

Un concept génial de HB9TWV Pascal à Genève pour des mesures sur un convertisseur LNC pour la réception du satellite QO-100

Introduction :

Le contenu de cet article est une contribution technique du radioamateur suisse HB9TWV Pascal EMERY à Genève qui est un de nos lecteurs du site Internet ON5VL. C'est à la suite de la lecture de l'article sur le sujet des mesures scalaires publié sur ON5VL.org que Pascal HB9TWV a élaboré un concept génial qui permet d'effectuer des mesures scalaires sur un convertisseur de fréquence SHF de la bande X des 3 cm (10,495 GHz) vers une fréquence intermédiaire (IF) située dans la bande des 23 cm (1255 MHz). Ce convertisseur LNC (*Low Noise Converter*) MKU LNC 10 QO-100 fabriqué par Kuhne Electronic permet la réception des signaux du satellite QO-100, en particulier sur le mode DATV (*Digital Amateur TéléVision*).

Pour les mesures scalaires radiofréquences, Pascal HB9TWV utilise un analyseur de spectre Hewlett Packard HP 8563E et dispose tout récemment d'un générateur suiveur à balayage en fréquence (*Tracking Source*) HP 85645A ; « une merveille » pour reprendre ses mots. Ces deux appareils ont une étendue de mesure de 9 kHz à 26,5 GHz pour l'analyseur de spectre et de 300 kHz à 26,5 GHz pour le générateur à balayage en fréquence. Toute la difficulté des mesures sur un convertisseur de fréquences réside dans le fait que la sortie IF du convertisseur LNC n'est pas sur la même fréquence que celle de l'entrée SHF. Comment donc piloter le générateur suiveur sur la bande des 3 cm pendant que l'analyseur de spectre doit mesurer un signal situé dans la bande des 23 cm ?

Cet article technique s'adresse aux radioamateurs qui veulent effectuer des mesures sur un convertisseur de fréquence, soit autonome, soit faisant partie des premiers étages d'un récepteur, en utilisant un analyseur de spectre et un générateur *Tracking*, quel que soit le modèle ou la marque de ces appareils de mesure tout en appliquant le concept de Pascal HB9TWV.

Il est recommandé au lecteur de prendre connaissance au préalable du contenu de l'article sur le sujet des mesures scalaires afin de mieux profiter des explications qui sont décrites dans le concept de mesure expérimenté par Pascal HB9TWV.

Vous trouverez la publication de l'article technique « Analyseur de spectre et mesures scalaires » en suivant le lien ci-dessous. Cela vous permettra aussi de vous familiariser avec la mise en œuvre du couple d'appareils HP 8563E et HP 85645A.

<https://on5vl.org/analyseur-spectre-mesures-scalaires/>

Le concept génial de Pascal HB9TWV ; la mise en œuvre de deux mélangeurs IF :

Pour que vous puissiez comprendre les explications qui vont suivre, Pascal HB9TWV a tracé le graphisme du schéma-bloc de son concept de mesure ; voir figure 1 à la page suivante.

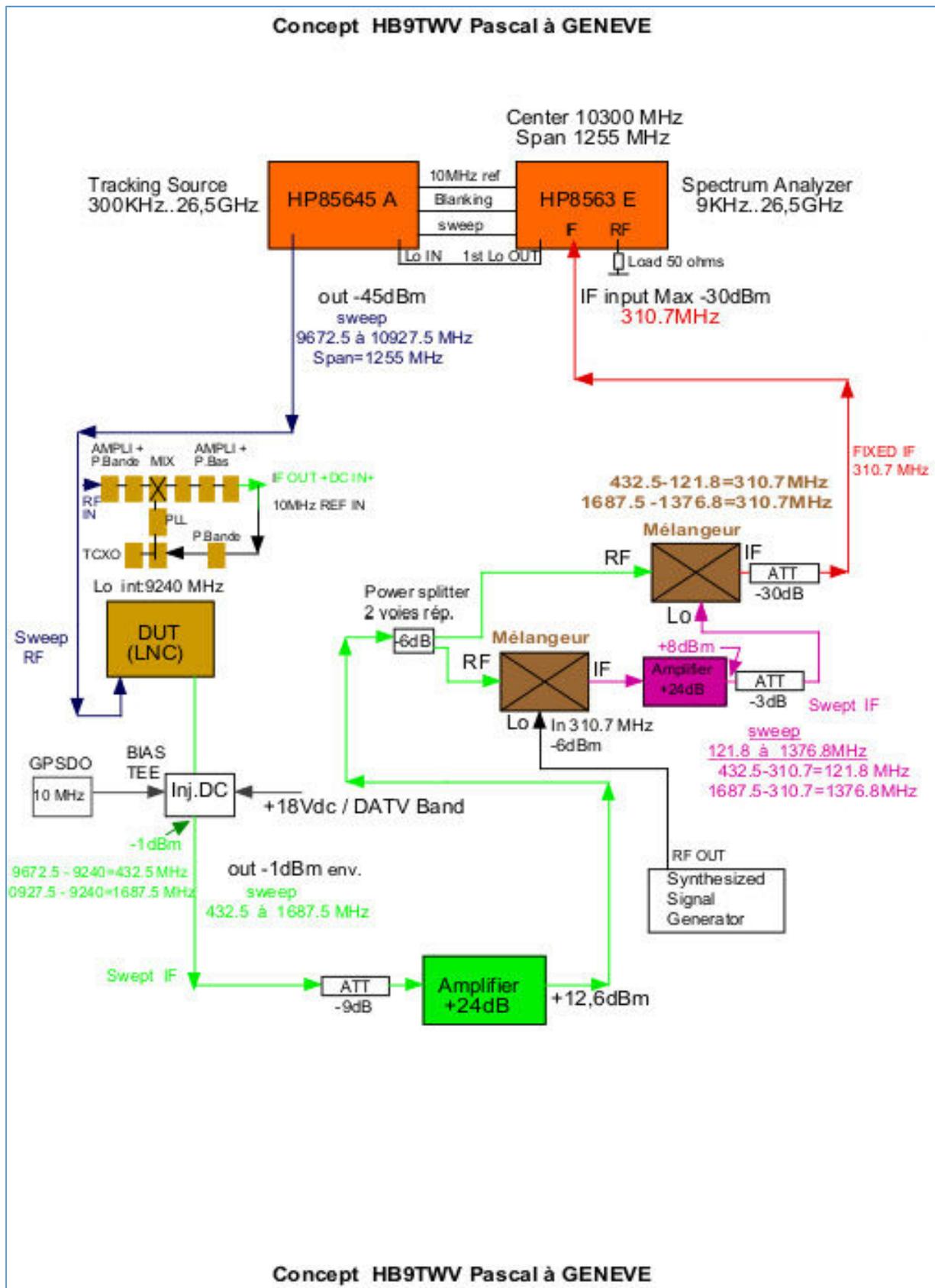


Fig. 1 : Concept de Pascal HB9TWW pour les mesures scalaires sur un convertisseur de fréquence de la bande X des 3 cm vers la bande des 23 cm en utilisant un analyseur de spectre, un générateur *Tracking* et deux mélangeurs IF. Source : graphisme de Pascal HB9TWW à Genève.

