

Mesure de la directivité des VNA et Analyseurs d'antenne

KJ4EGU – Carlo Francescangeli

Si l'on regarde attentivement les spécifications techniques des VNA et analyseurs d'antenne destinés aux radios amateurs, on s'aperçoit que la directivité des instruments mystérieusement n'y figurent pas. En fait, le fabricant n'a pas envie d'étaler publiquement les faiblesses de son instrument. Or la directivité est la caractéristique essentielle et déterminante pour les mesures S11, VSWR, RL, Impédance, etc.

En revanche lorsqu'il s'agit de VNA à usage professionnel le fabricant spécifie clairement, avec pleins de détails, la directivité de son instrument avec ses limites et ses marges d'erreurs.

Contenu

- 1. Mesure**
- 2. Principe de la mesure**
- 3. Mesure de la directivité d'un VNA professionnel**
- 4. Compléments de mesure**

La précision de la mesure du VSWR d'un dispositif RF est directement lié à la directivité de l'instrument, c'est incontournable. En effet, nous avons vu dans un précédent article (« les erreurs de mesure du VSWR ») que le VNA effectue la mesure grâce à un coupleur directionnel ou pont résistif qui va extraire le signal réfléchi et le comparer avec le signal direct., l'incontournable S11.

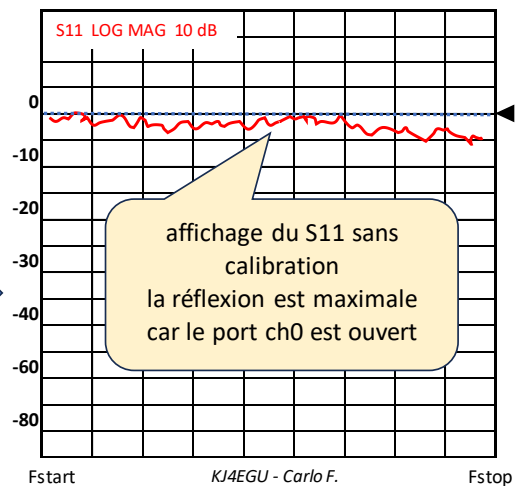
A partir de ces 2 éléments, l'analyseur est capable d'afficher le coefficient de réflexion, VSWR, RL, impédance, admittance, réactance, etc.... Tous ces résultats sont tous liés par de simple formule mathématique. L'affichage est généralement présenté sous forme graphique à l'aide de diagrammes cartésiens ou mieux encore sur l'abaque de Smith.

La directivité de l'instrument de mesure est la capacité qu'a l'instrument de mesure à séparer (aiguiller) correctement chaque signal sur le port qui lui correspond. Or le coupleur directionnel est loin d'être parfait. En effet, des courants de fuite interne s'invitent gratuitement sur les ports de mesure et s'additionnent aux signaux à mesurer, ce qui génèrent d'importantes erreurs de mesure.

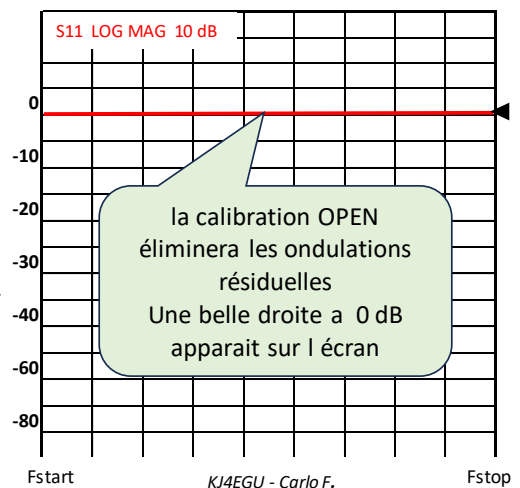
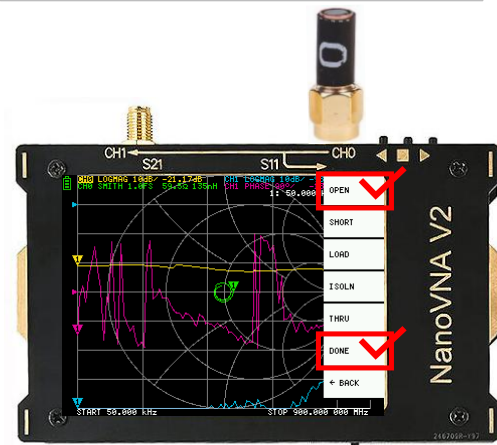
Notre seule alternative est de mesurer nous-même la directivité. C'est simple.

