

Calage d'un maître-oscillateur (F4DXU)

<http://pagesperso-orange.fr/F4DXU/>

Les émetteurs récepteurs modernes contiennent tous un « maître oscillateur » qui est l'oscillateur à quartz de référence de la PLL. Il doit être stable en fréquence à court terme lors d'un contact radio mais aussi à plus long terme. Malgré tout, cette stabilité est compromise par le phénomène dit de « retrace » qui fait que lorsque l'on arrête un oscillateur à quartz pendant un certain temps, il est peut probable qu'il redémarre tout à fait à la même fréquence. L'oscillateur peut aussi avoir été mal réglé à l'origine et c'est surtout cela qui sera prépondérant.

Le RIT est un réglage qui existe sur la majorité des émetteurs récepteurs et il doit être utilisé. Mais lors de contacts multiples, si la plus part des stations ne sont pas correctement calées en fréquence, c'est la « valse du RIT ». De plus certains modes numériques ne fonctionnent pas ou peu si le décalage est trop important. Pour toutes ces raisons il est souhaitable de temps à autres de pouvoir refaire ce réglage par une procédure simple.

Pour pouvoir effectuer ce réglage il faut disposer d'un étalon ou standard de fréquence (OCXO, rubidium, etc.) dont on connaît avec précision la fréquence. Ce genre de composants se trouve dans les brocantes radioamateur mais il existe au moins un autre moyen d'effectuer ce réglage par les voies radio.

Il y a une multitude de stations qui émettent en permanence des fréquences étalons, les plus connues étant JJY à Tokyo au Japon et WWV à Fort Collins dans le Colorado aux USA. C'est WWV¹ qui sera retenue pour effectuer cette procédure de calage en fréquence. Cette station émet en modulation d'amplitude à double bande latérale et fourni entre autres le temps universel mais c'est surtout un étalon de fréquence sur 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz. La fréquence de 10 MHz sera retenue, c'est la plus facile à recevoir puisse que faisant partie des bandes de fréquences allouées aux radioamateurs. Ces fréquences sont très précises car issues d'horloges atomiques, la précision est de l'ordre de quelques parties par 10^{-13} . Les informations fournies par WWV ne seront pas utiles, seules la valeur, la précision et la stabilité en fréquence de la porteuse le seront.

Avant toute chose, laisser le transceiver se stabiliser en température ce qui évitera de recommencer plusieurs fois le réglage inutilement.

Procédure : Supposons que la fréquence du « maître oscillateur » soit correctement réglée, le VFO étant calé à 10 MHz nous n'entendrons rien, en

effet : $10 \text{ MHz (WWV)} - 10 \text{ MHz (VFO)} = 0 \text{ Hz}$. Il faudra donc décaler le VFO de plus de 100 Hz pour espérer commencer à entendre une note. Or la majorité des émetteurs récepteurs coupent déjà très fortement ces basses fréquences. Mon choix c'est porté sur une note à 2 KHz mais attention à ce que ni les filtres et autre DSP ne soient en fonction. Cette procédure nécessitera donc deux VFO que l'on baptisera VFO A et VFO B. Le VFO A sera positionné en USB et réglé sur 9.998 MHz alors que le VFO B sera positionné en LSB et réglé sur 10.002 MHz. Dans ce cas précis si l'on commute rapidement d'un VFO à l'autre, la note sera toujours de 2 KHz. La réalité est toute autre et j'en ai pour preuve le décalage d'environ 100 Hz (1.10^{-5}) de mon Yaesu FT897D qui a servi à l'expérimentation. Les deux VFO ont été précisément calés sur 9.998 MHz et 10.002 MHz mais les deux notes supposées à 2KHz seront fausses puisque la référence, en l'occurrence le TCXO, est décalée. Cette variation de la note peut donc être écoutée et vue en même temps sur un waterfall. Il suffira au préalable de connecter la sortie BF du transceiver sur l'entrée de la carte son d'un PC via une interface d'isolation galvanique couramment utiliser dans la pratique des modes numériques. Pour le logiciel, mon choix s'est porté sur l'excellent « Spectrum Laboratory » de DL4YHF. Les blocs de spectre sont moyennés pour calmer la gigue due au bruit de bande et il n'est pas nécessaire de pousser la fréquence d'échantillonnage de la carte son très haut pour avoir une bonne résolution en fréquence. La configuration est la suivante avec les effets des paramètres :

- Taille des blocs FFT : 131072 (plus pour augmenter la résolution qui est aussi liée à la fréquence d'échantillonnage, mais ralentit l'affichage).
- Fréquence d'échantillonnage : 44100 Hz (moins pour ralentir l'affichage mais augmenter la résolution qui est aussi liée à la taille des blocs FFT).
- Moyenne : 50 blocs (moins si le rapport signal/bruit de bande est grand).
- Fréquence mini 1900 Hz et fréquence maxi à 2100Hz (fenêtre de mesure)

