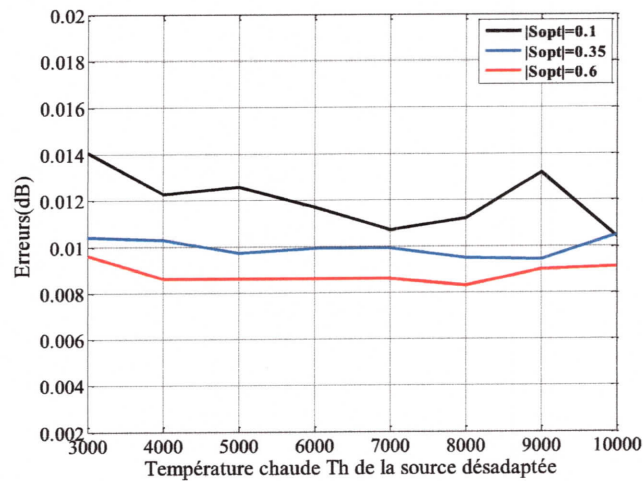


Figure III.21 : Erreurs RMS sur  $T_c$



Figure III.22 : Erreurs RMS sur  $\varphi_c$ 

### III.5. Commentaires et conclusions

Cette analyse d'erreurs nous permet de tirer des conclusions très importantes concernant l'effet des paramètres de la source sur la détermination des paramètres du bruit d'un circuit 2-ports :

- Les valeurs des erreurs RMS obtenus sont relativement faibles. Ceci montre que la méthode de mesure et la procédure du calcul utilisées permettent de déterminer les paramètres des bruits avec une bonne précision.
- En examinant les figures (III.8) et (III.9), on remarque que l'erreur RMS est inversement proportionnelle avec le module du coefficient de réflexion  $S_{si}$  de la source désadaptée plus la ligne longue. Ce résultat confirme la recommandation faite concernant la valeur de ce paramètre au paragraphe III.2.2. Donc, il est évident que la valeur de  $S_{si}$  influe beaucoup sur la détermination des paramètres du bruit  $T_b$  et  $T_c$ . D'autre part, les figures (III.7) et (III.10) montrent que son influence sur  $T_a$  et  $\varphi_c$  est relativement faible.
- Les courbes des figures (III.11), (III.12) et (III.14) montrent que l'amplitude de l'erreur est inversement proportionnelle avec le module du coefficient de réflexion de bruit optimale. Ceci montre que la mesure du bruit d'un dispositif qui présente un coefficient  $S_{opt}$  élevé est relativement délicate.
- Les figures (III.15) et (III.16), montrent que la valeur de la température chaude de la source adaptée influe principalement sur le paramètre  $T_a$ , et indirectement

sur le paramètre  $T_b$  (puisque ce paramètre est calculé à partir de  $T_a$ ). Il est recommandé, alors, d'utiliser une source de bruit avec une température chaude assez élevée par rapport à la température du bruit du dispositif à caractériser. Ceci est aussi confirmé par les résultats obtenus pour la source de bruit désadaptée qui présente une température chaude relativement très élevée. Les figures (III.17) à (III.22) montrent que l'erreur sur la détermination des paramètres du bruit est indépendante de la température chaude de la source de bruit désadaptée.

- e. Les résultats obtenus montrent clairement que les erreurs sur le paramètre  $T_b$  sont les plus importantes. Ceci montre que ce paramètre est le plus difficile à mesurer.

MCours.com