MESURE DIRECTIVITE VNA

1. Allumez votre VNA
2. Activer **une** seule trace - S11 - LOG MAG
3. Ne rien changer et pas de calibration



4. Connecter un étalon OPEN - ch0
5. Calibrer OPEN - DONE **seulement**



6. Connecter un étalon 50 ohms - ch0
7. La directivité du VNA apparaîtra sur l'écran

il est crucial de connecter un étalon 50 Ohms de haute précision (RL > 46 dB)

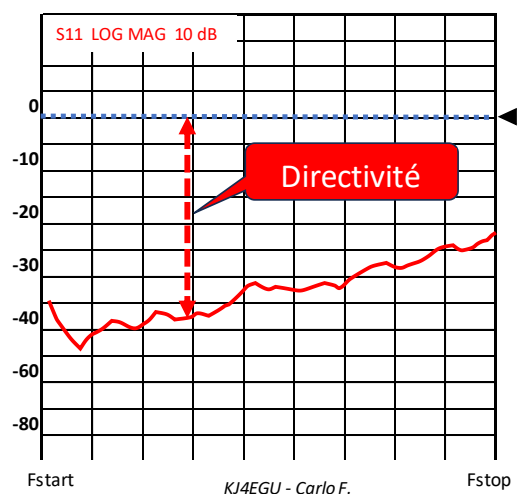


Fig. 1 : Procédure pour la mesure de la directivité d'un VNA ou analyseur antenne. Notons qu'il est possible d'effectuer la même procédure en remplaçant le « bouchon open » par le bouchon « short » en faisant la calibration « short – done »
source : KJ4EGU

2. Principe de la mesure

Dans le cas particulier des VNA ou analyseurs d'antenne, on ne peut pas extraire le coupleur directionnel (ou le pont résistif) de son instrument. Nous avons seulement accès au connecteur de sortie S11

Lorsqu' une charge est connectée à une source (stimulus) a une ligne de transmission, le coefficient de réflexion (ρ) est calculé suivant l'équation de la fig. 2

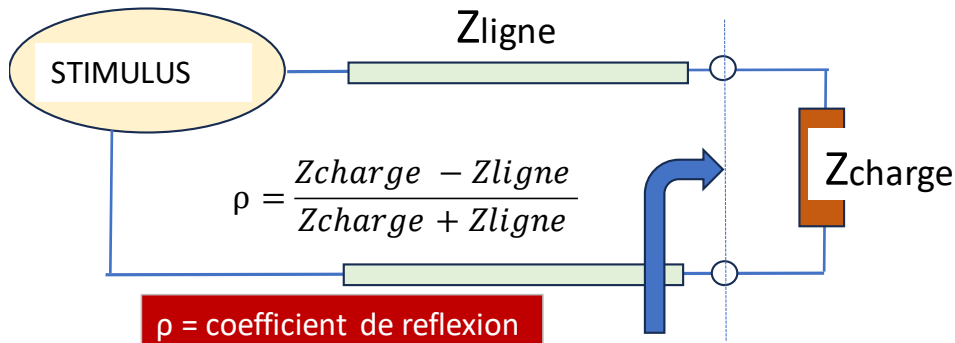


Fig. 2 : Calcul du coefficient de réflexion

source : KJ4EGU

Connectons une charge de 50 ohms via une ligne coaxiale de 50 ohms le coefficient de réflexion sera :

$$\rho = \frac{Z_{\text{charge}}(50 \Omega) - Z_{\text{ligne}}(50 \Omega)}{Z_{\text{charge}}(50 \Omega) + Z_{\text{ligne}}(50 \Omega)} = \frac{50 - 50}{50 + 50} = \frac{0}{2} = 0 \quad \text{0\% d'énergie réfléchi}$$

Il n'y a donc pas de réflexion, cas idéal toute l'énergie est absorbée par la charge de 50 ohms

Prenons le cas maintenant d'un **circuit ouvert** (Fig.3)

