

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.

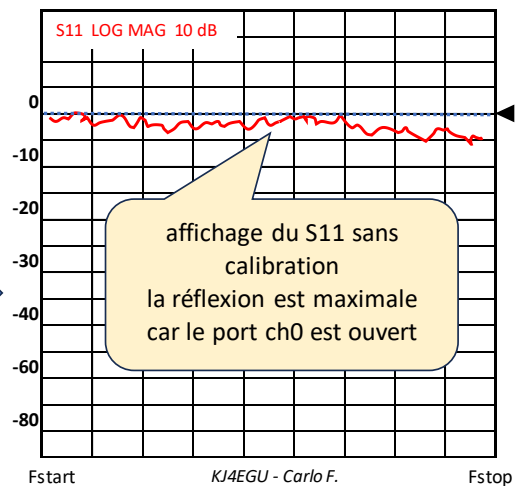
A partir de ces 2 éléments, l'analyseur est capable d'afficher le coefficient de réflexion, VSWR, RL, impédance, admittance, réactance, etc.... Tous ces résultats sont tous liés par de simple formule mathématique. L'affichage est généralement présenté sous forme graphique à l'aide de diagrammes cartésiens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

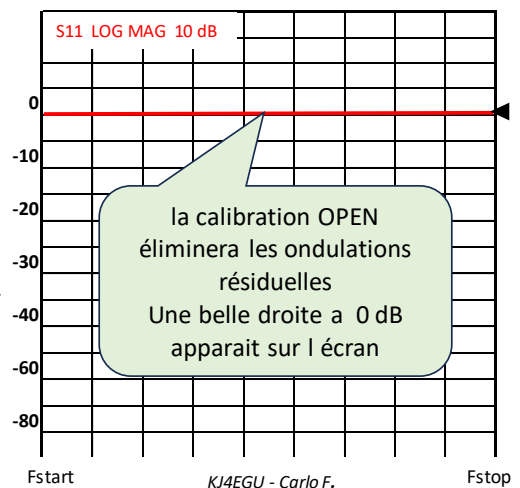
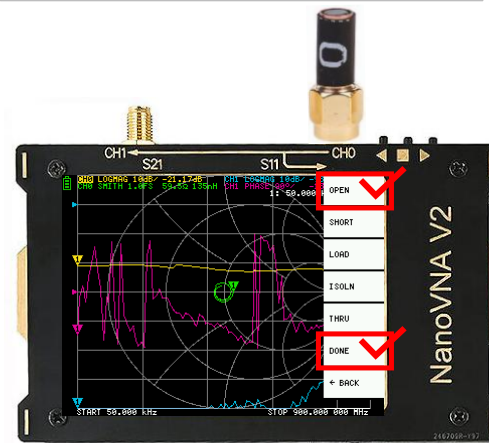
Notre seule alternative est de mesurer nous-même la directivité. C'est simple.

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)

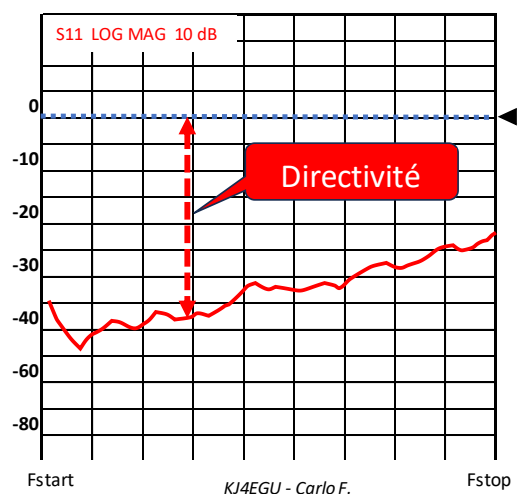
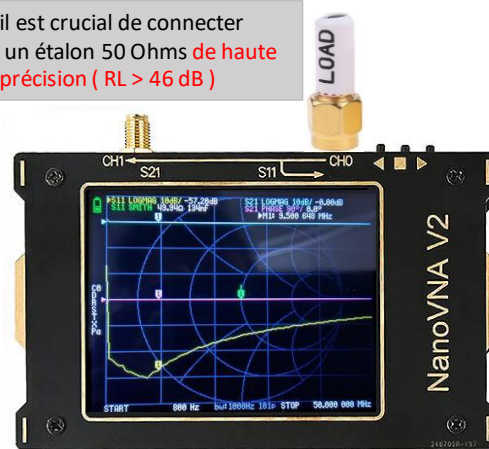