L'étendue en fréquence de l'analyseur de spectre est paramétrée sur la bande des 3 cm : fréquence centrale 10 300 MHz et *Span* 1 255 MHz, ce qui permet le pilotage du générateur *Tracking* sur la même bande SHF, c'est-à-dire entre la fréquence de *Start* de 9 672,5 MHz et la fréquence de *Stop* de 10 927,5 MHz. Le signal SHF en provenance du générateur *Tracking*, à un niveau de -45 dBm, est injecté à l'entrée RF (*Radio Frequency*) SHF du convertisseur LNC constituant le dispositif sous test (*DUT Device Under Test*).

Nous décrivons plus loin comment l'analyseur de spectre va pouvoir afficher le signal de la sortie IF (*Intermediate Frequency*) du convertisseur LNC sur la bande des 23 cm.

L'oscillateur local (*LO Local Oscillator*) interne du LNC a une fréquence fixée à 9 240 MHz pour une application de la réception de la portion de bande DATV du satellite QO-100. Le changement de fréquence dans le LNC s'effectue par battement inférieur. À la sortie IF du LNC, on obtient donc un signal qui est aussi balayé en fréquence mais cette fois-ci entre une fréquence de *Start* de $9\,672,5\text{ MHz} - 9\,240\text{ MHz} = 432,5\text{ MHz}$ et une fréquence de *Stop* de $10\,927,5\text{ MHz} - 9\,240\text{ MHz} = 1\,687,5\text{ MHz}$.

Il est à remarquer que le LNC permet la réception des signaux DATV sur une fréquence IF du LNC située dans la bande des 23 cm et permet aussi la réception des signaux SSB du satellite QO-100 sur la sortie IF de ce même LNC dans la bande des 70 cm. Ceci explique le choix d'un *Span* de 1 255 MHz sur le signal SHF pour permettre de caractériser le LNC sous test dans l'intégralité de la bande passante pour laquelle il est prévu.



Fig. 2 : Convertisseur de la bande X des 3 cm MKU LNC 10 QO-100 Kuhne Electronic. Sur la gauche, l'entrée SHF 10,300 GHz sur un connecteur SMA avec un câble de mesure reliant l'entrée du LNC à la sortie du générateur *Tracking* HP 85645A paramétré à un niveau de -45 dBm. Sur la droite, la sortie IF du LNC à 1 060 MHz sur un connecteur type N. L'alimentation du LNC s'effectue par la ligne de transmission coaxiale du signal IF et par l'intermédiaire d'un injecteur DC (*Bias Tee*) que l'on peut observer en bas à droite de la figure. Le niveau de sortie du signal IF, en tenant compte des pertes d'insertion du *Bias Tee* et du câble de mesure qui y est raccordé est de l'ordre de -1 dBm. Ce niveau constitue un maximum qui ne doit pas être dépassé car il se situe juste avant le point de saturation de la sortie du convertisseur.

Source : cliché de Pascal HB9TWV à Genève.

Le signal de la sortie IF du LNC d'un niveau max. de l'ordre de -1 dBm est d'abord amplifié à un niveau de +12,6 dBm et est ensuite dirigé vers deux voies distinctes au moyen d'un coupleur -6 dB, c'est-à-dire un répartiteur ou un *Power Splitter*. Nous reviendrons plus tard sur la description du rôle essentiel des atténuateurs judicieusement placés sur le chemin parcouru par le signal. La première voie de sortie du *Power Splitter* est raccordée à l'entrée RF d'un premier mélangeur. L'entrée LO de ce premier mélangeur reçoit un signal d'un niveau de -6 dBm à fréquence fixe de 310,7 MHz en provenance d'un générateur HF à synthétiseur de fréquence HP 8642B agissant comme oscillateur local externe. Nous verrons par la suite la raison pour laquelle la fréquence de 310,7 MHz a été choisie (ce n'est pas un hasard).

À la sortie du premier mélangeur, on obtient la fréquence IF du LNC, mais qui est translatée de 310,7 MHz (changement de fréquence par battement inférieur). On obtient donc un signal balayé en fréquence entre une fréquence de *Start* de $432,5 \text{ MHz} - 310,7 \text{ MHz} = 121,8 \text{ MHz}$ et une fréquence de *Stop* de $1\ 687,5 \text{ MHz} - 310,7 \text{ MHz} = 1\ 376,8 \text{ MHz}$.

La seconde voie du *Power Splitter* est raccordée vers l'entrée RF d'un second mélangeur. L'entrée LO de ce second mélangeur reçoit cette fois-ci le signal de sortie IF du premier mélangeur à un niveau de +5 dBm par l'intermédiaire d'un second amplificateur. Ce qu'il faut bien comprendre ici, c'est qu'au niveau de ce second mélangeur, le signal IF de sortie du LNC est mélangé avec lui-même mais avec ce même signal translaté de 310,7 MHz. Le résultat donne un signal à la sortie IF du second mélangeur d'une fréquence fixe de 310,7 MHz par battement inférieur. En effet : pour la fréquence IF de *Start* du LNC à 432,5 MHz on obtient une seconde IF de $432,5 \text{ MHz} - 121,8 \text{ MHz} = 310,7 \text{ MHz}$ et pour la fréquence IF de *Stop* du LNC à 1 687,5 MHz on obtient une seconde IF de $1\ 687,5 \text{ MHz} - 1\ 376,8 \text{ MHz} = 310,7 \text{ MHz}$. Ainsi, pendant le balayage en fréquence sur un *Span* de 1 255 MHz, on obtient une seconde IF à fréquence fixe de 310,7 MHz.

Le signal de la seconde IF (sortie du second mélangeur) à fréquence fixe de 310,7 MHz est injecté non pas à l'entrée RF de l'analyseur de spectre mais à son entrée IF qui est justement à une fréquence fixe de 310,7 MHz. C'est la raison pour laquelle l'oscillateur local externe HP 8642B a été paramétré sur cette fréquence précise de 310,7 MHz. Le signal à cette entrée IF du HP 8563E ne peut pas dépasser un niveau de -30 dBm et c'est la raison pour laquelle un atténuateur de -30 dB est placé à la sortie du second mélangeur, c'est-à-dire avant cette entrée IF à 310,7 MHz.

