

Le Bruit dans les PréAmplis (Première partie)

Pour commencer , il faut savoir de quoi on parle ! (voici en termes simples ce que j'aurais aimé trouver dans la littérature, avec des commentaires et des exemples)

ENR :

C'est (Excess noise ratio en Anglais) Rapport de bruit en excès en Français !

$$\text{ENR} = (\text{Th} - 290)/290 = \text{Th}/290 - 1$$

290°K = T Ambiante de 17°C est la température couramment employée dans les calculs , en degré kelvin (-273°C + 290 = 17°C)

Facteur Y :

C'est le rapport de puissance à la sortie de l'amplificateur quand on applique à son entrée une source froide (T = 290) , ensuite une source chaude (T = Th) :

$$Y = G(\text{Th} + \text{Tn})/G(290 + \text{Tn}) = (\text{Th}/290 + \text{Tn}/290)/(1 + \text{Tn}/290)$$

La mesure du **facteur Y** est facilement réalisable en insérant un atténuateur à la sortie du préampli pour que le niveau de sortie source chaude (T = Th) soit égal au niveau source froide (T = 290). La valeur de l'atténuateur correspond au facteur Y en dB .

Le terme F :

F exprime le facteur de bruit de l'ampli

$$F = 10 \log ((\text{T} + 290) / 290)$$

$$F = \text{Tn}/290 + 1$$

$$Y = (\text{Th}/290 + F - 1)/F = (\text{ENR} + F)/F = \text{ENR}/F + 1$$

$$F = \text{ENR}/(Y-1)$$

Le terme f :

f exprime le noise figure de l'ampli (désolé il n'y a pas de mot français pour traduire)

$$f = 10 \log F = 10 \log \text{ENR} - 10 \log (Y-1)$$

Le terme Tn :

Tn exprime la température de bruit à l'entrée de l'ampli (en degré kelvin)

$$\text{Tn} = 290(F - 1)$$

Exemple:

Une source de bruit calibrée à 15.6 dB ENR sur 144 MHz, reliée à l'entrée d'un préampli 144 MHz , sur lequel on doit insérer un atténuateur de 15.3 dB pour ramener la sortie à une valeur identique à celle de la source froide, donne les caractéristiques suivantes :

le facteur Y :

$$Y = 10^{(15.3 / 10)} = 33.9 \text{ (rapport de puissance)}$$

le noise figure du préampli :

$$f = 15.6 - 10 \log (33.9 - 1) = 0.43 \text{ dB}$$

le facteur de bruit :

$$F = 10^{(0.43 / 10)} = 1.104 \text{ dB}$$

la température de bruit :

$$T_n = 290 (F - 1) = 290 / (1.104 - 1) = 30 \text{ °K}$$

Facteur de bruit d'une cascade d'amplis :

$$F_N = F_1 + ((F_2 - 1) / G_1) + ((F_3 - 1) / (G_1 * G_2)) + ((F_4 - 1) / (G_1 * G_2 * G_3))$$

F_N est le facteur de bruit de l'ensemble de la cascade des étages

F_1 est le facteur de bruit de l'étage 1

F_2 est le facteur de bruit de l'étage 2

F_3 est le facteur de bruit de l'étage 3

G_1 est le gain de l'étage 1 (en puissance)

G_2 est le gain de l'étage 2 (en puissance)

G_3 est le gain de l'étage 3 (en puissance)

On pourrait aller plus loin , mais après 3 étages le gain est très grand , et on peu estimer que la dégradation est négligeable .

Exemple :

Notre préampli (de l'exemple précédent) a un gain de 24 dB (256 en puissance) est suivi par un ampli qui a un F de 1.8 dB :

$$F_N = 1.104 + ((1.8 - 1) / 256) = 1.107 \text{ dB} \quad (f = 10 \log 1.107 = 0.44 \text{ dB})$$

On voit que la dégradation est peu importante (0.44 pour 0.43dB) car le gain est grand . Mais si le gain est de 12 dB (16 en puissance) il en est autrement :

$$F_N = 1.104 + ((1.8 - 1) / 16) = 1.154 \text{ dB} \quad (f = 10 \log 1.154 = 0.66 \text{ dB !...})$$

Température équivalente de Bruit (pour ceux qui veulent en savoir un peu plus !)

l'entrée du préamp est alimentée par une source de bruit et on dispose d'une puissance P en sortie. On mesure successivement la puissance P pour les 2 valeurs différentes de température de la source .