La charge n'existe plus, le circuit est ouvert donc son impédance est infinie

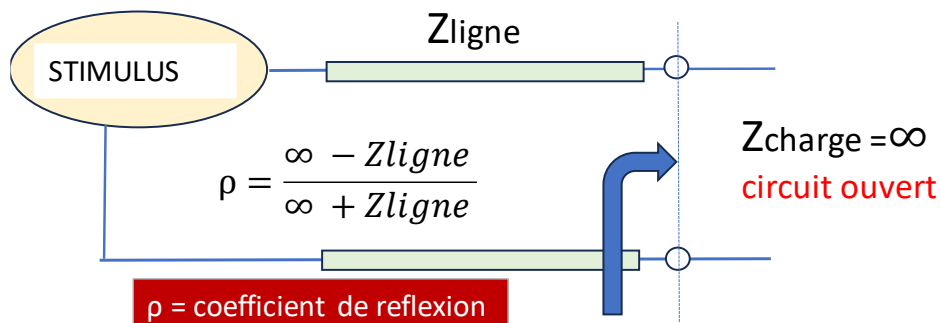


Fig. 3 : Calcul du coefficient de réflexion - circuit ouvert

source : KJ4EGU

$$\rho = \frac{Z_{\text{charge}}(\infty) - Z_{\text{ligne}}(50 \Omega)}{Z_{\text{charge}}(\infty) + Z_{\text{ligne}}(50 \Omega)} = \frac{\infty - 50}{\infty + 50} = \frac{\infty}{\infty} = 1 \quad (1 = 100\%) \quad \text{100\% d'énergie réfléchi}$$

C'est sur ce principe que la mesure de la directivité sera réalisée :

1. En connectant une charge ouverte (impédance infinie) sur le connecteur de sortie 100 % de l'énergie retournera vers (a l'intérieur) du VNA et sera aiguillée sur le port REFL du coupleur directionnel
2. Ensuite nous connecterons une charge ultra précise de 50 ohms . 0 % d'énergie retournera vers le VNA . Le seul signal qui apparaîtra sur port RFL du coupleur directionnel sera celui du courant de fuite , qui est justement le défaut que nous essayons de mesurer y qui doit être le plus faible possible afin de ne pas trop perturber les mesures du S11 (coefficient de réflexion)