L'analyseur de spectre HP 8563E dispose d'une entrée IF à 310,7 MHz qui est accessible à l'utilisateur par un connecteur SMA situé sur la face avant de cet appareil de mesure. Hewlett Packard a prévu cette entrée IF de l'analyseur de spectre entre autres pour l'utilisation de mélangeurs externes permettant d'étendre la plage de mesure en fréquence de l'appareil de 26,5 GHz jusqu'à 325 GHz en différentes bandes où chaque bande est traitée par un mélangeur externe dédié à chaque bande.

L'entrée IF à 310,7 MHz qui est accessible par l'utilisateur à l'analyseur de spectre permet d'outrepasser (« *By-passer* ») l'étage d'entrée RF et le premier mélangeur interne à l'appareil. L'entrée RF du HP 8563E n'étant pas utilisée, celle-ci est chargée par une charge fictive de 50 Ω . Il est à remarquer qu'il n'est pas nécessaire d'activer une sélection de l'entrée IF à 310,7 MHz de l'analyseur de spectre : celle-ci s'effectue automatiquement par des commutateurs à diodes pins ou par des coupleurs à l'intérieur de l'appareil de mesure.

D'autres modèles d'analyseurs de spectre disposent aussi en général d'une entrée IF accessible par l'utilisateur. Les premiers étages de l'analyseur de spectre HP 8563E sont décrits dans le manuel de service de cet appareil sous la forme d'un schéma-bloc. On y retrouve entre autres le cheminement de l'entrée IF à 310,7 MHz. On recommande aux lecteurs de consulter le manuel de service de leurs appareils de mesure afin de mieux comprendre leur fonctionnement et ainsi de pouvoir les utiliser avec toutes les possibilités qu'offrent ces instruments de mesure.

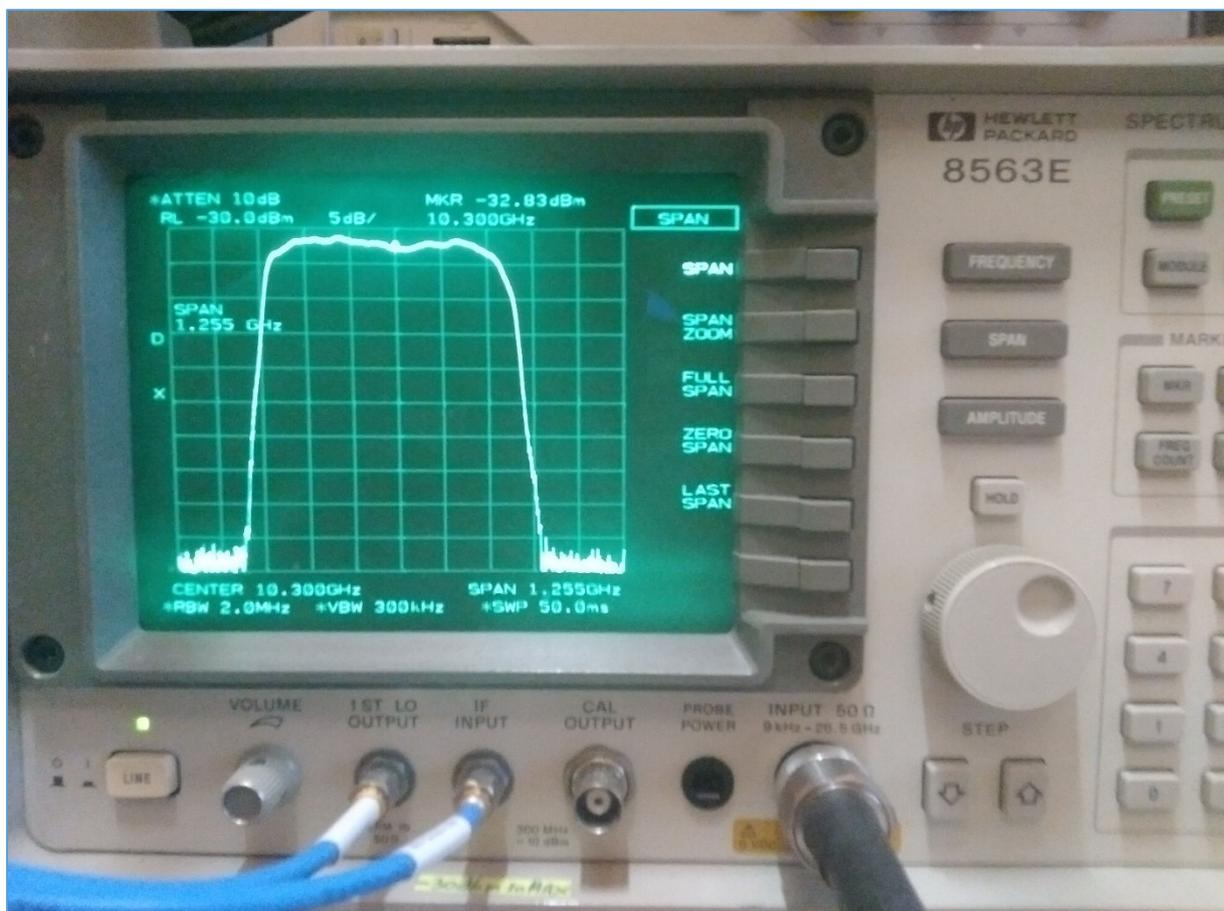


Fig. 3 : Courbe de réponse du LNC sous test en utilisant le concept de mesure de Pascal HB9TWV. L'analyseur de spectre est paramétré comme suit : fréquence centrale 10,300 GHz ; Span 1 255 MHz ; Résolution de bande passante (RBW) 2 MHz ; bande passante vidéo 300 kHz ; atténuateur d'entrée 10 dB ; niveau de référence -30 dBm ; calibre d'échelle verticale 5 dB par division ; mode de détection *Negative Peak* ; un marqueur est placé à la fréquence de 10,300 GHz et indique un niveau de -32,83 dBm. Source : cliché de Pascal HB9TWV à Genève.

Ce qu'il faut comprendre dans le concept de mesure de Pascal HB9TWV, c'est qu'il s'agit en même temps d'un système fréquentiel et d'un système séquentiel. En effet, le générateur interne en dents de scie (*Scan Generator*) de l'analyseur de spectre permet à la fois de piloter d'une part son premier oscillateur local YTO (*Yig Tuned Oscillator*), ce qui permet d'obtenir à la sortie du générateur *Tracking* un balayage en fréquence dans la bande SHF entre 9 672,5 MHz et 10 927,5 MHz (système fréquentiel) et permet de piloter d'autre part la déflexion horizontale de l'écran de l'analyseur de spectre qui affiche, dans le domaine du temps, l'amplitude du signal à fréquence fixe à 310,7 MHz reçu à son entrée IF (système séquentiel).

