Exposé à la réunion ON5VL : 18 février 2023 par ON4IJ
UBA LIÈGE : ON5VL site Internet https://on5vl.org

Splitters quarts d'ondes 1 vers 2 ou 4 : S_{11} S_{22}
Ce à quoi il faut penser …

Fig. 1 : Bandeau d'accueil du site Internet on5vl.org. Graphisme : ON5AM.

Introduction : utilité de l'utilisation des *Splitters*

Les *Splitters* sont des dispositifs qui permettent le groupement en phase d'antennes de façon à augmenter le gain total d'un système d'aériens. Chaque fois que l'on double le nombre d'antennes, on augmente le gain d'ensemble de 3 dB. Les *Splitters* sont des dispositifs réversibles : un gain de 3 dB est tout aussi valable en réception qu'en émission.

Ce gain qui peut paraître attrayant en émission car il augmente la puissance apparente rayonnée (PAR) est bien plus précieux en réception pour le DX. En effet, pour vous en convaincre, il est facile d'augmenter la puissance d'émission avec un linéaire, mais il est bien plus difficile de récolter les quelques µV du signal reçu au connecteur d'antenne en provenance d'une station lointaine ou d'une station QRP. Les µV perdus ou qui ne seront pas récoltés par le système d'antennes ne pourront être amplifiés sans payer un lourd tribut par l'augmentation du bruit ou par la dégradation du rapport signal sur bruit, en particulier en VHF, UHF ou SHF.

Le groupement d'antennes permet de modeler le diagramme de rayonnement de l'ensemble par exemple pour affiner la directivité dans le plan azimutal uniquement ou dans le plan de l'élévation uniquement ou bien dans les deux plans en même temps selon la configuration du groupement des antennes soit dans des plans parallèles distincts soit dans un même plan ou encore dans un combinaison de plans.

Splitters quarts d'ondes de 1 vers 2 ou de 1 vers 4

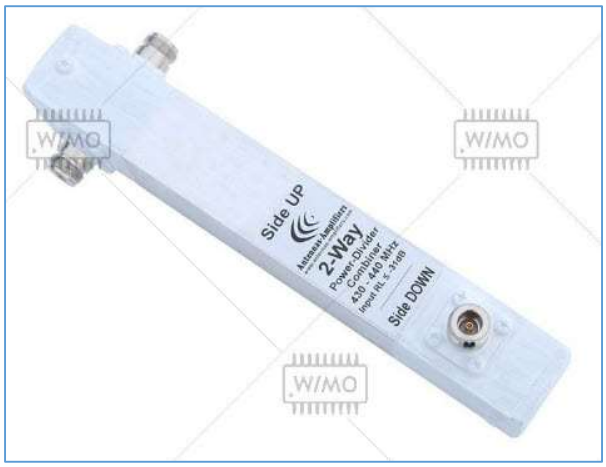

Fig. 2 : Splitter quart d'onde de 1 vers 2.
Source photo :
www.wimo.com/en/accessories/antenna-accessories/power-splitter.

Fig. 3 : Splitter quart d'onde de 1 vers 4.
Source photo :
www.wimo.com/en/accessories/antenna-accessories/power-splitter.

Les *Splitters* quarts d'ondes sont souvent utilisés pour alimenter en phase plusieurs antennes similaires.

Ainsi, deux antennes Yagi peuvent être montées dans deux plans parallèles superposés (*Stacked*) ou bien dans le même plan (*Collinear*). On utilise alors un Splitter à 1 entrée et 2 sorties.

On peut aussi combiner quatre antennes en phase dans le même plan ou selon 4 plans superposés ou encore dans une configuration en « H » ou bien orientées sur quatre secteurs différents. On utilise alors un *Splitter* à 1 entrée et 4 sorties.

Les *Splitters* ont une entrée d'impédance de 50 Ω et les sorties permettent de raccorder plusieurs antennes dont l'impédance de chacune de celles-ci est de 50 Ω. Cela facilite les raccordements des antennes avec des segments de câble coaxial d'impédance caractéristique de 50 Ω.

Le quart d'onde transforme l'impédance d'entrée de 50 Ω en une impédance de sortie qui correspond à la mise en parallèle des impédances selon le nombre d'antennes. Pour deux sorties, l'impédance à l'extrémité du quart d'onde est de 25 Ω (50/2 = 25) et pour quatre sorties l'impédance est de 12,5 Ω (50/4 = 12,5).

Principe du Splitter quart d'onde : problème aux sorties !