PRINCIPE DE LA MESURE

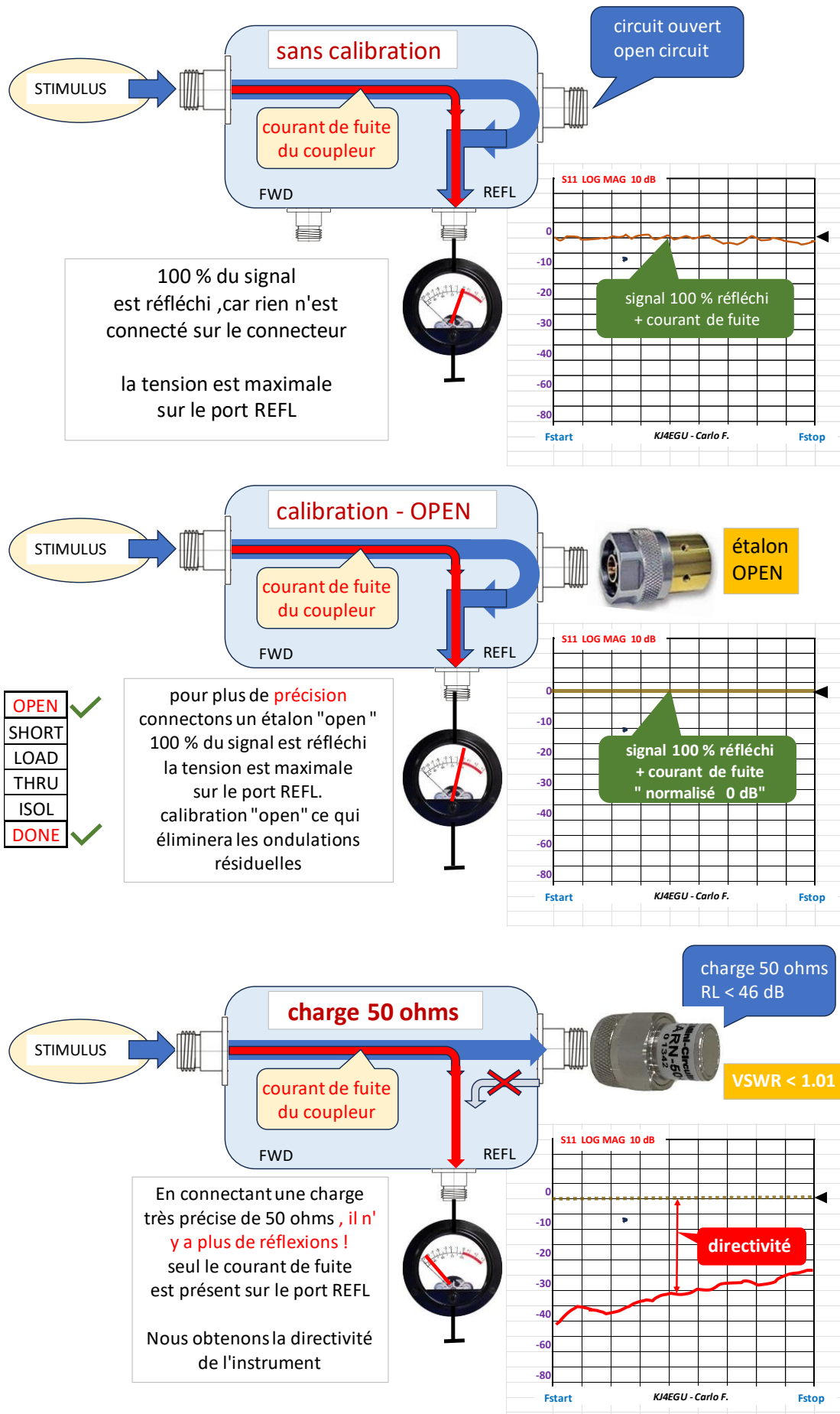


Fig. 4 : Principe de la mesure directivité des VNA ou analyseurs antenne

source : KJ4EGU

3. Mesure de la directivité d'un VNA « Professionnel »

Ci-joint la mesure de la directivité d'un VNA professionnel avec des caractéristiques époustouflantes (130 dB de dynamique, 15000 points, etc...) acquis de seconde main en 2020. La mesure de la directivité paraît attrayante (> 40 dB sur les bandes radio amateurs)

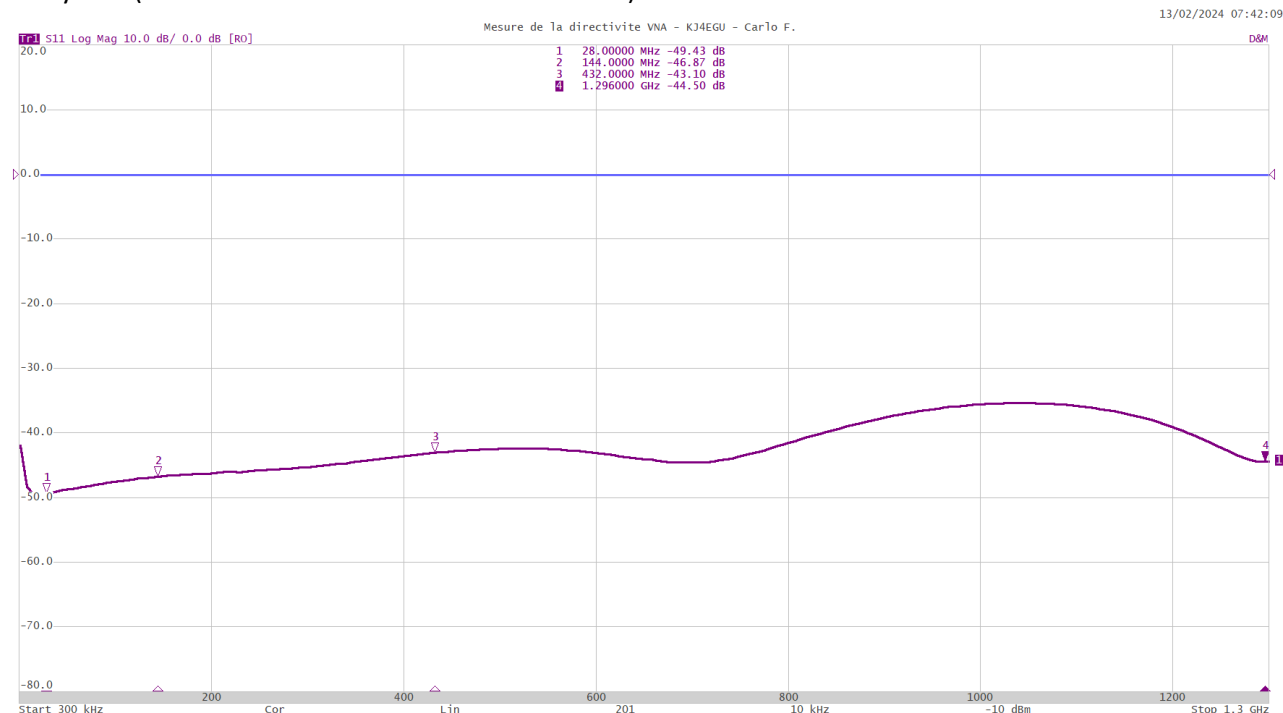


Fig. 5 : Mesure directivité VNA

source : KJ4EGU

Cependant le fabricant annonce une directivité > 46 dB sur la gamme de fréquence de l'instrument (300 kHz – 1300 MHz), La directivité moyenne mesurée est de 43 dB avec d'importantes variations de directivité de 14 dB sur la plage de fréquence. A 1 GHz la directivité chute à 36 dB !