Fig. 1 : Procédure pour la mesure de la directivité d'un VNA ou analyseur antenne. Notons qu'il est possible d'effectuer la même procédure en remplaçant le « bouchon open » par le bouchon « short » en faisant la calibration « short – done ». Source : KJ4EGU

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

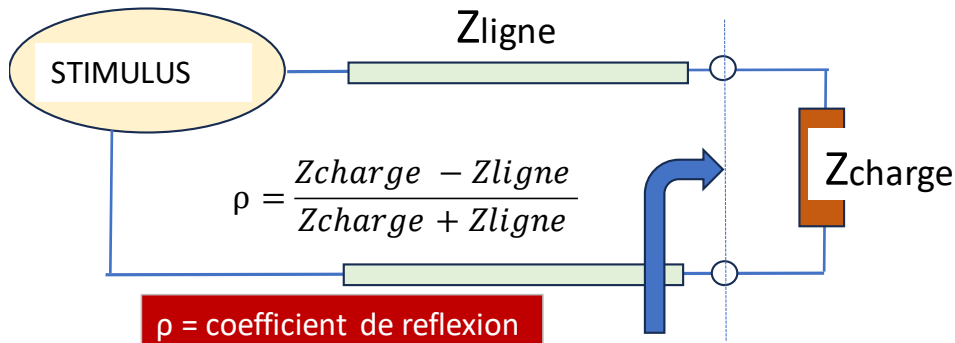


Fig. 2 : Calcul du coefficient de réflexion

source : KJ4EGU

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