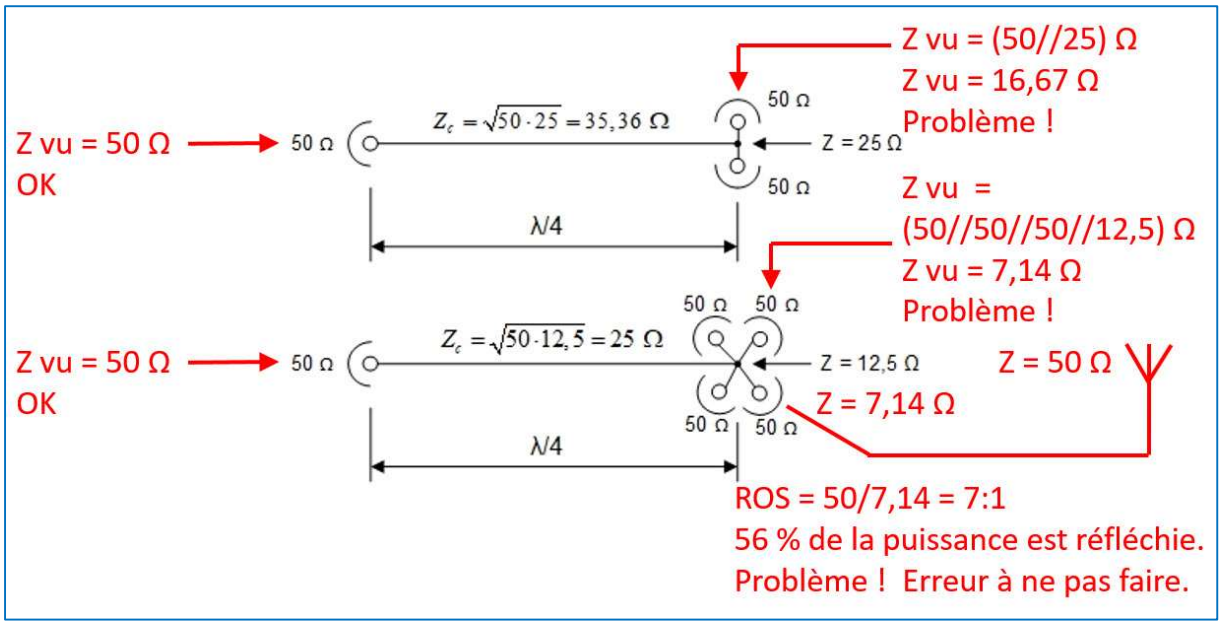

Fig. 4 : Principe du transformateur d'impédance avec un quart d'onde coaxial. Relevé de l'impédance vue à l'entrée du *Splitter* et de l'impédance vue à une des sorties de celui-ci. Graphisme : ON4IJ.

Le quart d'onde transformateur d'impédances doit avoir une impédance caractéristique dont la valeur est la moyenne géométrique des impédances à adapter. Cette moyenne géométrique se calcule par la racine carrée du produit des impédances à adapter :

$\sqrt{50 \cdot 25} = 35,36\ \Omega$ et $\sqrt{50 \cdot 12,5} = 25\ \Omega$

Le TX raccordé à l'entrée du *Splitter* est content car il voit une impédance de 50 Ω.

Mais l'impédance vue à chaque sortie du *Splitter* n'est pas de 50 Ω. Pour chaque sortie, l'impédance vue correspond à la mise en parallèle des impédances de l'autre sortie ou des 3 autres sorties avec aussi celle qui est présente à la fin du quart d'onde.

Pour un *Splitter* à 2 sorties : Z vu = 50 Ω // 25 Ω = 16,67 Ω.

Pour un *Splitter* à 4 sorties : Z vu = 50 Ω // 50 Ω // 50 Ω // 12,5 Ω = 7,14 Ω.

Chaque sortie se comporte donc comme une source dont l'impédance est trop faible (16,67 Ω ou 7,14 Ω) vis-à-vis de l'impédance de 50 Ω de chaque antenne et de chaque câble de 50 Ω entre antenne et *Splitter*. Dans les câbles entre antennes et *Splitter*, il y aura un ROS élevé.

Pour un *Splitter* à 2 sorties : ROS = 50/16,67 = 3:1 → 25 % de puissance réfléchie.

Pour un *Splitter* à 4 sorties : ROS = 50/7,14 = 7:1 → 56 % de puissance réfléchie.