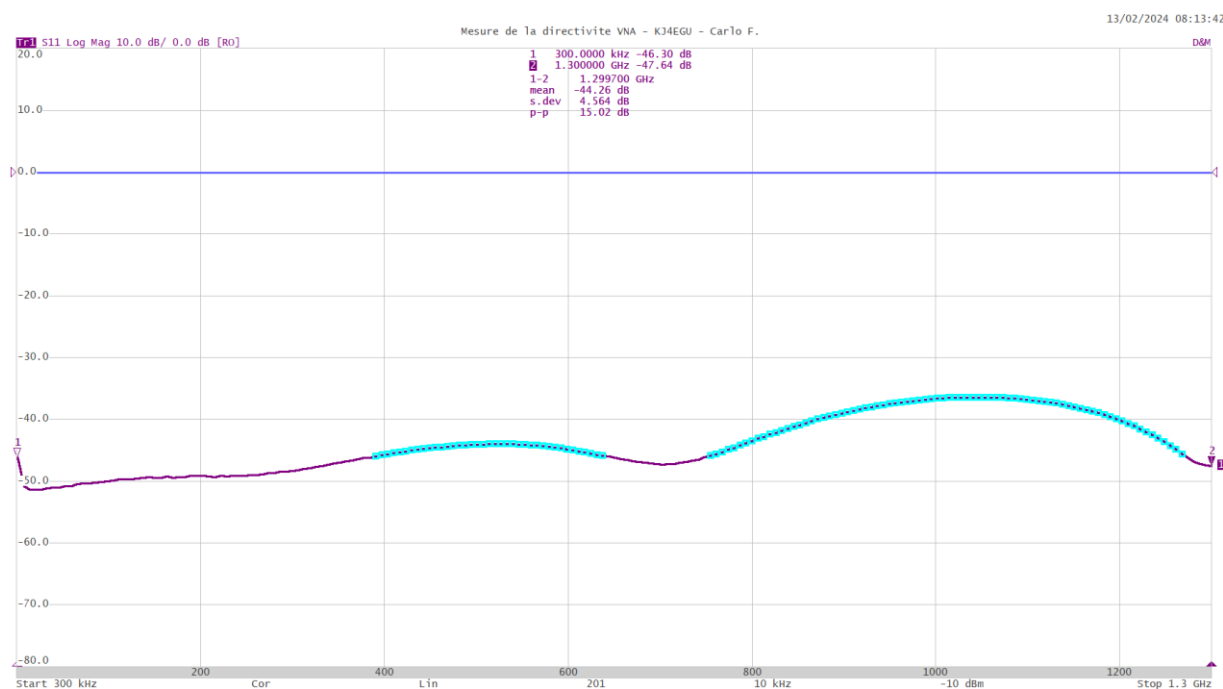


Fig. 6 : Mesure directivité VNA, la partie bleu ciel de la courbe indique que la directivité de l'instrument est inférieure aux spécifications du fabricant. Mesure après 30 min de fonctionnement.

source : KJ4EGU

Par conséquent l'instrument doit retourner chez le fabricant pour une calibration usine . Le prix de la calibration usine est supérieur au prix auquel j'ai acheté l'instrument de seconde main sur Ebay !

Par curiosité j'ai mesuré la directivité avec plusieurs charges étalons de 50 ohms très précis du même fabricant Mini Circuits , modèle KARN50+ (VSWR < 1.008). Malgré cela le VNA est hors spécifications