Comme le pilotage du balayage en fréquence SHF est synchronisé avec la déflexion horizontale de l'analyseur, celui-ci affiche la courbe de réponse en amplitude de la sortie IF du LNC sous test dans le domaine du temps (*Sweep Time*) sur une fréquence fixe de 310,7 MHz tout en conservant l'affichage horizontal dans le domaine de la fréquence SHF. Ainsi il est donc possible, grâce au concept de mesure de Pascal HB9TWV, de visualiser la courbe de réponse en amplitude de la sortie IF (70 cm ; 23 cm) d'un LNC sous test lorsque celui-ci reçoit à son entrée RF un signal balayé en fréquence dans sa bande de réception (3 cm).

L'avantage du concept de mesure de Pascal HB9TWV est d'avoir recours à des mélangeurs de fréquence qui travaillent uniquement dans la bande IF du convertisseur LNC sous test. En effet, ce type de mélangeurs dédiés aux bandes des 70 cm et 23 cm sont d'un prix bien plus abordable que ceux qui sont spécifiquement conçus pour la bande des 3 cm. Il en est de même en ce qui concerne les amplificateurs qui sont placés sur le chemin du signal IF et non pas sur le chemin du signal SHF. Le défi de Pascal HB9TWV a été de constituer un *Set-Up* de mesure pour un budget ne dépassant pas 400 USD (358 CHF ; 341 EUR). Le challenge a été de mettre en œuvre des mélangeurs à faible coût de 40 USD/pièce. Toutefois, nous décrirons plus loin certains aspects technologiques critiques à observer au niveau des caractéristiques des mélangeurs, en particulier en ce qui concerne leurs performances de pertes de retour (*Return Loss*).

Par comparaison, les mesures d'un dispositif sous test à translation de fréquence (convertisseur ou mélangeur de fréquence) s'effectuent en général au moyen d'un *Up-Converter* qui relève la fréquence IF du LNC sous test à la fréquence RF de celui-ci afin d'être mesurée par l'entrée RF de l'analyseur de spectre. Cela donne deux contraintes : la première est de disposer d'un mélangeur de référence et de mesure d'une bonne linéarité mais très coûteux car il doit couvrir la bande X des 3 cm et la deuxième est de disposer d'une sortie auxiliaire de l'oscillateur local interne du LNC sous test. En effet, il y a lieu de conserver un système cohérent entre le signal de stimulus (sortie du *Tracking*) et le signal mesuré à l'entrée RF de l'analyseur de spectre en conservant une constance de phase entre ces deux signaux.

Il y a toutefois moyen de substituer l'oscillateur local interne du convertisseur sous test par un oscillateur externe (générateur HF synthétisé). Dans ce cas, il devient difficile d'obtenir une fréquence rigoureusement identique à celle de l'oscillateur local interne au convertisseur sous test et par voie de conséquence, il devient quasi impossible d'obtenir une phase rigoureusement constante entre celle de l'oscillateur interne et celle de l'oscillateur externe. Pour garantir une constance de phase dans ce cas de figure, il devient nécessaire d'asservir la phase de l'oscillateur externe à celle de l'oscillateur interne au moyen d'un dispositif à verrouillage de phase (PLL *Phase Locked Loop*).

Vérification de la fonctionnalité du concept de mesure et test de l'entrée IF à 310 MHz :

Afin de visualiser et de vérifier la linéarité de l'ensemble du *Set-Up* de mesure formé par les deux amplificateurs, les deux mélangeurs, le *Power Splitter* et les atténuateurs selon le concept de Pascal HB9TWV, le LNC sous test et l'injecteur DC (*Bias Tee*) sont déconnectés et substitués par un adaptateur en « I » SMA-N (*Thru*).

L'analyseur de spectre est alors paramétré sur une étendue de balayage en fréquence correspondant à celle de la plage IF du LNC, c'est-à-dire sur une fréquence centrale de 1 060 MHz avec un *Span* de 1 255 MHz, en d'autres mots une fréquence de *Start* de 432,5 MHz et une fréquence de *Stop* de 1 687,5 MHz. Le signal à la sortie du générateur *Tracking* se trouve donc maintenant sur la même étendue de balayage en fréquence que celle qui aurait été présente à la sortie IF du convertisseur LNC. Ce signal rentre dans le concept de mesure de Pascal HB9TWV et arrive sur une fréquence fixe de 310,7 MHz à l'entrée IF de l'analyseur de spectre.

Si les amplificateurs IF et les mélangeurs IF sont parfaitement linéaires dans cette étendue de mesure, on doit retrouver une trace parfaitement plane vers le dessus de l'écran de l'analyseur de spectre. Pascal HB9TWV a donc inclus cette étape indispensable dans son protocole de mesure. Vous pourrez apprécier la très bonne linéarité du *Set-Up* de mesure réalisé par Pascal HB9TWV en observant la figure ci-dessous.