Erreur similaire à ne pas faire

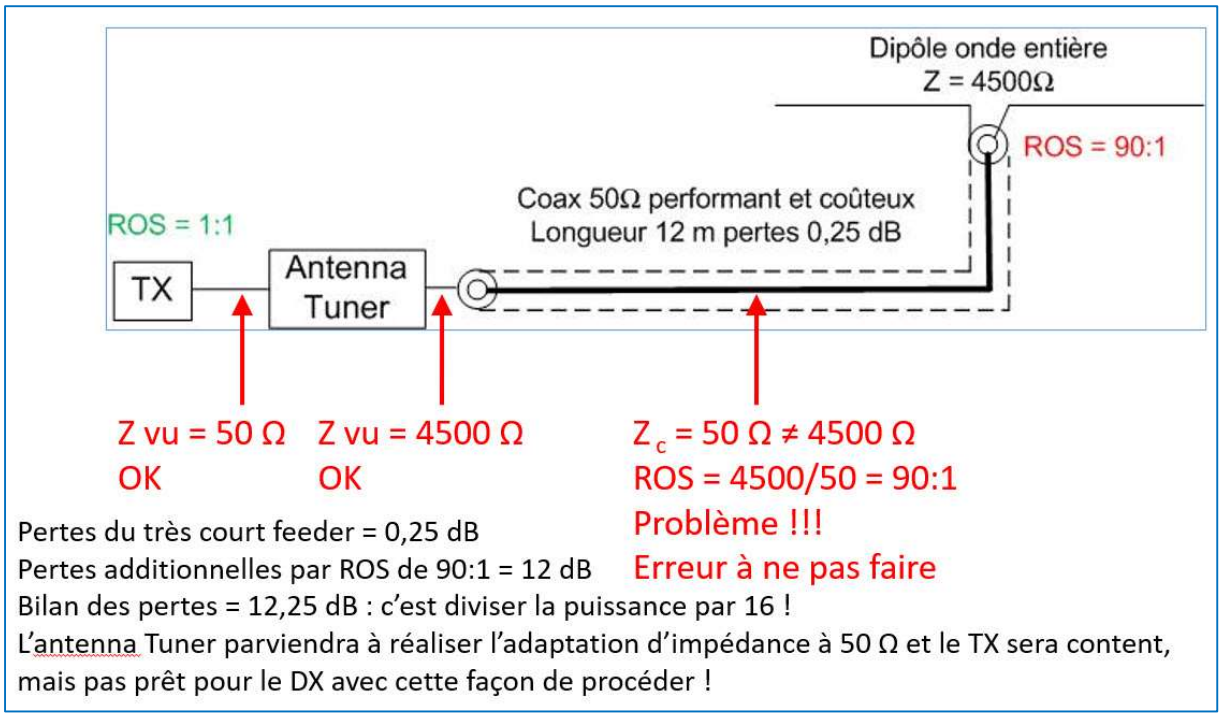

Fig. 5 : Illustration d'un cas de figure typique où les désadaptations d'impédances posent problèmes. On constate que *l'antenna tuner* n'est pas utilisé de manière rationnelle dans cet exemple : une erreur à ne pas faire ! Graphisme : ON4IJ.

Un *antenna tuner* permet d'adapter l'impédance de l'ensemble constitué par l'antenne et son *feeder* à la sortie d'un TX. Mais la désadaptation de l'antenne vis-à-vis du *feeder* et celle du *feeder* vis-à-vis de la sortie du *tuner* subsistent. Dans ce cas de figure, le *feeder* est lui-même le siège de ROS élevé.

Il y a lieu de distinguer les pertes linéiques du *feeder* de celles qui sont dues au ROS. Des abaques très simples permettent de calculer les pertes par ROS en fonction de la valeur de celui-ci et en fonction de la perte linéique du *feeder*.

Un ROS très élevé pose problèmes, même pour un *feeder* à faible pertes.

Un ROS relativement élevé pose moins de problèmes à condition d'utiliser un *feeder* à ultra faibles pertes (échelle à grenouille).

Un ROS relativement élevé pose un véritable problème, même pour un *feeder* d'une perte acceptable, ce qui est le cas dans tous les câbles coaxiaux.

Ainsi un ROS élevé pose moins de problème dans un *feeder* à échelle à grenouille que dans un câble coaxial, même si ce coax est court et performant, il aura des pertes plus élevées (spécialement en VHF et en UHF) que celles d'une échelle à grenouille.

Il y a lieu d'abandonner certains mythes à ce sujet.