Dans les 2 cas la puissance P mesurée est égale à :

$$P = k T B V$$

P puissance reçue en Watts

K constante de Boltzmann

T température en Kelvin

B bande passante en Hertz

V amplification du récepteur

si le préampli était parfait le rapport de puissance chaud/froid en sortie serait le même que le rapport de température en entrée, mais comme le récepteur génère du bruit le rapport de puissance en sortie est plus petit que le rapport de température en entrée.

Ce que l'on peu écrire :

$$P_{hot} = k (T_{hot} + T_e) B V = P_h$$

$$P_{cold} = k (T_{cold} + T_e) B V = P_c$$

Te est la température équivalente du récepteur le rapport de puissances mesuré en sortie est le facteur Y

$$P_h / P_c = (T_h + T_e) / (T_c + T_e) = Y$$

on en déduit Te:

$$T_e = T_h - (Y * T_c) / (Y - 1)$$

et le NF équivalent:

$$NF = 10 \text{ Log } ((290+T_e) / 290)$$

La théorie est terminée venons à la pratique

Pour mesurer le bruit d'un ampli on utilise une source de bruit d'ENR connu . La valeur de l'ENR est généralement autour de 15.5 dB . La tension appliquée à la source est de 28 V pour la température de bruit chaude .

Il y a deux méthodes (que je connaisse , il y en a certainement bien d'autres)

- La première méthode (celle que j'utilisais avant) : Une source de bruit home made , un préamp dont le NF est connu et un PC avec sa carte son . L'ensemble préamp et récepteur étant raccordé , la carte son du PC connectée à l'audio du récepteur , la source de bruit est raccordée à l'entrée du préamp . La source non alimentée , récepteur avec l'ACG position off , régler l'audio du récepteur pour être en bas de l'échelle de mesure vers 2 à 3 dB (Ah ! j'oubliais il faut que le logiciel* de mesure de bruit tourne sur le PC !) Alimenter la source de bruit et chercher à avoir une augmentation du bruit de l'ordre de 5 à 6 dB (pour cela agir sur le courant de la source ou intercaler un atténuateur entre la source et le préamp) faire une quinzaine de mesures consécutives et les relever , couper l'alimentation de la source et refaire la série de mesures . Faire la moyenne des deux séries de mesures pour déterminer le Facteur Y du préamp . Echanger le préamp avec celui dont le NF est connu et refaire la manipe , maintenant vous connaissez le Facteur Y des deux préamp , vous êtes à même de calculer le NF du préamp inconnu ! Pas de panique ! je vous ai fait une récap. qui montre la méthodologie

Calcul de l'ENR à partir des données du préampli (celui dont le NF est connu !)

Y-facteur : 6.625 dB (mesuré voir tableau)

NF : 0.99 dB (connu : [NF = ENR - (10 * LOG (10^(Y / 10) - 1)])

ENR : 6.55 dB (déduit)

Mesure de Y-factor			
16 mesures consécutives			
ON	OFF	ON	OFF
11,00	4,30	10,90	3,80
11,00	4,10	11,00	3,90
10,90	4,20	11,10	3,80
10,80	4,20	10,90	3,80
10,90	4,20	10,80	3,50
10,90	4,30	11,00	3,90
10,90	4,30	10,70	3,80
11,10	4,40	11,00	3,60
10,80	4,30	11,10	3,70
10,90	4,40	10,90	3,60
10,70	4,10	11,00	3,60
10,90	4,40	11,10	3,80
10,90	4,40	10,70	3,80
11,20	4,40	10,80	3,90
11,00	4,40	10,90	3,70
10,70	4,20	10,90	3,80