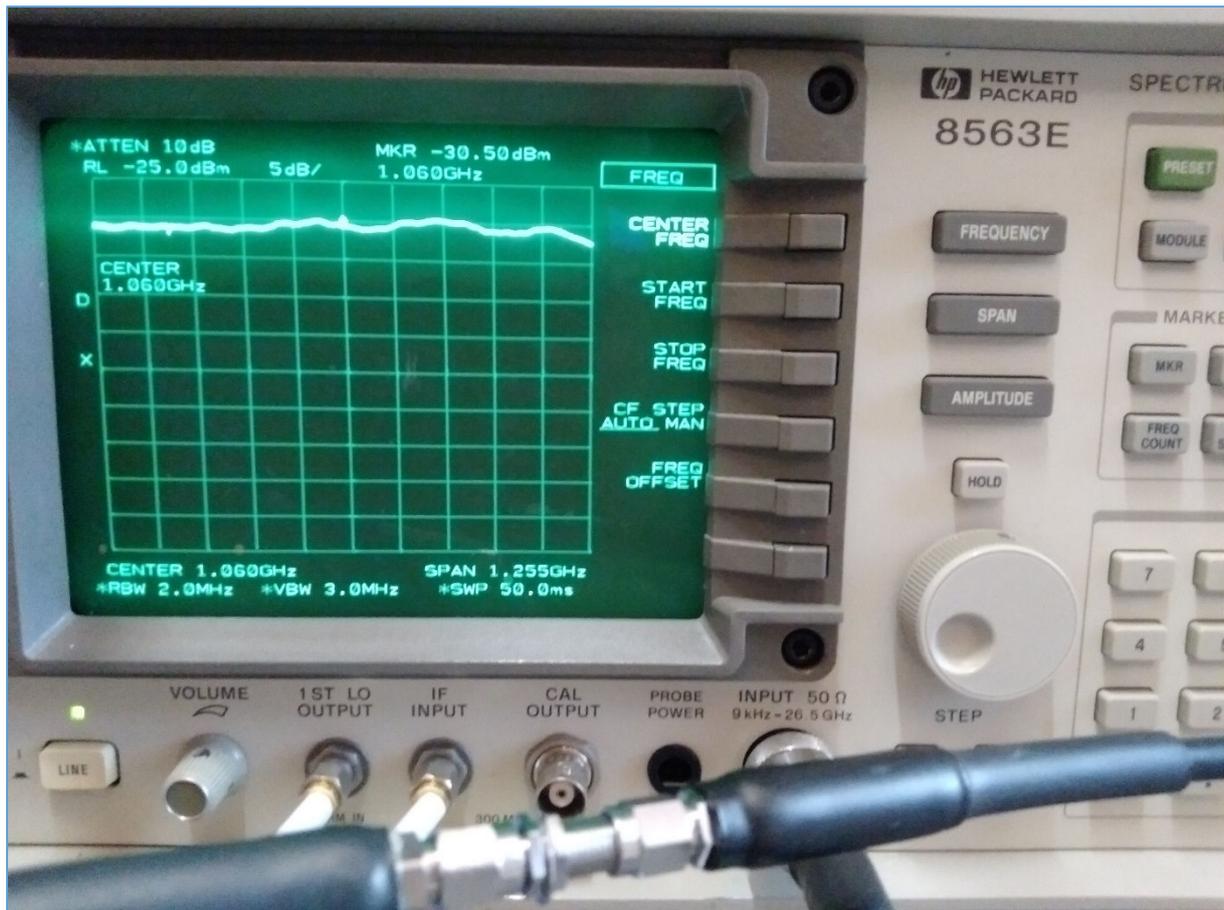


Fig. 4 : Vérification du *Set-Up* de mesure selon le concept de Pascal HB9TWW et test du signal à l'entrée IF à 310,7 MHz de l'analyseur de spectre qui est paramétré sur la plage de fréquence de la sortie IF du LNC. L'analyseur de spectre est paramétré cette fois-ci comme suit : fréquence centrale 1 060 MHz ; Span 1 255 MHz ; Résolution de bande passante (RBW) 2 MHz ; bande passante vidéo 3 MHz ; atténuateur d'entrée 10 dB ; niveau de référence -25 dBm ; calibre d'échelle verticale 5 dB par division ; mode de détection *Negative Peak* ; un marqueur est placé à la fréquence de 1 060 MHz et indique un niveau de -30,50 dBm. Source : cliché de Pascal HB9TWW à Genève.

Sous-ensembles électroniques mis en œuvre par Pascal HB9TWW dans son concept de mesures scalaires avec le couple d'appareils HP 8563E et HP 85645A :

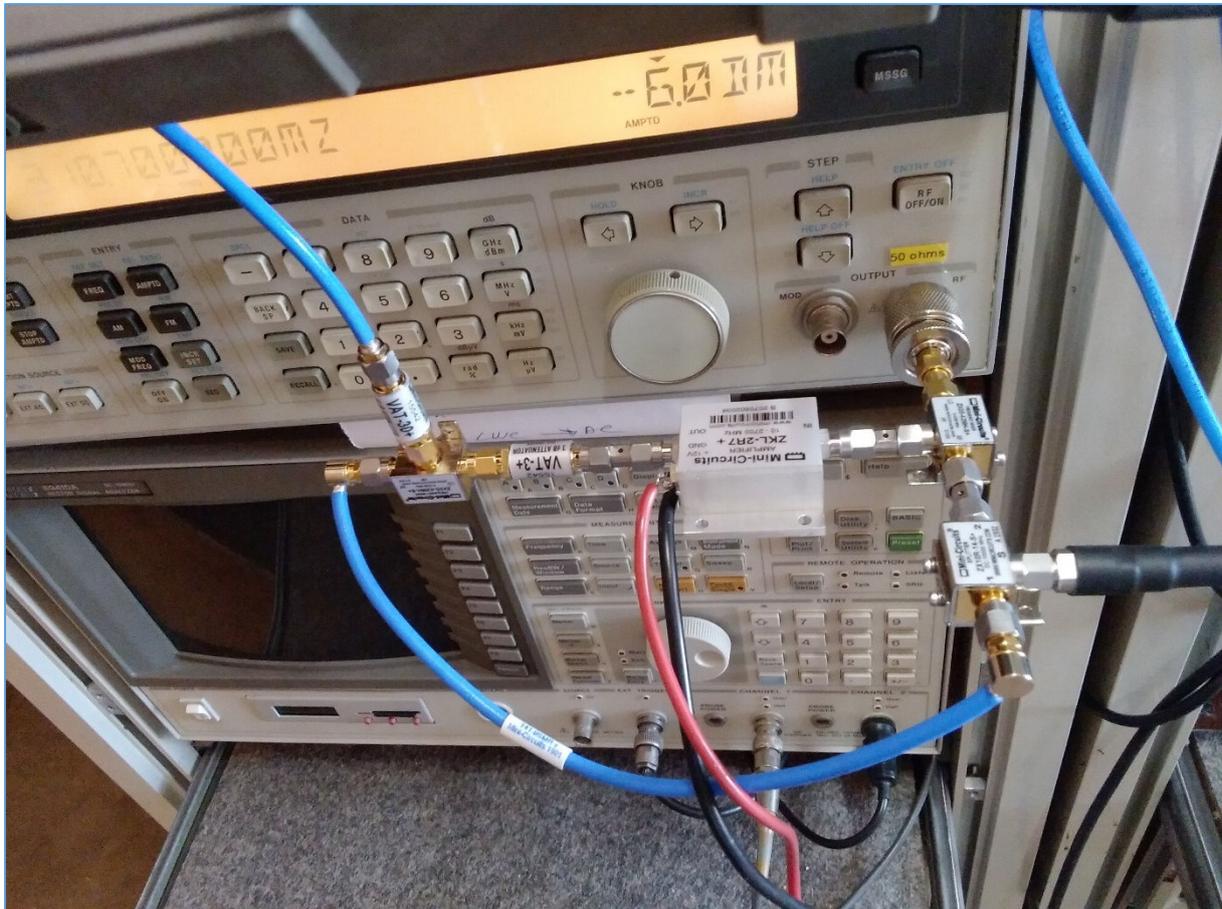


Fig. 5 : Vue d'ensemble du *Set-Up* de mesure selon le concept de Pascal HB9TWW. À l'avant plan de gauche à droite : le second mélangeur avec sa sortie IF vers le dessus sur laquelle est raccordé un atténuateur de 30 dB et la liaison vers l'entrée IF à 310,7 MHz de l'analyseur de spectre ; atténuateur de 3 dB entre le second amplificateur et l'entrée LO du second mélangeur ; second amplificateur ; premier mélangeur dont l'entrée LO est raccordée sur la sortie du générateur à synthétiseur HP 8642B (situé à l'arrière-plan au-dessus). Tout à l'avant plan à droite, le coupleur -6 dB (répartiteur, *Power Splitter*). Sur le bord droit à l'avant plan et vers la droite : la liaison venant du premier amplificateur. Tout à l'avant plan vers le milieu en forme d'arc de cercle : la liaison entre le *Power Splitter* et l'entrée RF du second mélangeur. Il est à remarquer la présence des liaisons les plus courtes possibles entre ces sous-ensembles par des adaptateurs en « I » SMA-SMA. Source : cliché de Pascal HB9TWW à Genève.