Mesures au VNA : transmission, réflexion à l'entrée **et** à la sortie

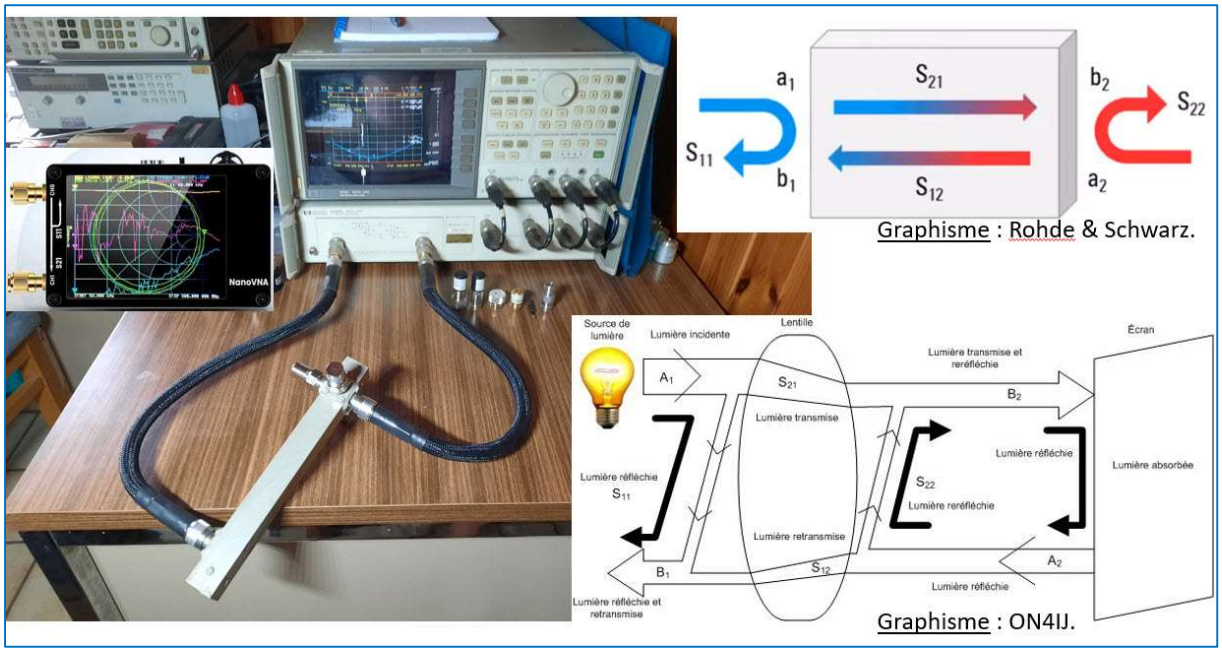

Fig. 6 : Appareils de mesure pour l'analyse vectorielle de réseaux (VNA : *Vector Network Analyzer*). Exemple d'un VNA HP 8753C (photo : ON4IJ) ; exemple d'un nano VNA (photo : nanovna.com). Graphismes du principe des paramètres de répartition (*Scattering Parameters*).

Un VNA permet d'effectuer quatre types de mesures sur un dispositif sous tests :

- Le coefficient de transmission directe : S_{21} ;
- Le coefficient de réflexion à l'entrée : S_{11} ;
- Le coefficient de transmission inverse : S_{12} ;
- Le coefficient de réflexion à la sortie : S_{22}.

Un VNA dispose de deux ports de mesures, ce qui permet de comparer le signal récolté à la sortie d'un dispositif sous test par rapport au signal présent à son entrée.

Le coefficient de transmission permet de quantifier les pertes d'insertion d'un dispositif. Il permet aussi de déterminer le gain d'un amplificateur.

Un VNA permet d'effectuer une mesure sur un seul port (le 1er ou le 2ème).

Le coefficient de réflexion permet de quantifier le ROS ou les pertes de retour, aussi bien à l'entrée qu'à la sortie d'un dispositif.

Pour mesurer un dispositif sous test qui a une entrée et plusieurs sorties, on raccorde impérativement des charges sur les sorties qui ne sont pas raccordées au VNA.

On peut utiliser un gros appareil VNA performant acheté en seconde main ou bien préférer utiliser un petit appareil moderne d'un prix abordable pour les OM's.