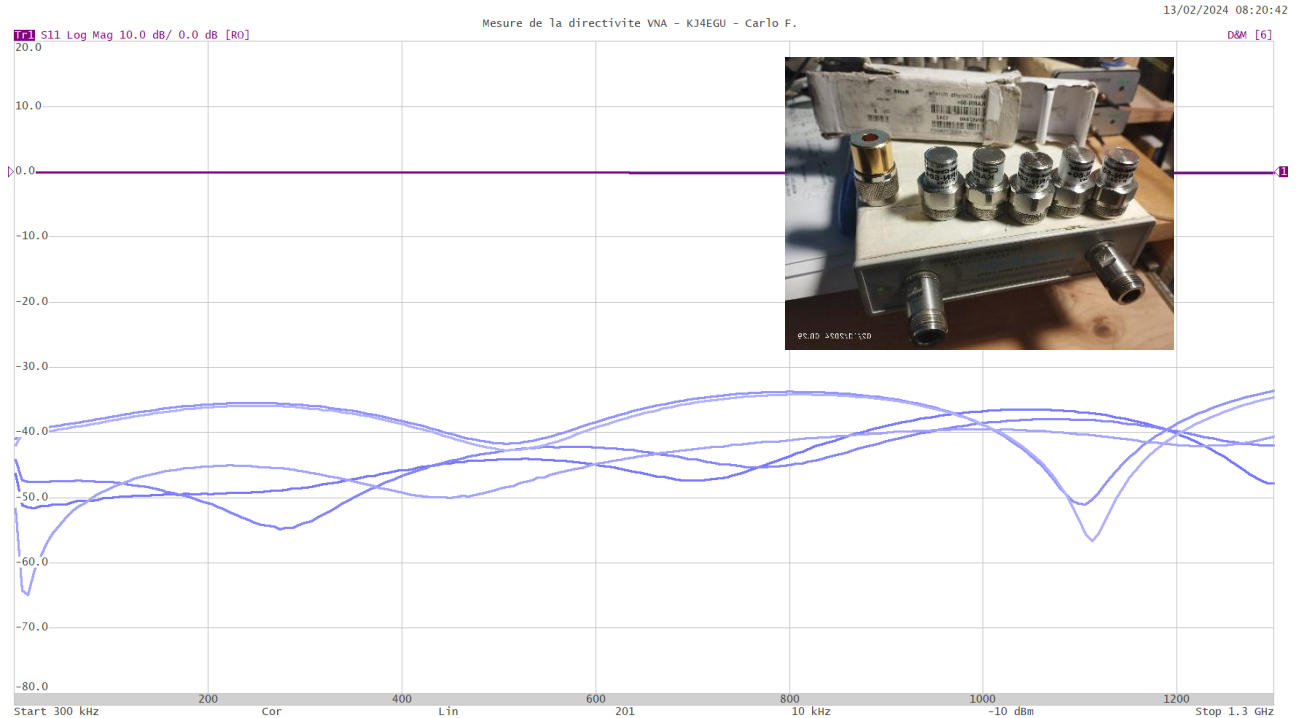


Fig. 7 : Mesure directivité VNA, avec 5 charges étalons 50 ohms du même fabricant. Il est facile d'observer la grande variabilité des résultats et de constater oh combien il est difficile de faire des mesures de haute précision en RF
source : KJ4EGU

4. Compléments de mesure

4.1 le rapport Short / Open

Nous avons vu précédemment fig2 et fig 3 comment était calculé le coefficient de réflexion . Il nous reste à voir ce qui se passe quand la charge est en court circuit (Fig 9)

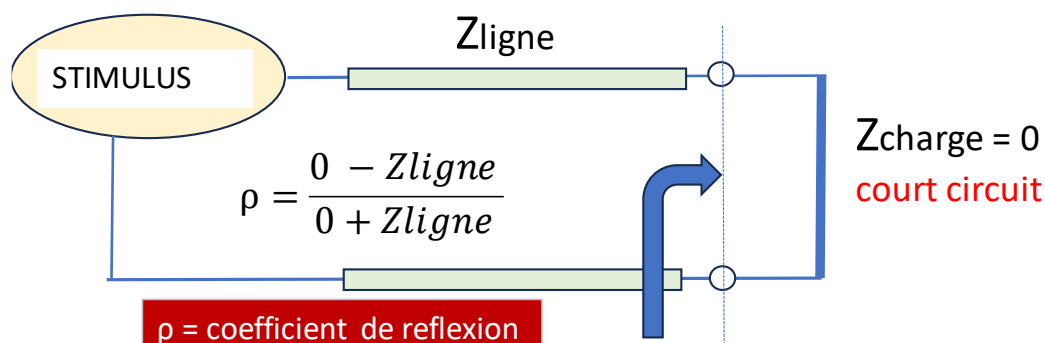


Fig. 9 : Calcul du coefficient de réflexion – court-circuit (Short)

source : KJ4EGU

$$\rho = \frac{Z_{charge}(0 \Omega) - Z_{ligne}(50 \Omega)}{Z_{charge}(0 \Omega) + Z_{ligne}(50 \Omega)} = \frac{0 - 50}{0 + 50} = \frac{-50}{50} = -1 \quad \text{100\% d'énergie réfléchi}$$