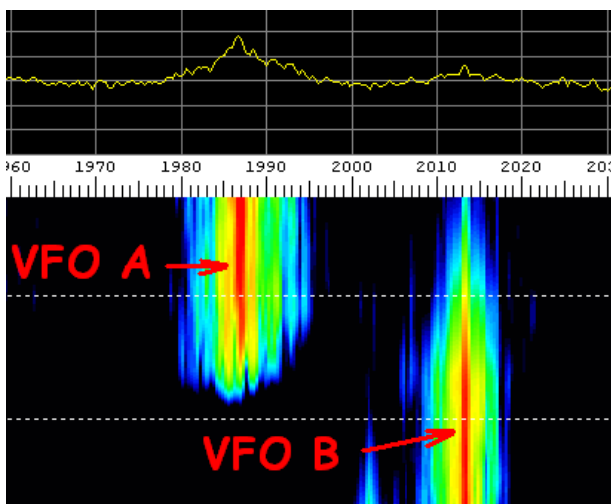


Figure 1

La figure 1 ci-contre montre le spectre BF de la réception de la station WWV à 10 MHz avec un « maître oscillateur » volontairement décalé de quelques dizaines d'Hertz en plus. On constate que la note du VFO A (1987 Hz) est plus grave que la note du VFO B (2013 Hz). La procédure est simple et consiste à régler le TCXO du FT 897D de telle sorte que l'on entende qu'une seule note ou que l'on observe qu'une seule raie lorsque l'on commute la réception d'un VFO à l'autre.

Il est à noter que si le TCXO eut été décalé en moins de la même quantité par rapport à sa valeur juste, la fréquence de la note engendrée par le VFO A aurait pris la valeur de celle du VFO B et inversement.

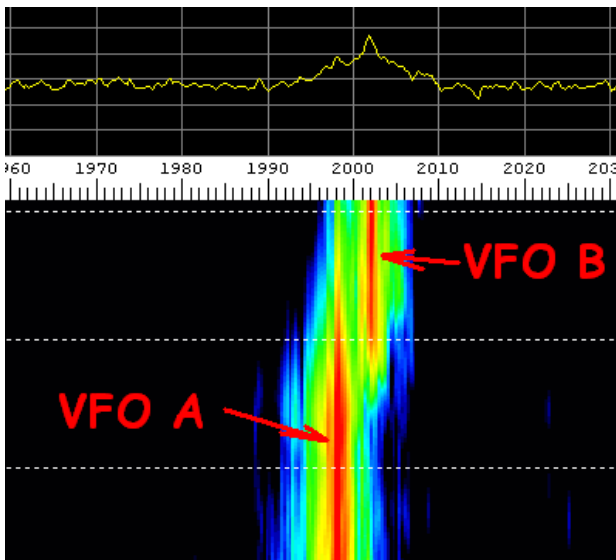


Figure 2

La figure 2 ci-contre montre un décalage de + ou -2 Hz entre WWV et les deux VFO soit 4 Hz au total. Le réglage s'approche de la perfection. L'oreille est capable de grandes prouesses mais la lecture des spectres peut être encore plus précise. Il est important de noter que l'on ne se préoccupe ni de la valeur de la fréquence du TCXO (22.625 MHz) ni de la ou des valeurs des fréquences intermédiaires du poste radio. En effet, seul compte le résultat final des conversions, donc l'écart éventuel des notes BF.

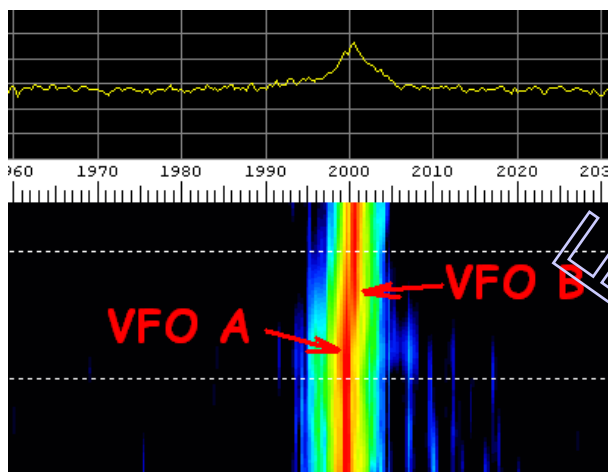


Figure 3

La figure 3 ci-contre montre un réglage à 1/2 Hz près, il est quasiment parfait mais ne pourra être amélioré que par un coup de chance. Le problème n'est pas électronique mais mécanique. En effet, il devient extrêmement difficile d'effectuer le réglage du TCXO mais qu'à cela ne tienne, la précision atteint tout de même $5 \cdot 10^{-8}$ par rapport au $1 \cdot 10^{-5}$ du départ. Qui dit mieux pour un réglage mécanique !