Transmission directe et inverse ; réflexion à l'entrée et à la sortie

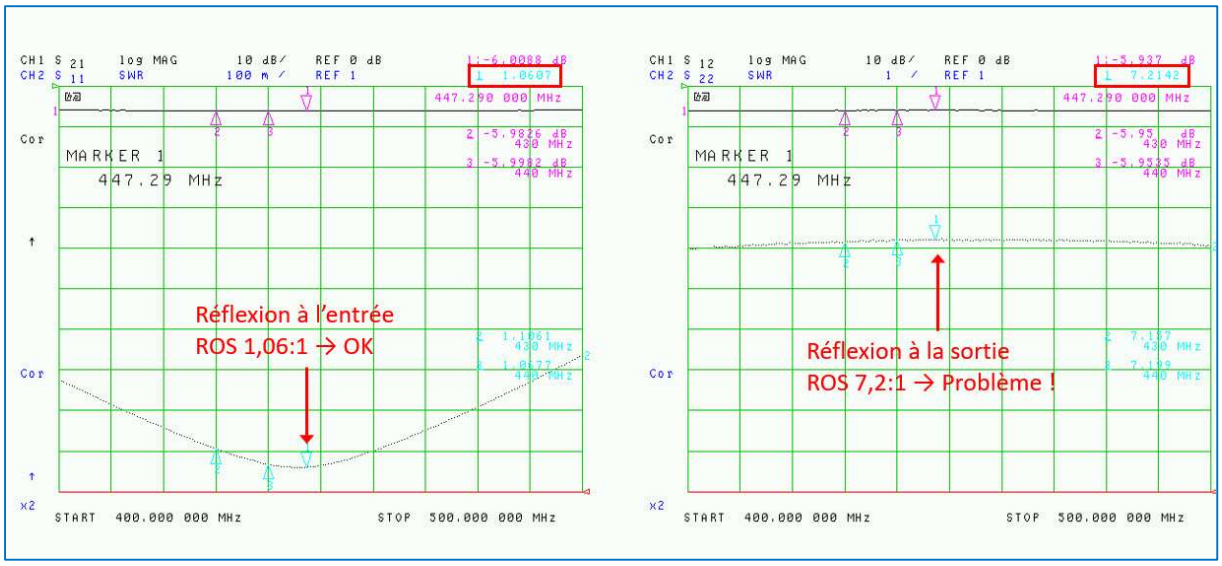

Fig. 7 : (À gauche) relevé de la perte d'insertion par la mesure du coefficient de transmission directe (de l'entrée vers la sortie) et relevé du ROS présent à l'entrée d'un *Splitter* de 1 vers 4. (À droite) relevé de la perte d'insertion par la mesure du coefficient de transmission inverse (de la sortie vers l'entrée) et relevé du ROS présent à une des sorties d'un *Splitter* de 1 vers 4. Les trois autres sorties du *Splitter* qui ne sont pas raccordées au VNA sont connectées sur des charges étalon de 50 Ω. Clichés : ON4IJ.

On constate dans les mesures sur un *Splitter* à 4 sorties que le coefficient de transmission est de -6 dB, ce qui est juste car la puissance à une sortie est le quart de celle qui est présente à l'entrée du *Splitter*. La puissance du TX est répartie vers 4 antennes. Chaque antenne reçoit le quart de la puissance du TX.

Un raisonnement similaire est applicable pour la transmission inverse (par exemple dans le cas de quatre antennes de réception).

Le ROS à l'entrée du *Splitter* est minimum à la résonnance du quart d'onde et est de faible valeur (1,06:1). L'échelle ROS sur le cliché à gauche est de 0,1:1 par division.

Mais le ROS à une sortie du *Splitter* est élevé et est ici de 7:1 comme prédit pour un *Splitter* à quatre sorties. L'échelle ROS sur le cliché de droite est de 1:1 par division.

Réflexion à l'entrée (S_{11}) et réflexion à la sortie (S_{22}) *Smith Chart*, mesures d'impédances