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

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

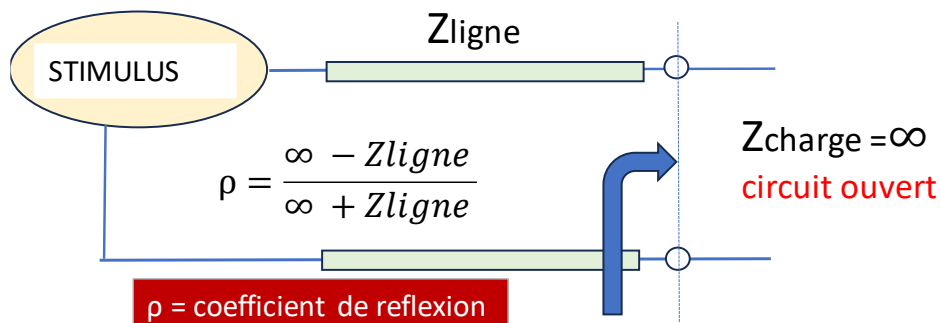


Fig. 3 : Calcul du coefficient de réflexion - circuit ouvert

source : KJ4EGU

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

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

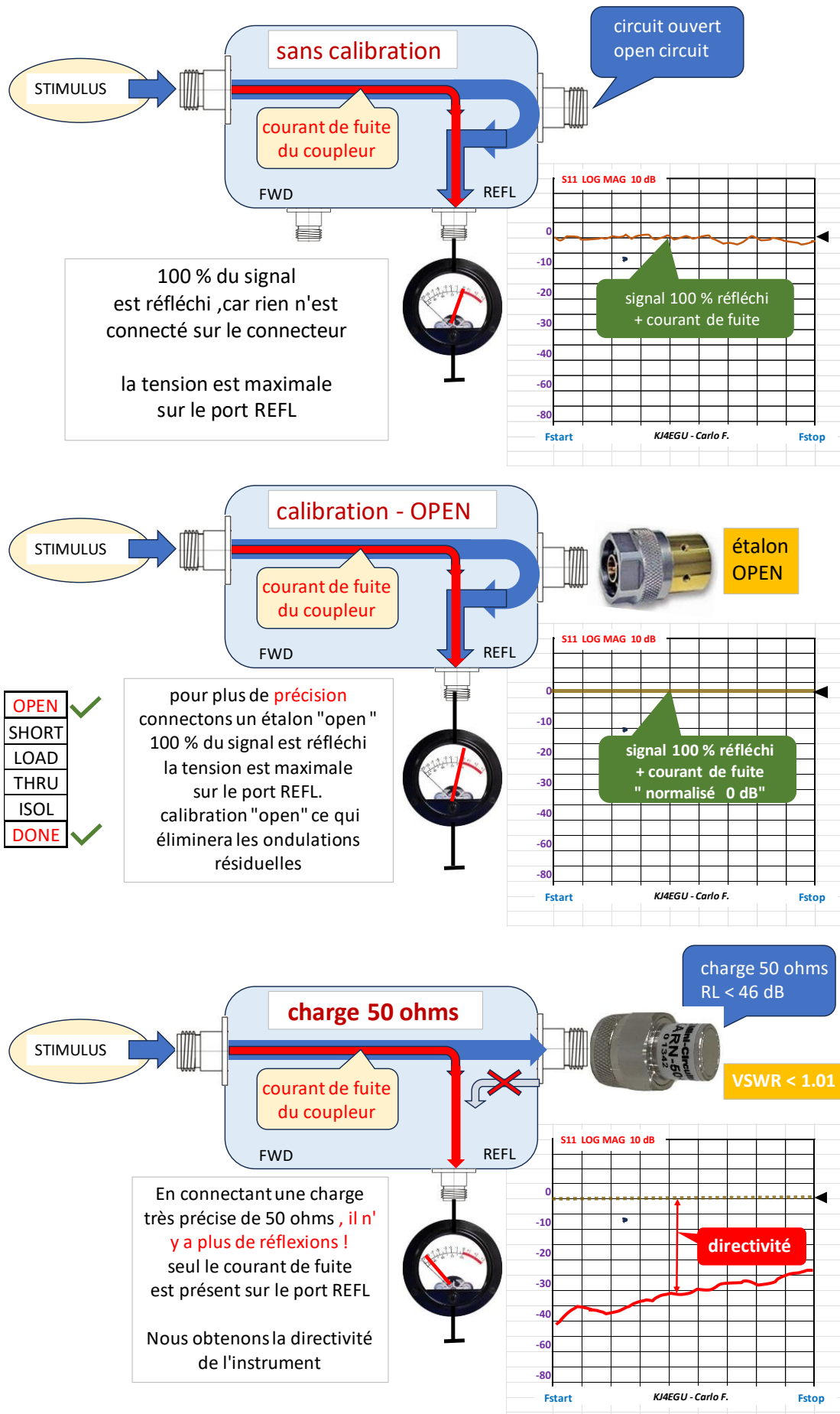


Fig. 4 : Principe de la mesure directivité des VNA ou analyseurs antenne

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)