174,60	68,60	174,80	60,00
6,625		7,175	

L'ENR de la source de bruit étant connu , il ne reste plus qu'à calculer le NF du nouveau préamp :

Y-Facteur = 7.175 dB

ENR = 6.55 dB

Reste à calculer le facteur de bruit :

$Y = 10^{(7.175 / 10)} = 5.22$ (rapport de puissance)

le noise figure :

$f = 6.55 - 10 \log (5.22 - 1) = 0.3$ dB

le facteur de bruit :

$F = 10^{(0.3 / 10)} = 1.072$ dB

La mesure avec le **PANFI** de cet exemple a donné un NF de 0.27 dB **C. Q. F. D. !...**

- La deuxième méthode (*celle que j'utilise maintenant*) : beaucoup plus simple , plus rapide , mais aussi plus onéreuse !..... C'est avec un PANFI , (quoi que c'est t'y que cette bête ?) c'est : Precision Automatic Noise Figure Indicateur en Anglais ! en bon Français : Indicateur Automatique de Noise Figure de Précision ! Là , c'est hyper simple : relier la source calibrée à l'entrée du préamp la sortie est reliée à l'entrée du PANFI , juste à lire l'afficheur pour connaître le NF du préamp (simple non !)

Nous avons le résultat de la mesure ! mais est-il valide ?

Malheureusement en ce monde rien n'est parfait! Même le PANFI de haut de gamme qui coûte plusieurs dizaines de milliers de Dollar US a des restrictions dans sa précision de mesure . Beaucoup de facteurs influent sur la précision de la mesure du Bruit . Je vais essayer de les résumer : en premier il y a la température ambiante (voir le tableau joint) ensuite on trouve la désadaptation source / préamp et le câble de liaison , le Gain du préampli et le facteur de bruit de l'ampli qui le suit , les parasites ambiants qui arrivent à traverser malgré les blindages . En conclusion : la dégradation de la mesure est d'autant plus grande que le facteur de bruit mesuré est petit ! Donc donner un NF en centième de dB absolu est du domaine de l'impossible (avec des moyens amateurs même de beaucoup de professionnels) , par contre noter une amélioration ou une dégradation de X centièmes de dB est possible si les conditions de mesure sont identiques . C'est pourquoi je suis plus pour le principe de la mesure relative !..... (rien n'empêche de faire mesurer son préamp de référence dans un labo ou à CJ pour savoir dans quelle fourchette on se situe) . Voilà nous arrivons au terme de cette partie , j'espère que vous aurez un autre regard sur le bruit en général . Et que vous ne direz plus (comme moi-même je l'ai fait avant de savoir) j'ai un préampli qui a un NF de 0.37dB (dire plutôt : environ 0.4 DB) . J'ai essayé d'être le plus simple possible , mais comme vous avez pu le voir rien n'est très simple quand on touche au problème du bruit dans les récepteurs .

J'ajouterai : Que ceux qui savent (ou qui croient savoir) ne me jettent pas la pierre , car cet article ne leur est pas destiné !

Logiciel* : WSJT de K1JT en position mesure , ce logiciel est freeware le télécharger à : <http://pulsar.princeton.edu/~joe/K1JT/>