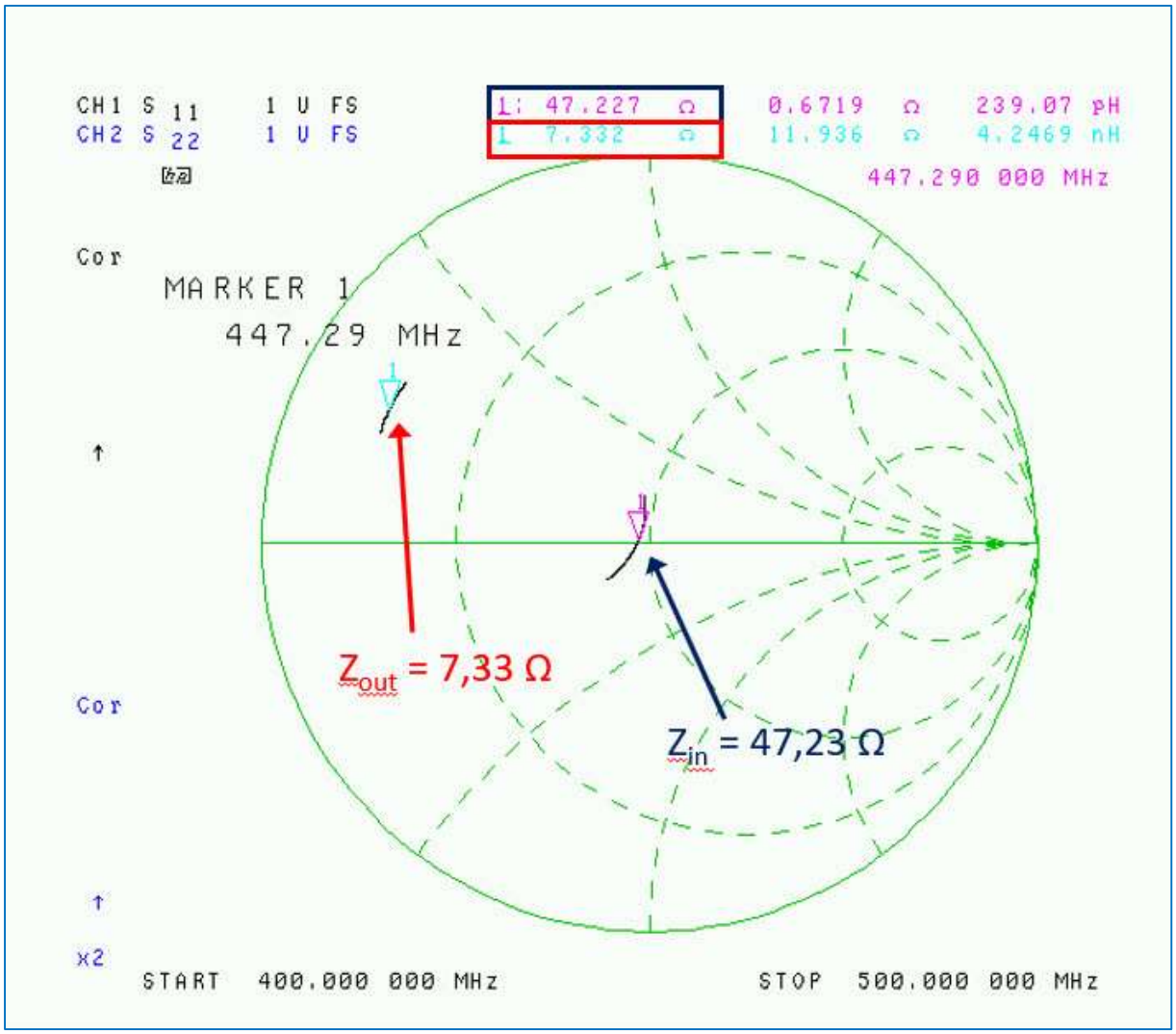

Fig. 8 : Lieu géométrique de l'impédance à l'entrée et à la sortie d'un *Splitter* de 1 vers 4 sur une plage de fréquence ; ce lieu d'impédances est affiché sur l'abaque de Smith. Cliché : ON4IJ.

Pour ceux qui ont quelques notions sur l'abaque de Smith, on peut visualiser les valeurs d'impédances en fonction de la fréquence sur un lieu géométrique (une portion de courbe) qui est tracé sur l'abaque.

On constate que la partie résistive de l'impédance vue à l'entrée du *Splitter* est proche de 50 Ω (47,23 Ω) à la fréquence de résonnance du quart d'onde.

On constate que l'impédance vue à une sortie du *Splitter* est proche de 7,14 Ω comme prédit (7,33 Ω).

Solution : utiliser un quart d'onde par sortie → jonction en « T »

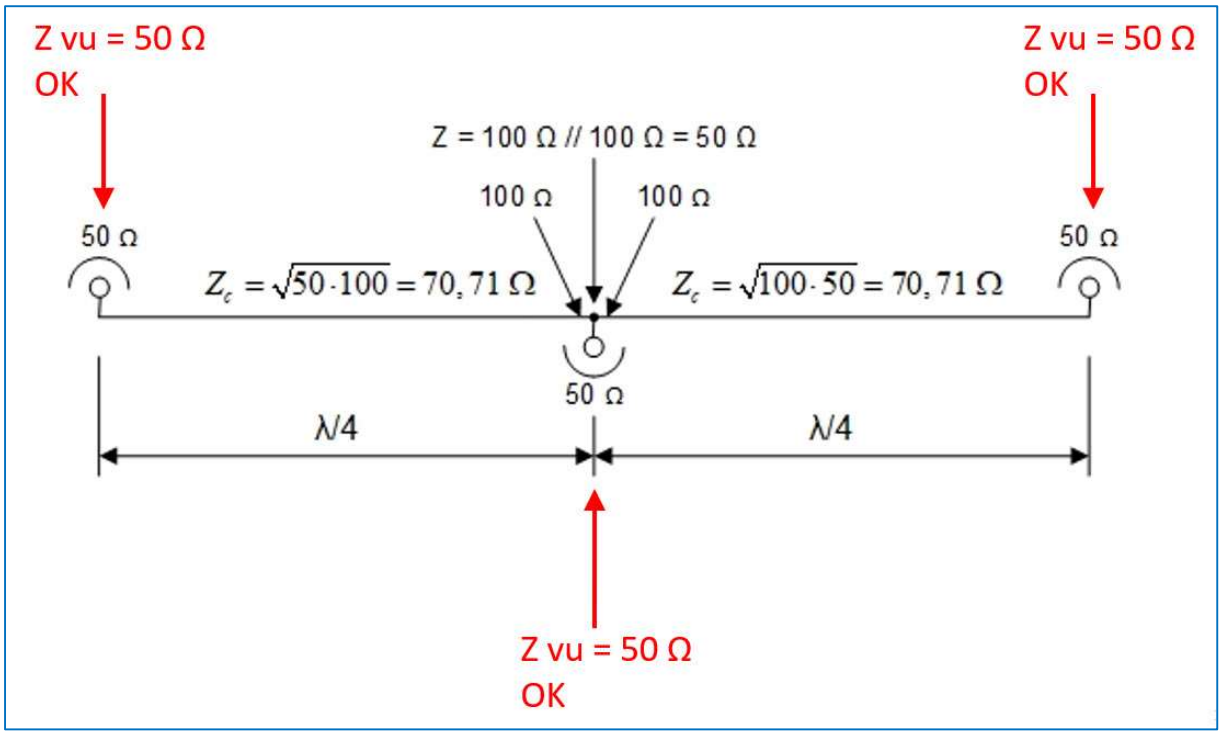

Fig. 9 : Principe d'un *Splitter* de 1 vers 2 à deux quarts d'ondes avec jonction en « T ».
Graphisme : ON4IJ.