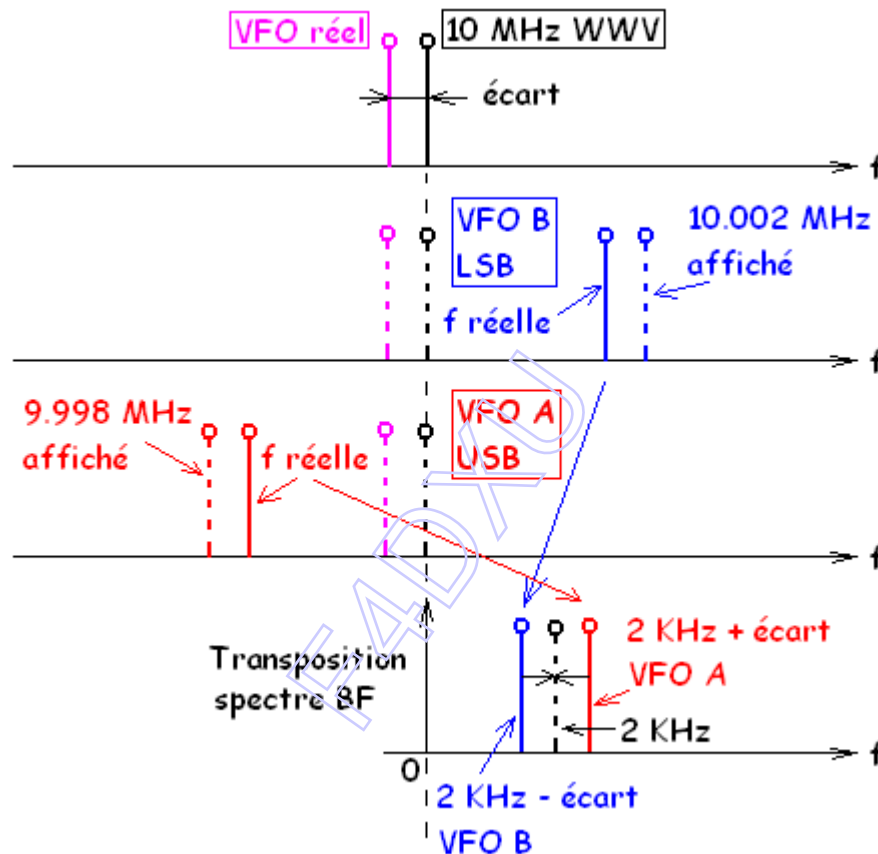
Lorsque le TCXO est correctement réglé il se peut que la fréquence des notes lues soit un tout petit peu différente des 2 Kilohertz attendus car le df qui est l'écart de fréquence entre deux points du spectre acquis est de l'ordre

$$\text{de } df = \frac{44100}{131072} \approx 336 \text{ mHz} . \text{ Pour diminuer cette valeur et augmenter la précision de}$$

la mesure, il suffit d'ajuster les paramètres de l'acquisition en tenant compte du rapport signal/bruit de bande. Cette variation de fréquence peut aussi être conjuguée à un écart du à la fréquence d'horloge du PC car il ne faut pas oublier que la référence, c'est la fréquence de WWV. C'est le comble du fréquencemètre qui mesure son propre standard de fréquence, il ne sait pas que sa référence peut ne pas être juste.

L'effet Doppler² lié à la variation de hauteur des couches réfléchissantes de l'atmosphère peut aussi induire des variations de l'ordre de quelques fractions d'Hertz sur la fréquence d'émission de WWV à 10 MHz. Il faudra éviter les périodes de lever et de coucher du soleil où ce phénomène est le plus marqué.

Un dessin valant souvent mieux qu'un long discours, voici en image le principe des mesures obtenues pour un écart de fréquence inférieur au réglage optimum du TCXO :



L'image ci-dessus ne respecte pas les échelles pour avoir une bonne commodité de visualisation.

Ce procédure est très simple, facile à mettre en œuvre et suffisamment précise. Le radioamateur qui effectuera ce réglage de manière auditive devra aussi avoir « l'oreille musicale ». Dans ce cas c'est 2 fois l'écart, donc la différence entre les deux VFO, qui compte pour discriminer un réglage correcte d'un mauvais réglage. Cette méthode est moins précise que la précédente car seule une oreille entraînée est capable de discerner un neuvième de ton (comma).

Bibliographie:

¹ NIST radio Station WWV

<http://www.nist.gov/physlab/div847/grp40/wwv.cfm>

² HF Signal and propagation and frequency accuracy

http://www.febo.com/pages/hf_stability/

A vos tournevis et padding
Jean-Marc F4DXU, mai 2010

F4DXU