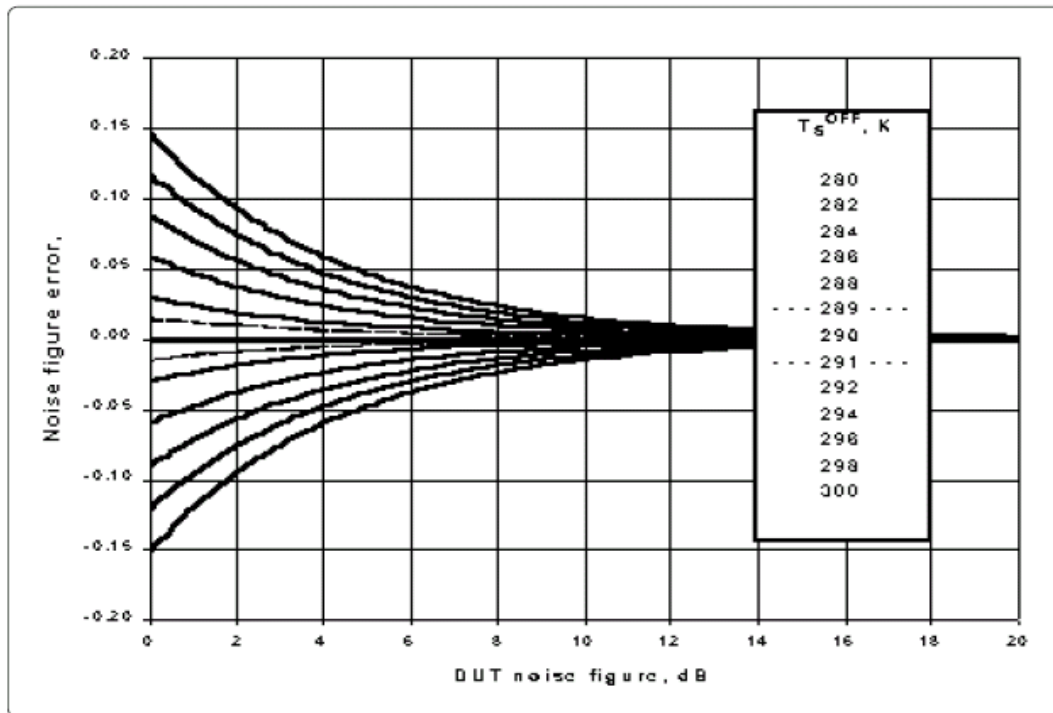


Figure 3-11. Magnitude of error in noise figure measurement if T_s^{OFF} is not 290K. If the noise figure instrument can correct for the actual value of T_s^{OFF} an equal error arises if the value input to the instrument is not correct.

Dégradation de la mesure en fonction de la température ambiante de la source de bruit (Graphique de la doc du PANFI Ailtech)