La solution consiste à utiliser un transformateur d'impédance quart d'onde pour chaque sortie du *Splitter*. Les *Splitters* à 2 sorties en jonction « T » sont parfois faussement appelés *Splitters* demi-onde. Il s'agit rigoureusement de deux quarts d'ondes placés dans le prolongement l'un de l'autre pour des raisons évidentes de facilités de construction pratique.

Ce type de *Splitter* respecte l'impédance de 50 Ω aussi bien aux sorties qu'à l'entrée de celui-ci. Le quart d'onde transforme une impédance de 50 Ω vers 100 Ω et la mise en parallèle de 2 impédances de 100 Ω donne une impédance de 50 Ω. L'impédance caractéristique des quarts d'ondes est dès lors respectivement de 70,71 Ω.

Il y aurait moyen de construire des *Splitters* en jonction « T » à 4 sorties. Cela serait plus difficile au point de vue de la construction car cela nécessiterait la fabrication d'un double « T » qui prendrait la forme d'une croix à quatre branches (croix de Saint André en forme de « X »). L'entrée du *Splitter* serait située au centre de la croix. Les sorties seraient situées à chaque extrémité des branches de la croix.

On verra par la suite qu'il y a une autre méthode plus simple pour constituer un *Splitter* à quatre voies de sortie.

Bonne solution pour un *Splitter* de 1 vers 2

Fig. 10 : Illustration d'un bon exemple de *Splitter* de 1 vers 2 à deux quarts d'ondes avec jonction en « T » où l'impédance de 50 Ω est respectée aussi bien au port d'entrée qu'à chacun des 2 ports de sortie. Source photo : www.wimo.com/en/accessories/antenna-accessories/power-splitter.

L'illustration montre un *Splitter* à 2 sorties constitué de deux quarts d'ondes raccordés par une jonction en « T ».

Ce type de *Splitter* est parfois faussement appelé *Splitter* demi-onde.

Il y a moyen de réaliser une construction OM d'un tel *Splitter* en utilisant deux segments de câbles coax de 75 Ω qui sont raccordés par un « T ». L'erreur sera minime entre la valeur pratique de 75 Ω et la valeur théorique de 70,71 Ω. Le ROS sera très faible et de l'ordre de 1,125:1.

Mauvaise solution pour un *Splitter* de 1 vers 4

Fig. 11 : Illustration d'un mauvais exemple de *Splitter* de 1 vers 4 à deux quarts d'ondes avec jonction en « T » où l'impédance de 50 Ω n'est pas respectée à chacun des 4 ports de sortie. Source photo : www.wimo.com/en/accessories/antenna-accessories/power-splitter.

L'illustration montre un *Splitter* à 4 sorties constitué de deux quarts d'ondes raccordés par une jonction en « T ».

Hélas, ce type de *Splitter* reproduit exactement la même erreur que celle qui a été décrite au sujet des *Splitters* à 2 sorties mais à un seul quart d'onde.

Ici, les deux transformateurs quart d'onde adaptent respectivement une impédance de 100 Ω à une impédance de 25 Ω. L'impédance vue à l'entrée du *Splitte*r est bien de 50 Ω, mais l'impédance vue à chaque sortie du *Splitter* est de 50//25 = 16,67 Ω.

Ce type de *Splitter* peut paraître séduisant car l'impédance caractéristique des deux quarts d'ondes est de :

$$\sqrt{100 \cdot 25} = 50\ \Omega$$

Il est donc pratique de réaliser un tel Splitter avec trois « Té » coax et deux segments de coax de 50 Ω. Il faudra alors se résoudre à avoir un ROS de 3:1 entre les sorties du *Splitter* et les antennes.