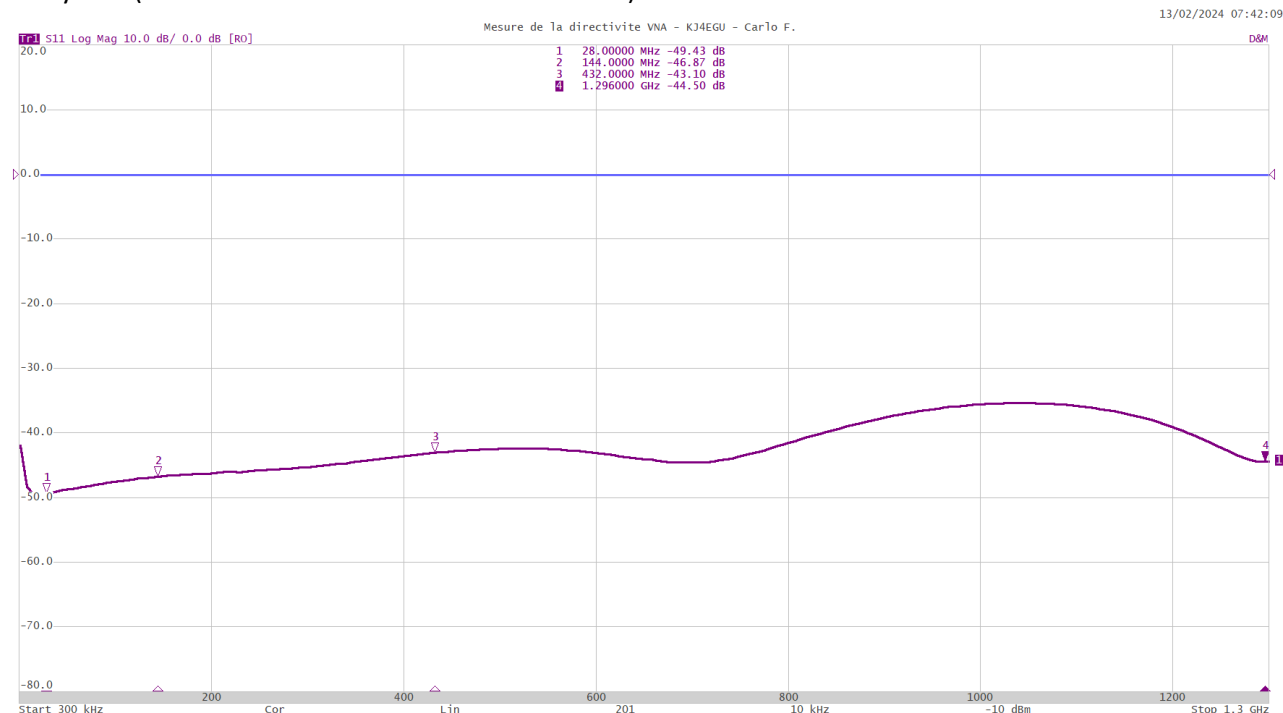


Fig. 5 : Mesure directivité VNA

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. À 1 GHz la directivité chute à 36 dB !

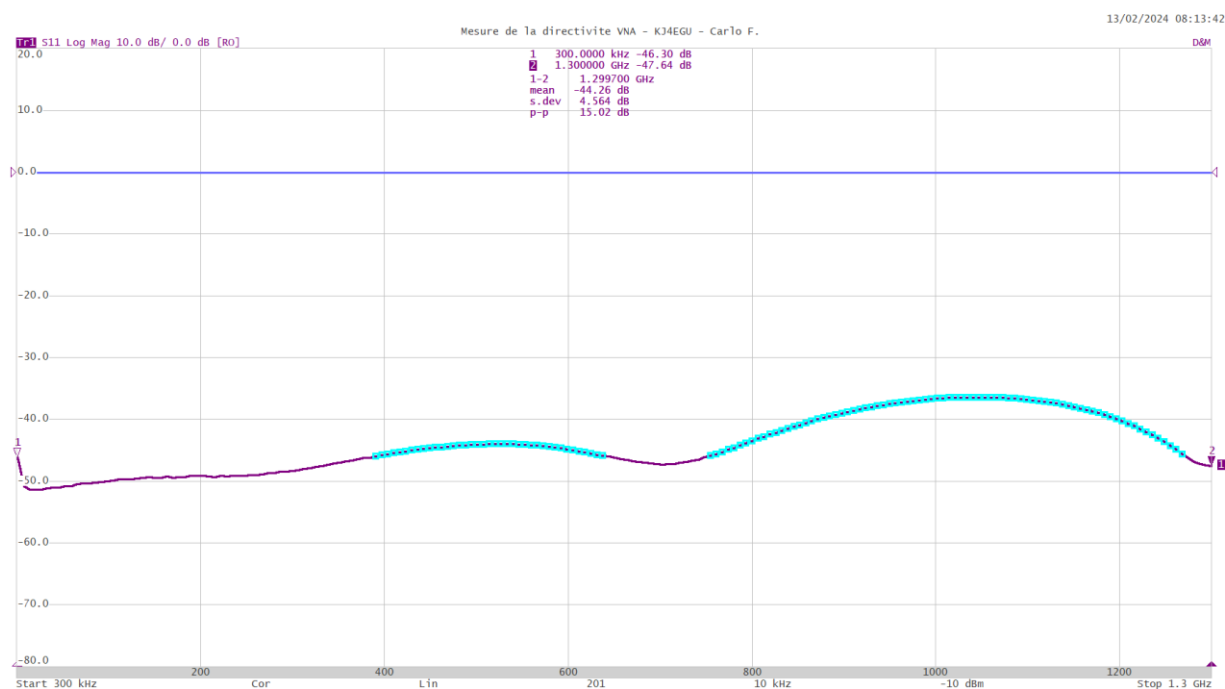


Fig. 6 : Mesure directivité VNA, la partie bleu ciel de la courbe indique que la directivité de l'instrument est inférieure aux spécifications du fabricant. Mesure après 30 min de fonctionnement. Source : KJ4EGU