Le cas est similaire au circuit ouvert (100 % du signal est reflechi) mais dans de ce cas la valeur du coefficient de reflexion est -1 . Le signe $(-)$ a une signification physique importante , l'onde reflechie est «inversee» . En d'autres mots le signal est dephase de 180 degres par rapport a l'onde reflechie en circuit ouvert

4.2 Le rapport Short / Open

Il est tout a fait possible de visualiser ces 2 cas extremes de maximun reflexion sur un VNA (fig.10).

1. Connectons d'abord un etalon court circuit sur le port S11 du VNA (sans calibration) .Memorisons la trace qui apparait en bleu sur l'ecran . L'echelle verticale a ete fortement agrandie (0.05 dB/div) afin de rendre l'ondulation visible
2. Connectons ensuite un etalon circuit ouvert sur le port S11 (sans calibration) . Nous obtenons la trace couleur violet

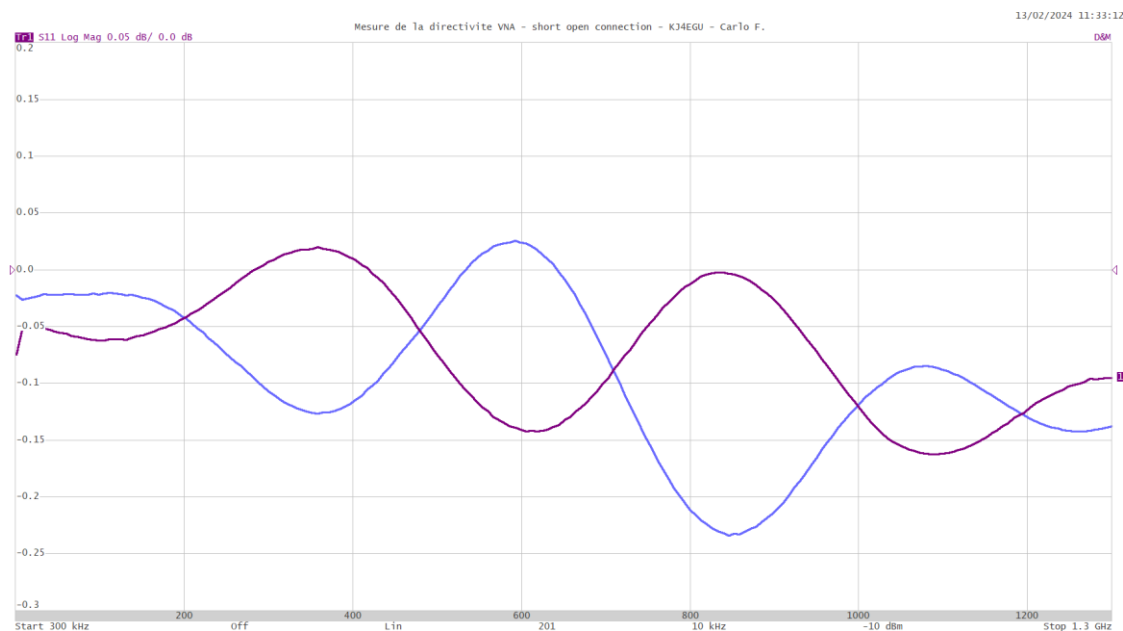


Fig. 10: visualization VNA reflexion totale en mode Open – Short

source: KJ4EGU

Nous voyons clairement que les 2 signaux reflechis sont en opposition de phase , c'est a dire que lorsqu'un signal est au maximum , l'autre signal est au minimum .

Ces 2 signaux ne sont pas egaux , ce qui montre certains petits defauts du coupleur directionnel , mais qui seront elimines avec la calibration .

Neamoin l'erreur Open / short est de l'ordre de 0.25 dB (sans calibration) ce qui est excellent et demontre la qualite de l'instrument . A titre d information les meilleurs RLB (return loss bridge) on un rapport S/C de l'ordre de 1 dB.

