

Le Rocket

Un transceiver QRP compact 10 W HF de 1 à 30 MHz SSB/CW

Jean-Matthieu STRICKER F5RCT

Le **Rocket** se rapproche d'un concept « Pocket HF » : un transceiver QRP de petite taille capable d'être alimenté sur une large plage de tension autour de 12 V.

D'architecture entièrement analogique, le Rocket vise des performances élevées et est en fait un transceiver à part entière. Le récepteur privilégie la dynamique et la tenue à l'intermodulation face au facteur de bruit, autrement dit à une sensibilité « commercialement » élevée. Le mélangeur d'entrée est immédiatement suivi d'un filtre à quartz (*roofing filter*) pour éliminer les brouilleurs avant le premier amplificateur FI 45 MHz.

Le traitement analogique donne une qualité d'écoute qui ne fatigue pas l'audition. La qualité de sa démodulation SSB tient à la courbure du filtre à quartz de la deuxième FI à 12 MHz qui a été travaillée avec des quartz triés pour réduire la distorsion de groupe. Avec le concept de CAG à seuil, il en résulte une excellente distinction entre le signal et le bruit de fond. Le son naturel se détache du bruit de fond doux que l'on pourrait qualifier d'organique, dixit F6HOK !

Le montage compte plus de 500 composants à souder en CMS et traversants. Autant prévenir que cette réalisation et sa mise au point sont destinés aux techniciens confirmés possédant au moins un analyseur de réseau et un analyseur de spectre. Après une première maquette de faisabilité, le circuit imprimé a été produit en version A en décembre 2019. Assemblé lors du premier confinement de 2020, F6HOK l'a réalisé avec succès dans mes pas, me permettant de corriger la documentation. Puis en 2022, F5FGP s'en est sorti seul avec la documentation : « il a fonctionné du premier coup ! », parole de Basque ! F5JFA l'a réalisé avec brio grâce au support de F6HOK et quelques mises au point sur mes instruments de mesure. Les corrections de la version A ont été fusionnées pour une réédition actuelle du circuit imprimé dans sa version B. Le succès d'un tel projet est finalement passé par trois éditions du circuit imprimé !



Figure 1 : Le Rocket : un transceiver de poche !

Le Rocket a été conçu pour fonctionner sur une large plage de tension entre 8 et 18 V. Les sources d'alimentation courantes de nos jours vont de la batterie de voiture (11 à 14,4 V) aux accumulateurs Li-ion (9 à 12,6 V pour 3 éléments, 12 à 16,8 V pour 4 éléments) [2]. L'architecture retenue pour ce transceiver reste alimentée en 5 V pour la partie réception et modulation, sauf pour le PA qui accepte une plage très large de tension allant de 11 V à 18 V. Alimenté sous 5 V, il fonctionne uniquement en réception ; à moins de 300 mA une prise USB ou un *power pack* suffisent. La dynamique de réception sous 5 V reste préservée grâce à un contrôle automatique de gain efficace à double action.

Son concept utilise des composants courants comme des MAR6 (ou MSA0686/MSA0685), des transistors 2N3904 et des mélangeurs à diodes, mais certains composants spécifiques ont été incontournables pour des raisons d'intégration sans sacrifier les performances. L'incontournable **filtre à quartz 45 MHz** peut se récupérer dans un radiotéléphone ou bien être commandé chez RF-microwaves.com. Certains composants peu onéreux détournés de leur application ont été avantageux pour l'intégration, tel que le circuit de commutation d'alimentation qui est un driver de moteur à courant continu utilisé dans les jouets ! Le reste des composants se trouve facilement sur internet à des prix intéressants si l'on fait un regroupement (compter environ 100 € en composants). La conjoncture actuelle aggrave malheureusement les possibilités d'approvisionnement de composants clés pour ce projet (Arduino Nano, Si5351, transistors MOSFET...). Méfiez-vous des sources asiatiques, surtout si le marquage du composant n'est pas conforme à l'original !

Pour faciliter la maintenance et la mise au point, l'appareil s'ouvre comme un livre (figure 3), sans déconnecter les liaisons. Les sous-ensembles de la chaîne radio ont été conçus pour une impédance caractéristique de 50 Ω. Par un jeu de broches et cavaliers, il est aisé d'interrompre la chaîne pour des mesures.