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

Par curiosité, j'ai mesure la directivite avec plusieurs charges etalons de 50 ohms tres precis du meme fabricant Mini Circuits , modele KARN50+ (VSWR < 1.008). Malgre cela le VNA est hors spécifications

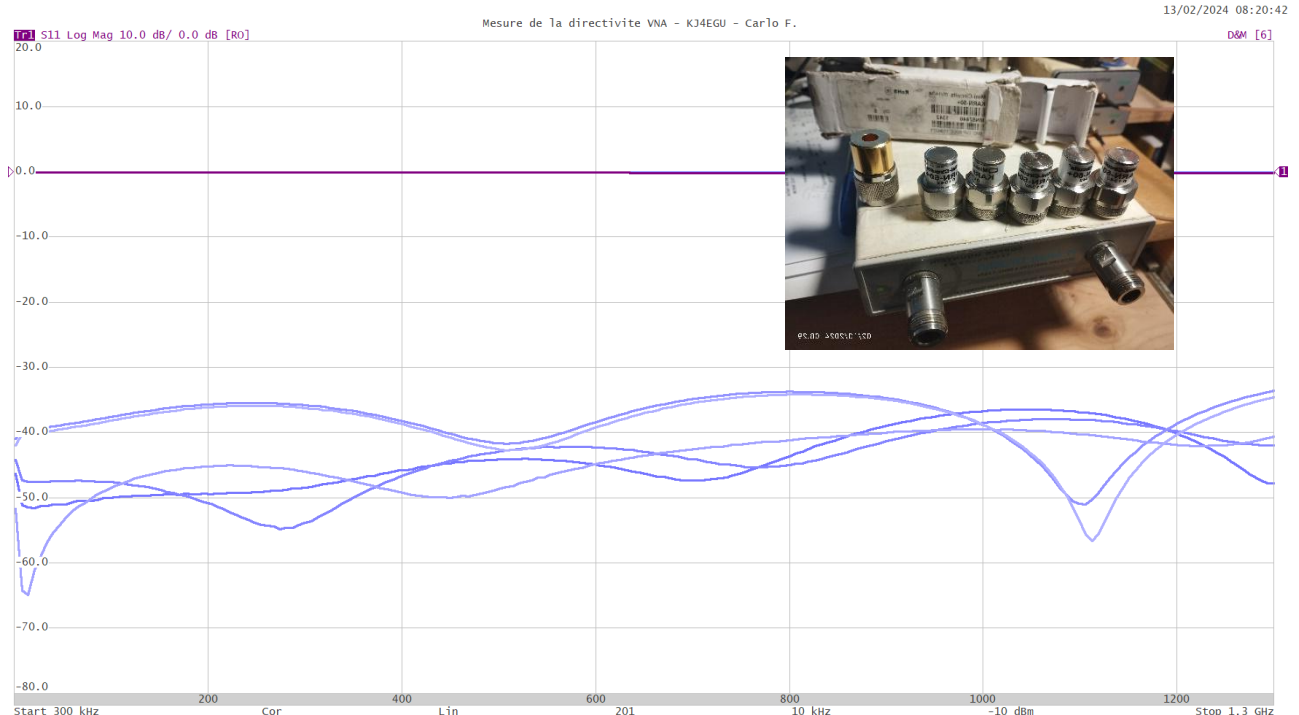


Fig. 7 : Mesure directivité VNA, avec 5 charges étalons 50 ohms du même fabricant. Il est facile d'observer la grande variabilité des résultats et de constater oh combien il est difficile de faire des mesures de haute précision en RF. Source : KJ4EGU.

4. Complements de mesure

4.1 le rapport Short / Open

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

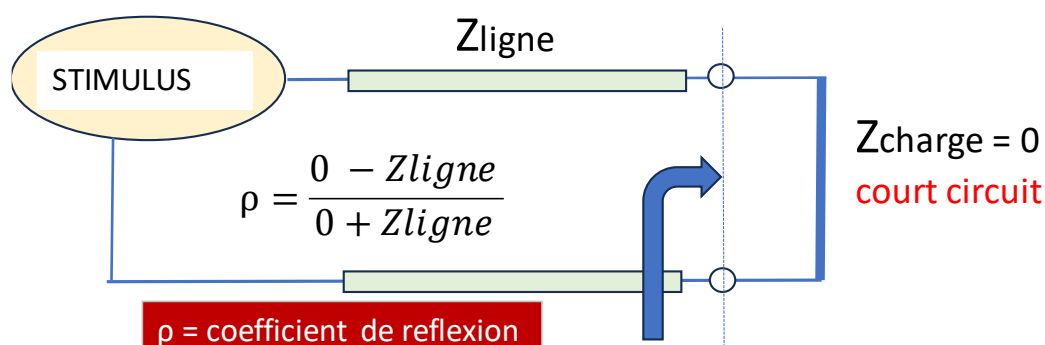


Fig. 9 : Calcul du coefficient de réflexion – court-circuit (Short). Source : KJ4EGU