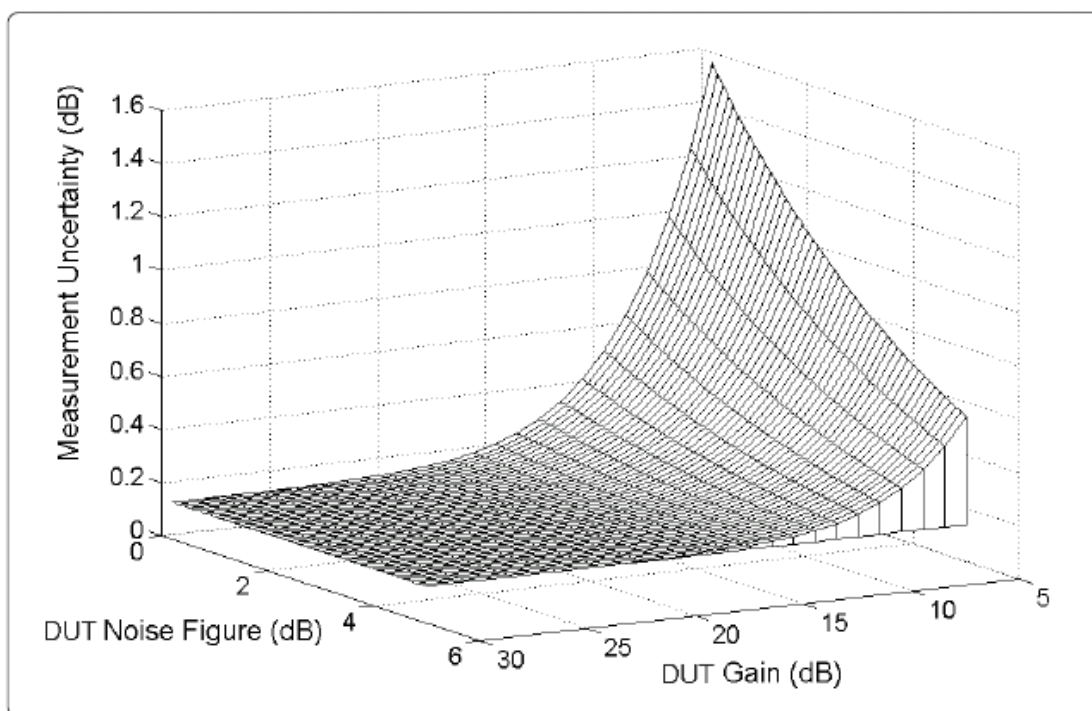


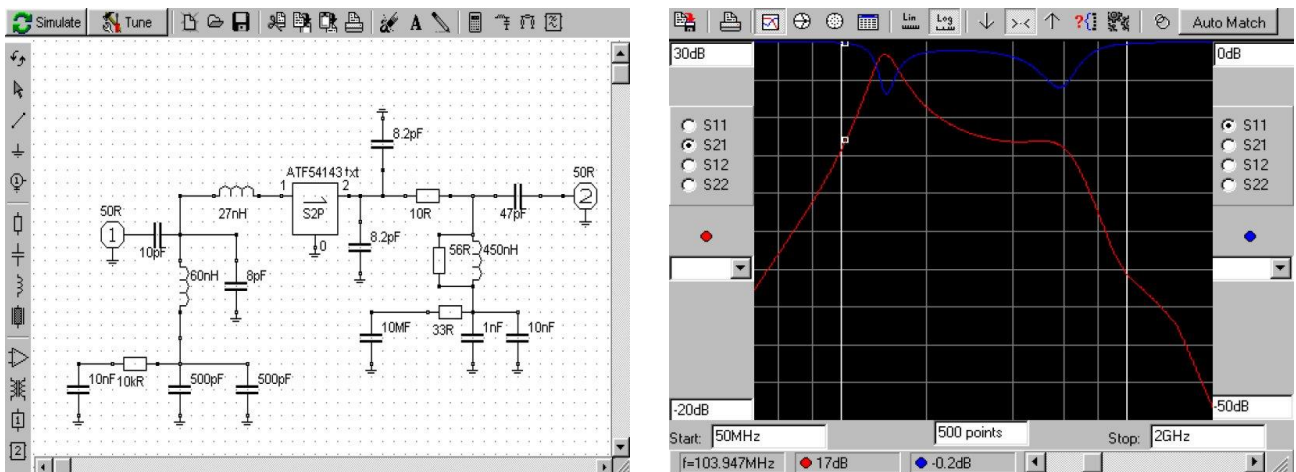
Figure 6-2. 3-D plot of typical RSS uncertainty versus DUT noise figure and gain.

Un autre graphique qui tient compte du NF mesuré et du Gain du préamp(document Agilent)
 On notera sur ce graphique que dans tous les cas, l'incertitude est au minimum de 0.1 dB !

Un PréAmpli avec un ATF54143 (Deuxième partie)