Le convertisseur MKU LNC 10 QO-100 Kuhne Electronic sous test est alimenté en +18 Vdc par la ligne de transmission coaxiale qui est raccordée à la sortie IF. Cette même sortie IF sert aussi d'entrée pour injecter le signal d'un oscillateur de référence externe d'une fréquence de 10 MHz ultra précise et ultra stable, par exemple un OCXO (*Oven Controlled X-tal [Crystal] Oscillator*), un oscillateur au Rubidium ou un GPSDO (*Global Positioning System Disciplined Oscillator*). Le LNC dispose d'un oscillateur interne de référence à 10 MHz du type TCXO (*Temperature Controlled Oscillator*).

La commutation entre l'oscillateur de référence à 10 MHz interne ou externe s'effectue de manière automatique par un *Switch* à diode pin interne au LNC. La référence à 10 MHz asservit la fréquence de l'oscillateur local interne au LNC sur une fréquence ici fixée à 9 240 MHz.

L'alimentation DC et la référence externe à 10 MHz sont injectées sur la ligne de transmission IF du LNC par l'intermédiaire d'un *Bias Tee* KU BT REF Kuhne Electronic spécialement prévu pour accueillir un signal de référence à 10 MHz.

Les mélangeurs ZX05-42MH-S+ Mini-Circuits ont été choisis délibérément pour leur faible coût. Ceux-ci sont prévus pour une gamme de fréquence RF et LO de 5 à 4 200 MHz et IF de 5 à 3 500 MHz. Le niveau recommandé pour le signal du LO est de +13 dBm typique et se situe donc dans la fourchette entre +10 dBm et + 16 dBm. Les pertes de conversion sont relativement faibles et sont de l'ordre de 7,5 dB. Ce qui devient critique dans un système de mesure c'est la variation des pertes de conversion en fonction de la fréquence. Idéalement, cette variation ne devrait pas dépasser un écart de $\pm 0,5$ dB autour de la valeur nominale, ce qui est difficile à obtenir pour des mélangeurs à large bande. Il est cependant possible d'obtenir un écart acceptable à condition de faire fonctionner le mélangeur dans une plage de fréquence (*Span*) réduite. Ici, pour un *Span* de 1 255 MHz, l'écart est à peine plus grand que $\pm 0,5$ dB. L'isolation entre ports est relativement bonne : L-R (*LO Leakage into the RF Port*) de l'ordre de 40 dB et L-I (*LO Leakage into the IF Port*) de l'ordre de 25 dB.

Toutefois, les pertes de retour aux ports RF et LO de ces mélangeurs sont dans le cas le plus défavorable de l'ordre de 7 à 8 dB, ce qui correspond à un ROS (SWR) de l'ordre de 2,4:1. Ceci constitue une contrainte car les réflexions des signaux aux ports d'entrées des mélangeurs peuvent produire des erreurs de mesure. C'est la raison pour laquelle Pascal HB9TWV a eu le soin de placer des atténuateurs à des endroits judicieux pour pouvoir résorber au mieux les ondes stationnaires présentes dans les lignes de transmission reliant les différents sous-ensembles de son concept. Il explique aussi que l'idéal serait de placer des atténuateurs sur chaque port d'entrée des mélangeurs pour obtenir des pertes de retour de l'ordre de 17 à 25 dB, ce qui correspond à un SWR de l'ordre de 1,33:1 à 1,12:1. En revanche le coût du *Set-Up* de mesure en deviendrait d'autant plus élevé.

Les amplificateurs ZKL-2R7+ Mini-Circuits ont un gain nominal typique de 24 dB et une bande passante de 10 à 2 700 MHz. Leur caractéristiques de linéarité de $\pm 0,7$ dB et de SWR de 1,3:1 à 1,4:1 sont acceptables. Le point de 1 dB de compression se situe à un niveau de sortie de l'ordre de +17 dBm entre 200 et 1700 MHz. On comprend mieux à présent la raison pour laquelle Pascal HB9TWV a choisi un niveau maximum de +12,6 dBm à la sortie du premier amplificateur du *Set-Up* de mesure.

Le coupleur -6 dB, répartiteur, *Power Splitter* ZX10R-14-S+ Mini-Circuits est du type à deux voies à 0° de phase entre voies et est du type résistif, ce qui explique les excellentes caractéristiques d'écart de phase de 1° et d'écart de perte d'insertion de 0,2 dB dans une plage de fréquence entre DC et 2 GHz. La bande passante exploitable est très large : de DC à 10 GHz. L'isolation nominale entre voies est bien entendu de 6 dB par définition d'un *Power Splitter* résistif. Le SWR est excellent aux ports S, 1 et 2 avec une valeur de 1,01:1 jusqu'à 1 GHz et est de l'ordre de 1,16:1 à 1,22:1 à 5 GHz.

Les atténuateurs de la série VAT-3+ (3 dB) VAT-30+ (30 dB) Mini-Circuits ont une bande passante de DC à 6 GHz et une puissance de dissipation maximale de 1 W (+30 dBm). Ceux-ci ont des connecteurs SMA ML-FM et sont donc directement insérables à une extrémité d'un câble de mesure SMA-SMA. La linéarité de ces atténuateurs est excellente et est de 0,2 dB de DC à 3 GHz. Le SWR est excellent et est de l'ordre de 1,05 :1 de DC à 3 GHz.

Les câbles de mesure SMA-SMA Mini-Circuits sont tous de première qualité. La linéarité des pertes d'insertion et du SWR en fonction de la fréquence sont de valeurs tout-à-fait acceptables. Cela a aussi toute son importance dans un *Set-Up* de mesure. Dans un laboratoire de mesures radiofréquences, il est usuel de vérifier les paramètres S21 et S11 des câbles de mesure au moyen d'un analyseur de réseau vectoriel.