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

Le cas est similaire au circuit ouvert (100 % du signal est réfléchi) mais dans ce cas la valeur du coefficient de réflexion est -1 . Le signe $(-)$ a une signification physique importante, l'onde réfléchie est «inversée». En d'autres mots le signal est déphasé de 180 degrés par rapport à l'onde réfléchie en circuit ouvert

4.2 Le rapport Short / Open

Il est tout à fait possible de visualiser ces 2 cas extrêmes de maximum réflexion sur un VNA (fig.10).

1. Connectons d'abord un étalon court-circuit sur le port S11 du VNA (sans calibration). Mémorisons la trace qui apparaît en bleu sur l'écran. L'échelle verticale a été fortement agrandie (0.05 dB/div) afin de rendre l'ondulation visible.
2. Connectons ensuite un étalon circuit ouvert sur le port S11 (sans calibration). Nous obtenons la trace couleur violette.

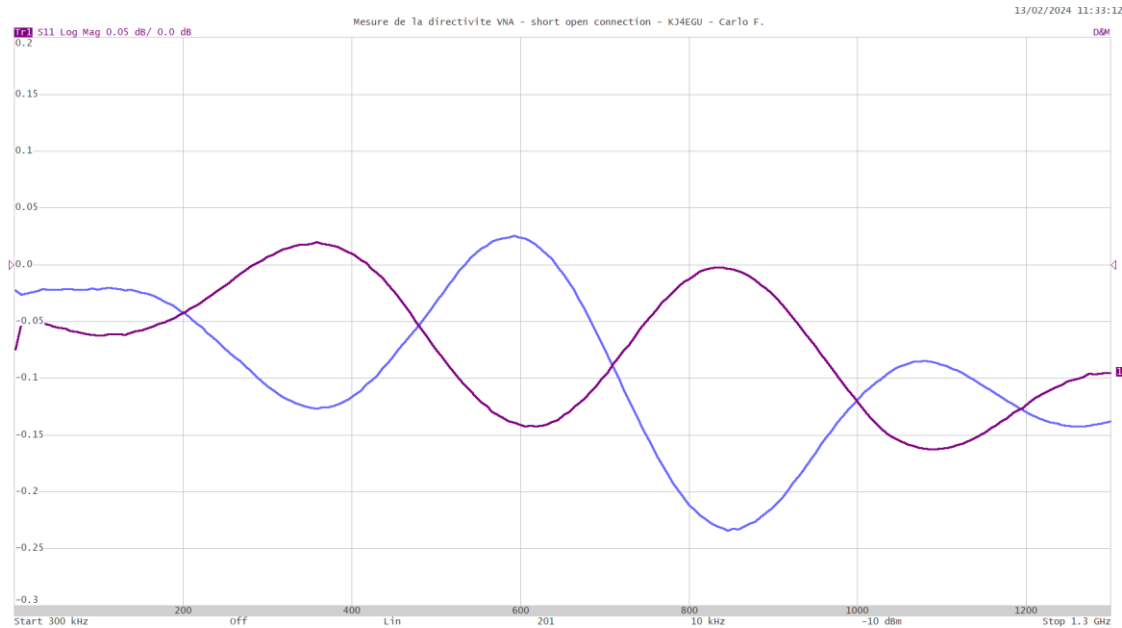


Fig. 10: visualisation VNA réflexion totale en mode Open – Short. Source: KJ4EGU

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

Ces 2 signaux ne sont pas égaux, ce qui montre certains petits défauts du coupleur directionnel, mais qui seront éliminés avec la calibration.

Neanmoins l'erreur Open / short est de l'ordre de 0.25 dB (sans calibration) ce qui est excellent et démontre la qualité de l'instrument. À titre d'information les meilleurs RLB (return loss bridge) ont 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).