Pour faire une suite la mesure du bruit , voici un exemple de préampli performant . En effet depuis peu on trouve sur le marché des E-PHEMT très performants et à un QMJ très abordable (environ 7€ à l'unité) Je m'en suis procuré 3 , au salon d'Auxerre chez Giga-Tech . J'ai téléchargé la doc technique de Agilent et je me suis lancé dans l'expérimentation d'un préampli avec les bêtes ! l'ATF54143 a des particularités que n'ont pas les FET classiques , qui sont : la Gate semble être une jonction qui est polarisée en positif par rapport à la Source , l'impédance de la Gate est très basse et capacitive . De ce fait il a fallut penser autrement le circuit d'entrée , après plusieurs essais j'ai opté pour un passe haut suivi par un passe bas (très simplifié) car la bête est un " vif animal " qui ne demande qu'à se transformer en oscillateur , à cause du gain qu'il a jusqu'à 10 Ghz . Et un passe haut en entrée (ce n'est pas habituel !) mais pour faire face au gain énorme qu'il a en BF il n'y guère de solutions, que celle ci ! Que ceux qui ont expérimentés les transistors de puissance de la première génération se rappellent !... Une autre particularité est sa polarisation qui rappelle les transistors bi-polaires , en effet la polarisation est faite par un pont résistif qui régule sur le courant de Drain , elle peut être passive (comme je l'ai fait) ou amplifiée en ajoutant un transistor , la régulation par rapport à la température est plus fine avec une amplification par un transistor , cependant elle reste très acceptable en mode passive (pour exemple 48 mA à -5°C et 62 mA de courant Drain à +30°C) le courant optimum étant situé entre 50 et 60 mA pour un bon NF et un IP3 correct (le constructeur annonce 36,2 dBm !...) Je ne l'ai pas mesuré faute de n'avoir qu'un seul Génér HF de qualité ! Ce que je peux dire c'est qu'au QRA j'ai un problème de voisinage , en effet j'ai un voie de service pro sur 139 Mhz à quelques kilomètres en vue directe des aériens . Et avec les FET classiques du genre MGF1302 le signal est affaibli de 6 à 8 dB quand cette voie est en fonctionnement , le seul FET qui jusqu'alors me permettait de ne pas la soupçonner était le MGF1801 (mais il vaut 35 €) avec l'ATF54143 je n'ai pas plus de problèmes ! est il meilleur ou moins bon je ne saurai le dire . Par contre son NF est très bon (de l'ordre de 0.3 DB) ce qui place maintenant ma réception largement en dessous du plancher de bruit de mes antennes , même quand elles sont en direction d'une partie froide du ciel !

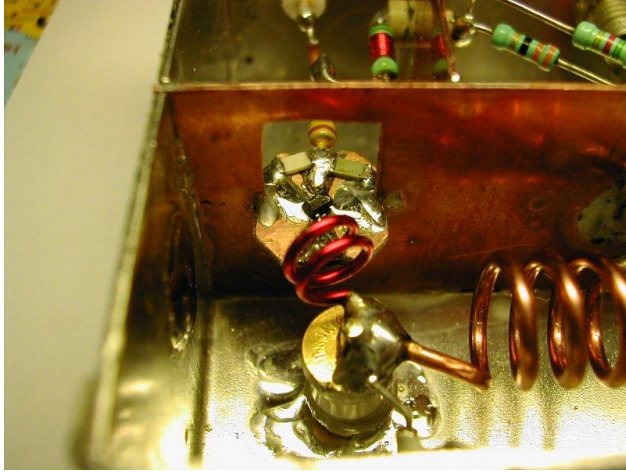
Voici la simulation du Préampli avec le superbe outil qu'est **RFSim99** (freeware)



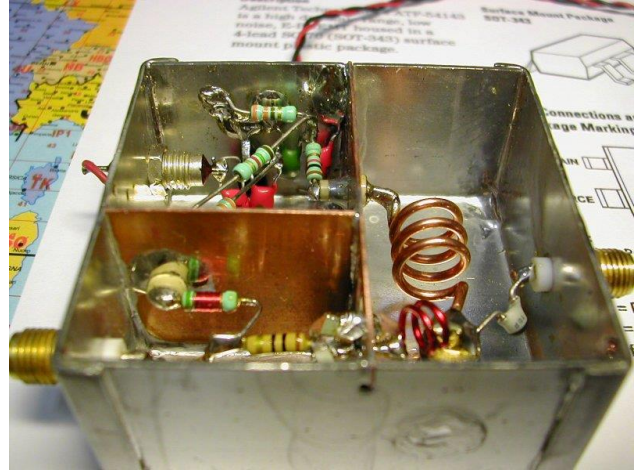
On peu voir que la sélectivité n'est pas un modèle du genre , mais que le passe bas fait son office . l'adaptation n'est pas non plus terrible , mais puisque le NF est bon pourquoi pas ! Un mot sur la capa d'accord , elle permet de déplacer la bosse sur 144 mhz Le circuit de sortie est très classique et n'appelle pas de commentaires , sauf peut-être les 2 capa de 8.2 pf en parallèle sur le Drain qui contribuent à améliorer l'effet passe bas et "couper" les fréquences hautes .