4.3 Pourquoi faut-il calibrer le VNA en mode Open avant la mesure ?

Regardons la fig 11a . Nous y voyons le signal reflechi a 100 % en mode Open . L'échelle verticale a été agrandie (0.05 dB/ div). L'origine de l'ondulation peut etre expliquee avec la fig11b (abaque de Smith)

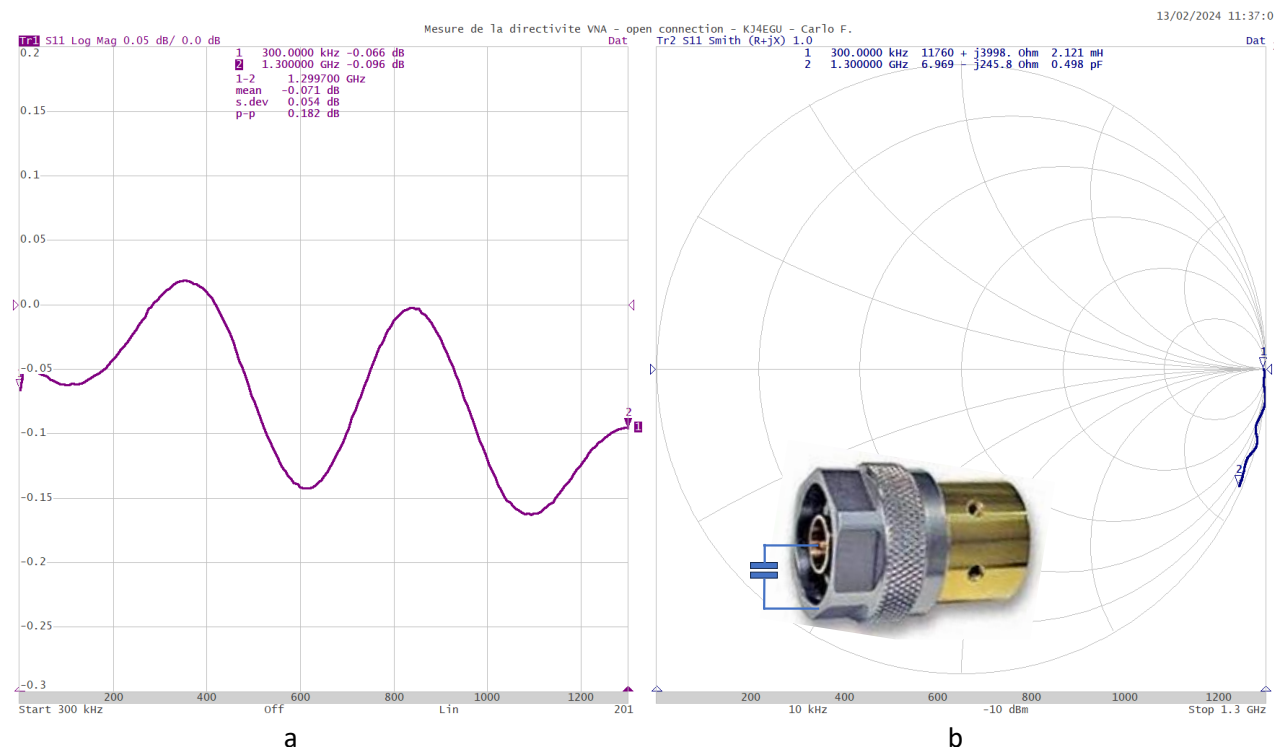


Fig. 11 : visualisation du VNA en mode Open (sans calibration) source: KJ4EGU

En effet nous y voyons clairement un effet capacitif , qui en provient de la capacite residuelle (*fringing capacitance en anglais*) de l'etalon OPEN qui es de l'ordre de 0.5 pF a 1300 MHz.

La calibration « open » eliminer les ondulations residuelles .

5 Conclusions

1. La mesure de la directivite d un VNA ou pont de mesure est tres simple a realiser .Je vous conseille de la realiser periodiquement ou de la realiser avec un appareil dont vous ignorez ces specifications . Elle s'effectue directement aux bornes du VNA (sans adaptateur coaxial)
2. Soyez tres vigilant au moment d'acheter un VNA d une bonne marque (HP, Rohde Schwarz , Anritsu , Copper Mountain,) . L'instrument peut etre 100 % fonctionnel et esthetiquement intact . Neanmoins assurez vous que l instrument est calibre . Cas contraire la calibration usine vous coutera tres cher.
3. La seule condition pour effectuer une mesure precise est de disposer d une charge etalon de haute precision de 50 ohms . Je vous recommande le modele KARN50+ (N male) ou ANNE 50X (SMA male) du fabricant Mini Circuits . Le prix est d'environ 20 Euros . Je tiens a vous faire remarquer que je n ai aucuns interets financiers , ni liens commerciaux avec aucunes societes .

Bonne chance a tous