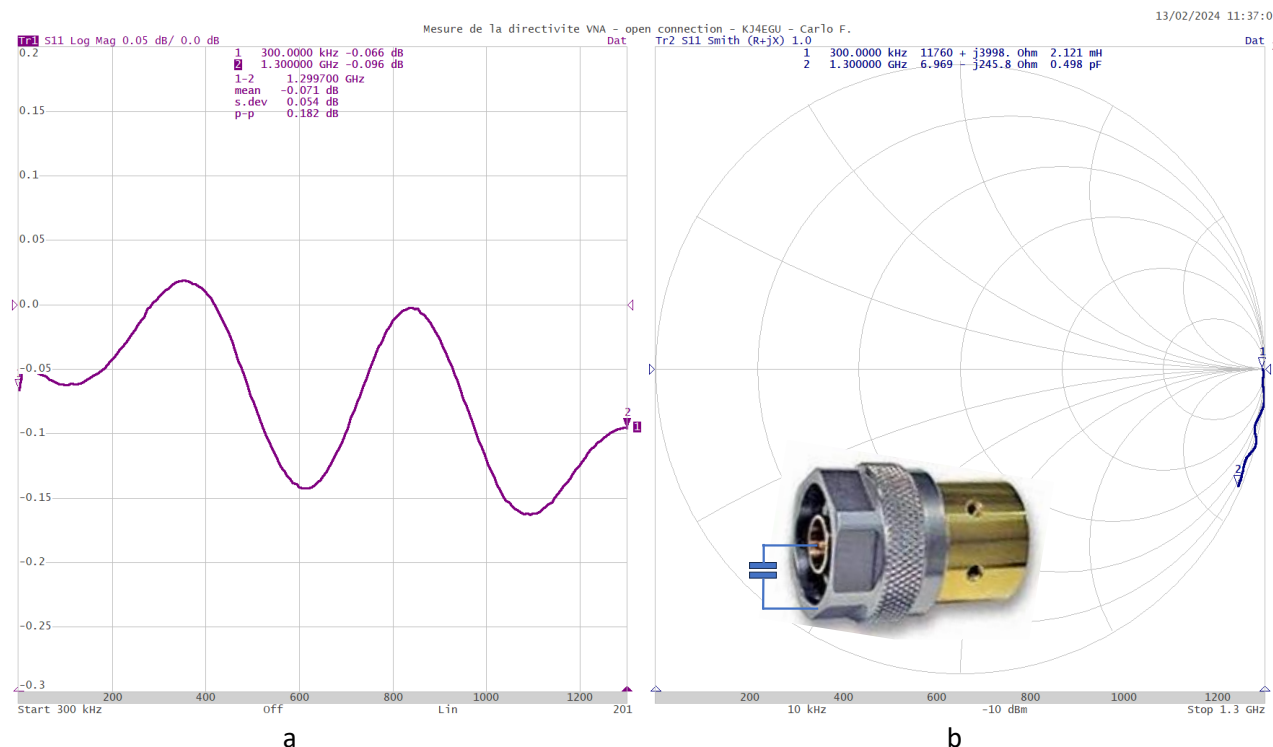


Fig. 11 : visualisation du VNA en mode Open (sans calibration). Source: KJ4EGU.

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 directivité d'un VNA ou pont de mesure est très simple à réaliser. Je vous conseille de la réaliser périodiquement ou de la réaliser avec un appareil dont vous ignorez ces spécifications. Elle s'effectue directement aux bornes du VNA (sans adaptateur coaxial)
2. Soyez très vigilant au moment d'acheter un VNA d'une bonne marque (HP, Rohde Schwarz , Anritsu , Copper Mountain,). L'instrument peut être 100 % fonctionnel et esthétiquement intact. Néanmoins, assurez-vous que l'instrument est calibre. Cas contraire la calibration-usine vous coûtera très cher.
3. La seule condition pour effectuer une mesure précise est de disposer d'une charge étalon de haute précision de 50 ohms. Je vous recommande le modèle KARN50+ (N mâle) ou ANNE 50X (SMA mâle) du fabricant mini Circuits. Le prix est d'environ 20 euros. Je tiens à vous faire remarquer que je n'ai aucun intérêt financier ni lien commerciaux avec aucune société.

Bonne chance à tous.