Il est vivement conseillé aux radioamateurs de vérifier tous leurs câbles coaxiaux de liaison entre des sous-ensembles électroniques au moyen d'un VNA (Vector Network Analyzer) et de mesurer non seulement les pertes d'insertion (S21) mais aussi le coefficient de réflexion (S11) en fonction de la fréquence. Cela s'avère particulièrement utile par exemple pour la vérification des câbles de liaisons entre les cavités d'un duplexeur et, entre le duplexeur et le rack transceiver d'un répéteur VHF, UHF ou SHF et le *Feeder* d'antenne. Croyez-en bien l'expérience de ON4IJ dans ses travaux sur les répéteurs ON0LG et ON0LGE : tous les câbles coax ont été vérifiés au VNA. Faut-il vous convaincre qu'il est complètement illusoire de vérifier un câble coax ou un *Feeder* équipé de connecteurs à ses extrémités avec un Ohm-mètre en voulant tester la continuité de l'âme centrale et de la tresse entre les deux extrémités et de l'isolation entre l'âme centrale et la tresse du câble.

Pascal HB9TWV, selon son expérience, attire l'attention que tous les sous-ensembles du *Set-Up* de mesure selon son concept doivent avoir une linéarité en fréquence de $\pm 0,5$ dB afin d'avoir une restitution la plus fidèle possible dans les mesures effectuées sur le convertisseur LNC sous test. Cela s'applique aussi bien aux câbles coaxiaux, qu'aux atténuateurs, aux mélangeurs, aux amplificateurs et au répartiteur (*Power Splitter*).

La garantie de la précision et de la stabilité en fréquence du *Set-Up* de mesure :

Afin de garantir une précision et une stabilité redoutable de l'ensemble des appareils de mesure, Pascal HB9TWV utilise une base de temps à 10 MHz pilotée par un GPSDO (*Global Positioning System Disciplined Oscillator*). Il conseille fortement la mise en œuvre d'un tel dispositif pour synchroniser les bases de temps à 10 MHz de tous les appareils de mesure.

C'est pour la même raison que le convertisseur LNC sous test dispose d'une entrée de référence externe à 10 MHz pour piloter l'oscillateur local interne de ce LNC. Il faut prendre conscience que la précision et la stabilité en fréquence devient indispensable lorsqu'on travaille dans des bandes de fréquences aussi élevées que celles de la bande X des 3 cm à 10 GHz. En effet : un écart de 1 Hz sur la base de temps provoque un écart en fréquence SHF qui risque de devenir inacceptable.

Domaine d'applications et perspectives du concept de Pascal HB9TWV :

Pascal HB9TWV nous explique que son concept est applicable à d'autres formes de mesures sur des convertisseurs de signaux radiofréquences. Il nous fait part qu'il y a moyen d'améliorer la dynamique de mesure de son concept et il est actuellement occupé à rechercher des améliorations possibles à son système de mesures selon son concept. Il insiste sur le fait que, dans la version actuelle de son système, il a voulu choisir des sous-ensembles électroniques d'un prix abordable pour les OM's.

La description du concept de mesure de Pascal HB9TWV devrait permettre aux OM's de monter leur propre système de mesure avec les éléments dont ils disposent et selon l'application de leurs expérimentations.

Une agréable surprise et une cerise sur le gâteau :

Dans ses expérimentations, Pascal HB9TWV a utilisé conjointement l'entrée IF à 310,7 MHz en même temps que l'entrée RF de l'analyseur de spectre HP 8563E. Un générateur SHF paramétré sur une fréquence fixe à 10,300 GHz a été raccordé à l'entrée RF de l'analyseur de spectre. Il en résulte un pic sur la courbe de réponse du convertisseur LNC sous test. Ce pic sert donc de marqueur à une fréquence repère et étalon de 10,300 GHz sur la courbe de réponse du LNC sous test.

La sortie du premier mélangeur de l'analyseur de spectre HP 8563E et son entrée IF à 310 MHz sont toutes deux aiguillées vers le 3^{ème} mélangeur dont la fréquence d'entrée est de 310,7 MHz et la fréquence de sortie est de 10,7 MHz. Cet aiguillage s'effectue en principe, selon la description de celui-ci dans le manuel de service, par un commutateur à diodes pin. Il semble, selon l'expérimentation, que ce commutateur à diode pin se comporte comme un coupleur *Combiner*. Voir le cliché de la figure suivante.