Nota : si le préampli a un IP3 très élevé et ne craint pas les forts signaux , ce n'est peut-être pas le cas du récepteur qui suit ! il serait donc bon d'intercaler un bon filtre de bande entre le préamp et le récepteur (vu le gain du préamp pas de risques de dégrader le facteur de bruit) .

Quelques Photos



Gros plan sur l'ATF54143



Le préampli terminé



Un petit frère de mon préampli réalisé par Jean-Jacques F1FLA



Oui oui c'est bien 0.27 dB!

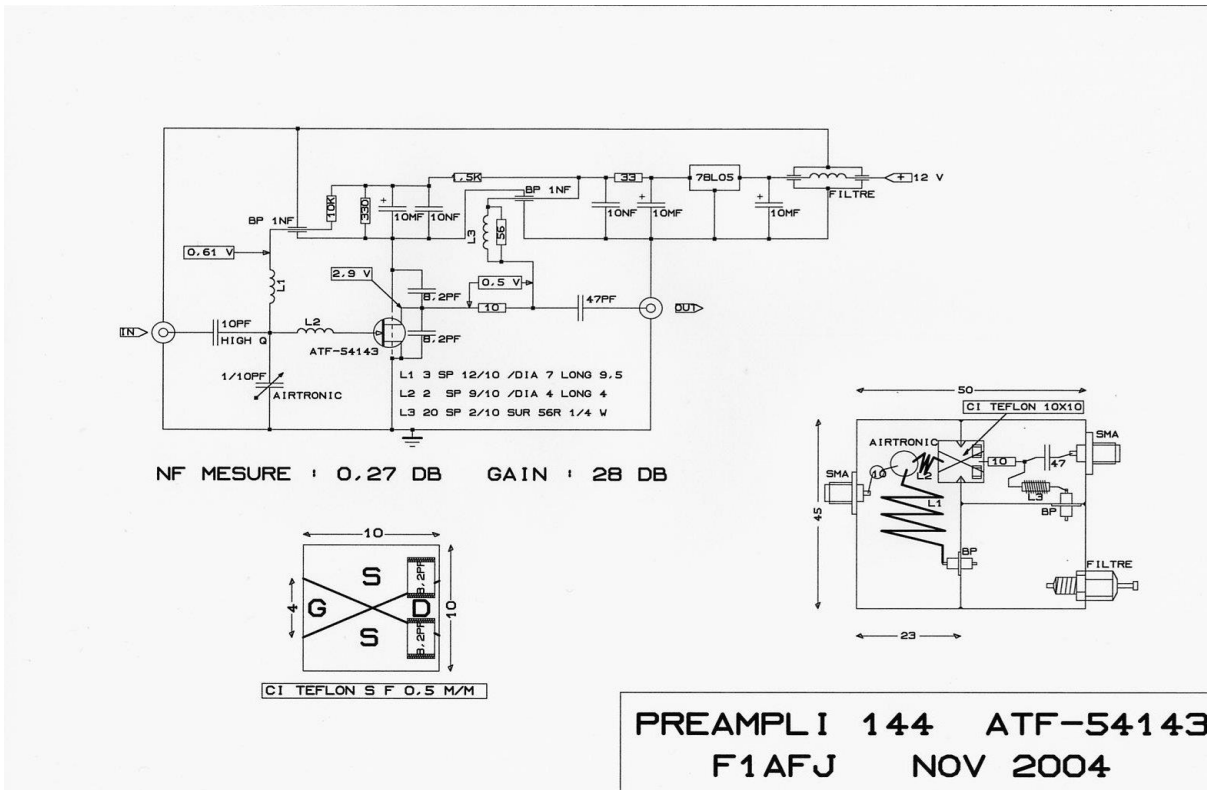


Le banc de mesure

Nota : on voit bien le découpage "on / off" de la source de bruit sur le scope de l'analyseur, le générateur HF ne sert que de marqueur.

Jean-Pierre F1AFJ

Le Schéma



Bibliographie :

Mes notes de cours (CNAM 1968-1970)

Mes notes de formation (PHILIPS Eindhoven 1971)

Pages non signées sur Internet

Radio-REF , VHF Com , Dubus