Bonne solution pour 1 vers 4 avec 3 *Splitters* de 1 vers 2

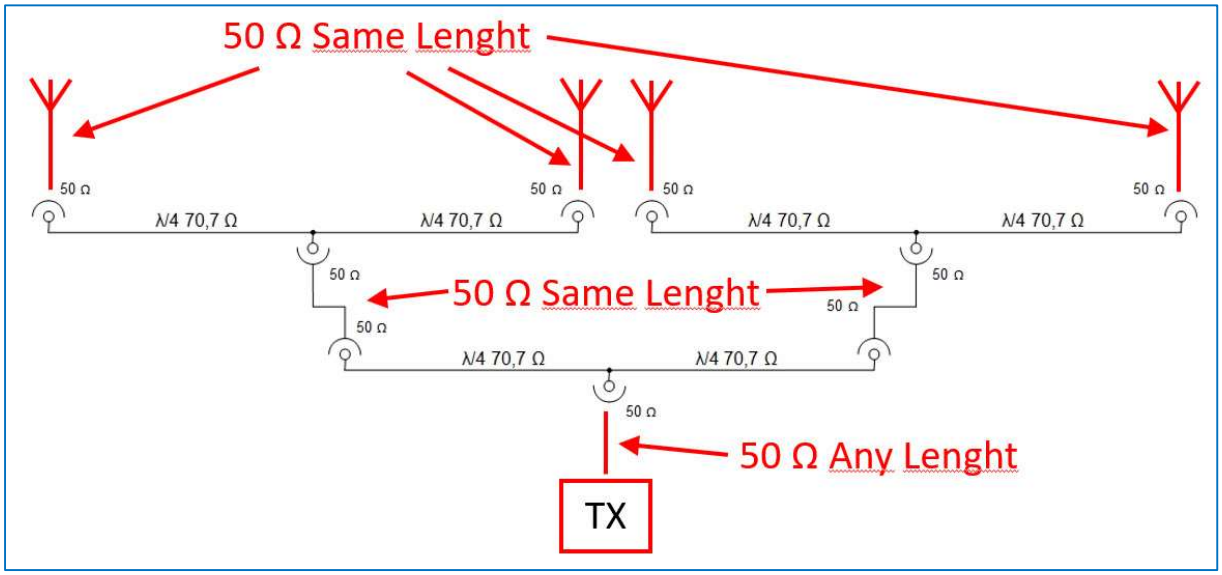

Fig. 12 : Principe d'un *Splitter* de 1 vers 4 en ayant recours à 3 *Splitters* de 1 vers 2 à deux quarts d'ondes avec jonction en « T » où l'impédance de 50 Ω est respectée aussi bien au port d'entrée qu'à chacun des 2 ports de sortie de chaque *Splitter* de 1 vers 2 et est enfin respectée à chacun des 4 ports de sortie de tout l'ensemble. Graphisme : ON4IJ.

La méthode rigoureuse et pratique pour un aérien à quatre antennes consiste à utiliser trois *Splitters* à 2 sorties. Certes, cela devient plus cher, mais au moins l'impédance de 50 Ω est respectée à tous les ports de cet ensemble avec un groupement de *Splitters* à jonction en « T » et le ROS est proche de 1:1 dans tous les segments des câbles coax. Il est à remarquer que les longueurs des segments coax doivent être identiques pour une mise en phase rigoureuse de toutes les antennes.

BONUS : les *Splitters* à transformateurs quarts d'ondes sont optimaux pour des impédances strictement résistives à leurs sorties. Une antenne a une impédance strictement résistive à la résonnance, proche de 50 Ω si elle est bien adaptée.

Toutefois, si l'impédance résistive de l'antenne à la résonnance n'est pas strictement de 50 Ω, cette impédance varie le long du *feeder* (le ROS reste constant tout le long du *feeder*). Ainsi, après une portion de longueur de *feeder*, l'impédance strictement résistive au départ peut avoir une composante réactive à l'extrémité du *feeder*. Pour ceux qui connaissent l'abaque de Smith, l'impédance suit un cercle à ROS constant sur l'abaque. On prendra donc la précaution d'utiliser des segments de raccordement des antennes avec des coax qui sont des multiples de demi-ondes.

Conclusions

On peut s'interroger sur les raisons pour lesquelles on vend autant de *Splitters* à 2 ou 4 sorties et à un seul quart d'onde.

On peut penser qu'il s'agit là de solutions de compromis à bas prix. On peut dire que « ça marche ». Oui, peut-être, mais pas de manière optimale.

Il faut doubler le nombre d'antennes pour obtenir une augmentation de gain de 3 dB pour l'ensemble. Ce serait dommage d'anéantir le bénéfice de ce gain de 3 dB à cause des pertes par ROS élevé dans les *feeders* de raccordements des antennes.

Le compromis tient lieu aussi du fait que les segments des feeders qui raccordent les antennes au *Splitter* sont courts et donc de relativement faibles pertes linéiques. Ainsi les pertes par ROS deviennent plus ou moins acceptables dans des segments de coax du fait que leur perte linéique soit relativement faible étant donné leur courte longueur.

Il faut alors consentir un effort sur la qualité des segments de coax qui devront être à faibles pertes et se résoudre à subir des pertes plus ou moins acceptables par ROS élevé dans ces segments.

L'utilisation de *Splitters* uniquement à 2 sorties et uniquement à deux quarts d'ondes avec jonction en « T » est fortement recommandée.