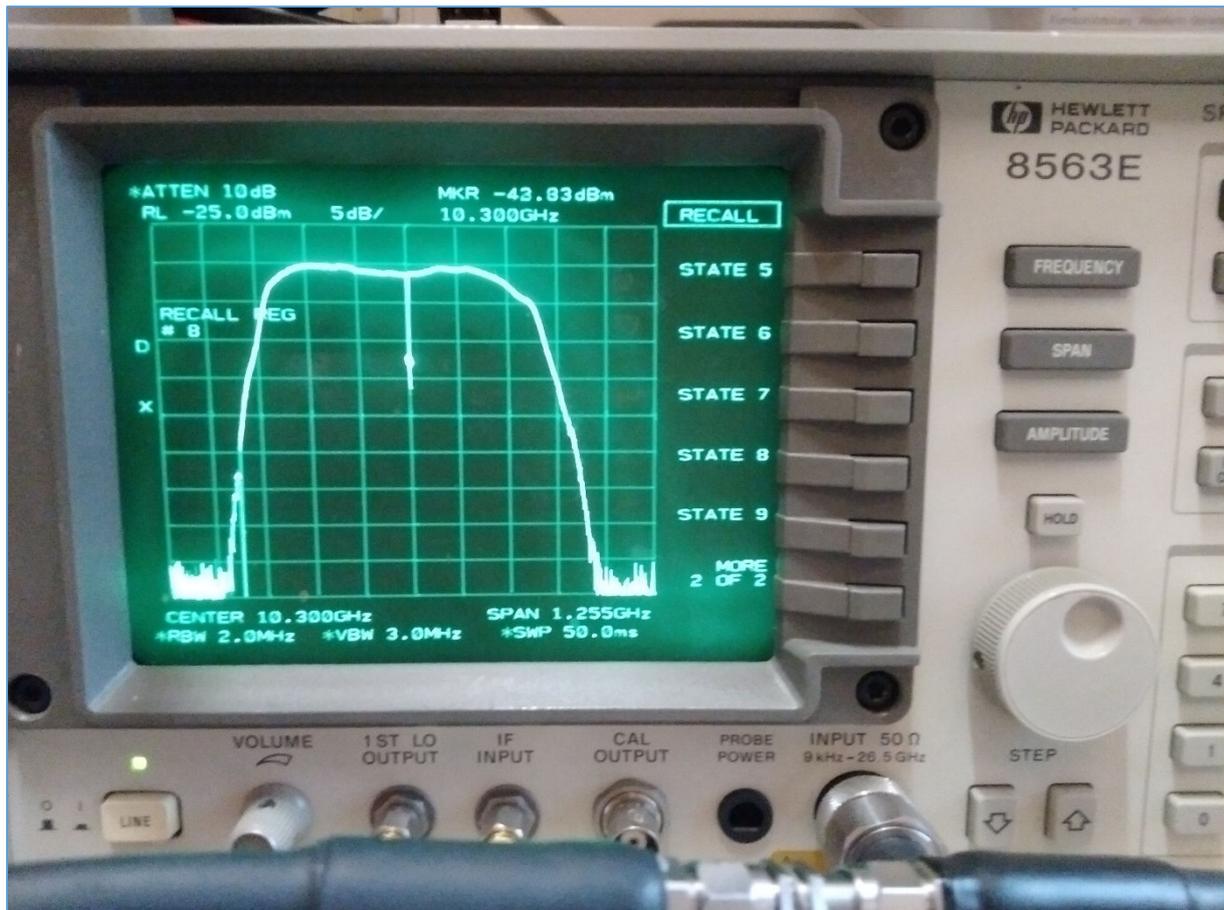


Fig. 6 : Visualisation d'une porteuse SHF à 10,300 GHz présente à l'entrée RF de l'analyseur de spectre HP 8563E et faisant office de marqueur à cette fréquence sur la courbe de réponse du LNC sous test présente à l'entrée IF à 310,7 MHz de l'appareil de mesure. Source : cliché de Pascal HB9TWV à Genève.

Expérimentation corollaire de Pascal HB9TWV avec un analyseur de réseau vectoriel :

Au début de ses expérimentations sur le convertisseur LNC dans la bande des 3 cm, Pascal HB9TWV avait effectué quelques mesures au moyen d'un analyseur vectoriel Hewlett Packard HP 8719C dont l'étendue de mesure est comprise entre 50 MHz et 13,5 GHz. Cet analyseur vectoriel dispose d'une entrée auxiliaire qui permet de visualiser un signal DC sur l'échelle verticale de l'écran lors du balayage en fréquence d'un signal SHF présent sur un des ports de mesure.

Pour obtenir le signal DC, Pascal HB9TWV a utilisé un détecteur Wiltron 6400-71N50 dont l'entrée RF a été raccordée à la sortie IF du LNC sous test et dont la sortie DC a été raccordée sur l'entrée auxiliaire de l'analyseur vectoriel. Le détecteur Wiltron a une étendue de mesure de 1 MHz à 2 GHz et est prévu pour être utilisé à l'origine sur un analyseur scalaire du même constructeur.

L'analyseur vectoriel est ainsi utilisé en quelque sorte dans ces conditions comme un oscilloscope dont la base de temps synchronise le balayage en fréquence d'un générateur à synthétiseur dans la gamme SHF des 3 cm. On obtient ainsi une belle courbe en cloche qui est le reflet de la bande passante du LNC. Le diagramme d'amplitude de la bande passante du LNC est essentiellement déterminée par les filtres passe-bande internes au LNC ; voir figure ci-dessous.

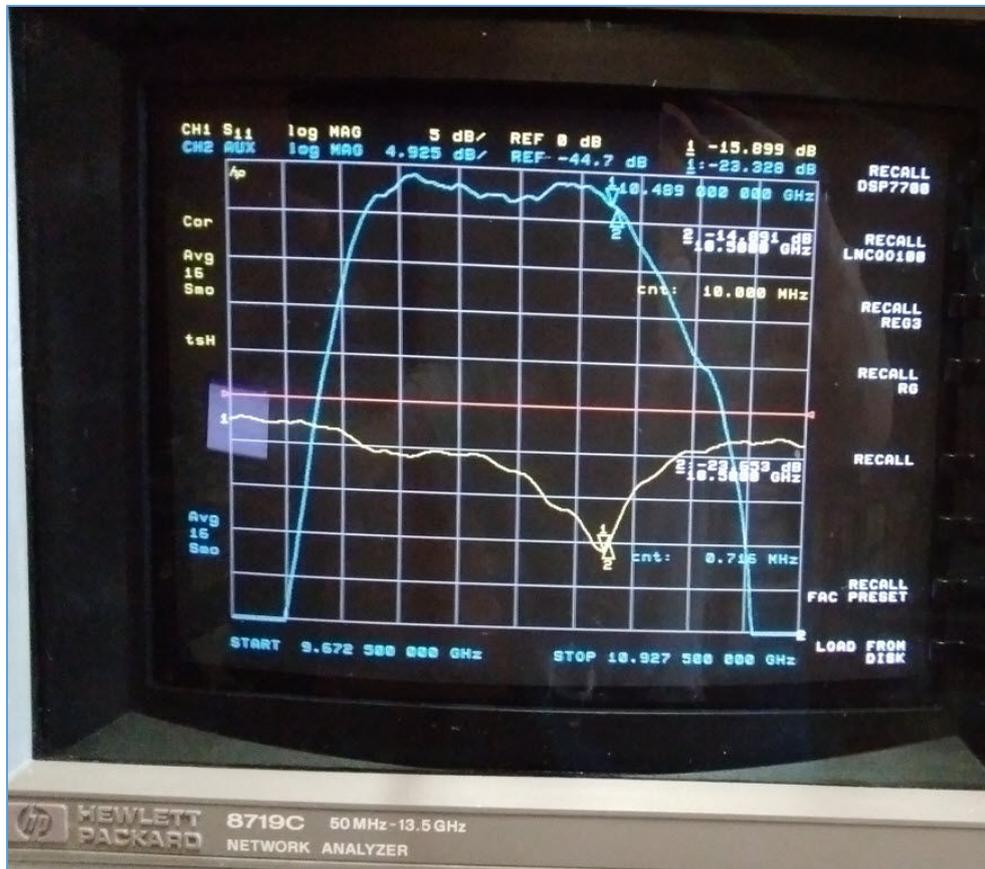


Fig. 7 : Relevé du diagramme d'amplitude de la conversion de la bande des 3 cm vers la bande des 23 cm du LNC sous test au moyen d'un analyseur de réseaux vectoriel HP 8719C et d'un détecteur Wiltron RF-to-DC 6400-71N50 raccordé d'une part sur la sortie IF du LNC et d'autre part sur l'entrée auxiliaire de l'analyseur. Source : cliché de Pascal HB9TWV à Genève.

Conclusions :

Ce n'est pas tous les jours que le club radioamateur de Liège ON5VL en Belgique a le plaisir de recevoir une contribution d'une telle qualité de la part d'un radioamateur de la Suisse par l'intermédiaire de la lecture des articles techniques qui sont publiés sur le site Internet ON5VL.org. Les membres du club ON5VL tiennent à remercier chaleureusement Pascal EMERY HB9TWV à Genève pour le partage, dans un pur Ham Spirit, de ses expérimentations sur les mesures scalaires avec un convertisseur de fréquence LNC dans la bande X des 3 cm.

Pascal HB9TWV et Jean-François ON4IJ ont eu ensemble de nombreux échanges par emails afin de constituer la rédaction de cet article technique de la manière la plus didactique possible en espérant que cela puisse inspirer d'autres OM's dans de nouvelles expérimentations.