Le synthétiseur **VFOduino** à base du générateur d'horloges Si5351 piloté par un Arduino occupe une toute petite place. En 2017 après des années à programmer des microcontrôleurs en assembleur, je m'étais mis à l'Arduino pour apprendre le C et entrevoir de nouvelles applications en radio et en domotique. Pour m'exercer sur un projet concret, je m'étais intéressé au Bitx40 puis µBitx de Ashhar Farhan VU2ESE [2]. Il avait conçu le Raduino, VFO à trois sorties HF, idéal pour réaliser un transceiver HF à double conversion. C'était le cas de son µBitx en version 1 qui est un transceiver HF 10 W à couverture générale de 0,5 à 30 MHz SSB/CW. Bien que très attrayant, sa structure minimaliste faisait qu'il lui manquait des fonctions essentielles par rapport à un transceiver de base :

- Absence de CAG en Rx, pas de S-mètre,
- Absence d'ALC en Tx, et de compression de la BF du micro,

Et qu'il présentait quelques inconvénients :

- Un PA très économique qui ne délivre le quart de puissance en haut de bande,
- Des « plops » dans les écouteurs lors du basculement Rx/Tx

J'avais tout d'abord commencé mon projet avec le VFO Raduino de VU2ESE qui contenait un Arduino Nano et le générateur synthétiseur Si5351. Ce dernier est un oscillateur PLL à diviseurs fractionnaires séparés qui permet d'avoir trois sorties HF indépendantes. J'avais ainsi repris le programme et refait la partie radio pour en faire mon propre transceiver à couverture générale. Ce projet avait été développé pendant quelques années au rythme des saisons et des activités familiales ! Chaque fonction a été individuellement caractérisée avant d'être intégrée et en y apportant les itérations nécessaires. Mon but était de me faire plaisir comme lors de la conception

du transceiver 2m Squirrely conçu en 2010. Ce projet de nouveau transceiver HF fut baptisé « Rocket » (Figure 1), comme une fusée qui décolle vers l'espace des ondes HF ! Rien à voir avec un quelconque engin tactique. Ma première démonstration à mon ami F6HOK l'a immédiatement séduit par sa qualité d'écoute en réception ; il l'a réalisé pour en faire sa station principale ! Puis F5FGP et F5JFA ont emboîté le pas...

Le Rocket comporte deux cartes : la carte VFOduino avec un Arduino Nano 3.0 et la grande carte radio Rx/Tx qui inclus un PA de 10 W.

Une notice de montage complète et le programme du VFOduino se trouvent sur le site « **F5KAV.fr** » dans la rubrique « Articles » puis dans le dossier « Réalisations/Rocket »

Principales caractéristiques du Rocket :

- Couverture en émission et réception de 1 à 30 MHz au pas de 50 Hz.
- Double conversion avec la première Fi à 45 MHz et deuxième Fi à 12 MHz
- Filtre à quartz 45 MHz de tête (*roofing filter*), et double filtre à quartz SSB et CW 12 MHz.
- Bande passante du filtre à quartz CW : 450 Hz.
- Point d'interception du 3^e ordre : IP3e > +9 dBm pour un espacement de 20 kHz.
- Sensibilité en SSB : -107 dBm (1 μ V) pour 20 dB de S/(S+B).
- Sensibilité en CW : -124 dBm (140 nV) pour 10 dB de S/(S+B).
- Changement USB/LSB automatique par défaut ou manuel.
- CAG en réception, grande dynamique avec des mélangeurs à diodes.
- Fonctions double VFO, RIT, IF shift.
- Pré-compression syllabique avant modulation, ALC rapide anti-saturation.
- PA 10 W linéaire à MOSFET, à courant de repos compensé en température.
- Alimenté sous 5 V par un powerpack USB, il reste un récepteur à couverture générale.
- Très large plage de tension d'alimentation : USB 5 V, ou de 8 à 18 V compatible toutes alimentations (batteries, voiture, alimentation secteur), voltmètre intégré à l'affichage.
- Protégé contre l'inversion de polarité sur la prise d'alimentation jusqu'à 20 V.
- Compatible avec les manipulateurs simple et double contact, lambic A et B, délai Tx/Rx réglable, sidetone réglable en fréquence et niveau indépendant du réglage volume.
- Mode CAT compatible FT-817 par la prise USB de l'Arduino Nano.
- Prise pour PA externe avec bus I2C pour commuter les filtres ou un tuner d'antenne.
- Prise pour micro-casque avec commande d'émission (pédale, gâchette), alimentation fantôme et 5 V à part pour accessoires au microphone.
- Prise modes numériques indépendante à commutation automatique (WSPR, FT8...)
- Sortie Fi 45 MHz pour réception panoramique sur récepteur SDR.
- L'amplificateur BF et haut-parleur intégré de 250 mW.
- Taille compacte : carte EURO 10 x 16 cm, épaisseur 4,5 cm, poids inférieur à 800 g.
- Face avant épurée : bouton VFO, poussoir de fonction, LCD 2 lignes, et un potentiomètre de volume !

Son interface utilisateur ne comporte que trois boutons !

- Le réglage de volume en réception.
- Le bouton du VFO. C'est un simple potentiomètre multi-tours, au pas de 50Hz, sans cran comme avec un CV. Le changement de bande se fait par ce même potentiomètre.
- Le bouton poussoir d'accès aux fonctions et aux réglages. Les fonctions, sous forme de menu déroulant, sont accessibles rapidement par le potentiomètre du VFO. On revient

directement au mode VFO après validation ou sortie. La commande d'émission du micro sert également à valider et mémoriser les paramètres de certains menus.

Les prises sur le côté laissent l'accès libre au panneau avant et à la droite de l'appareil (configuration étudiée pour un droitier).

La puissance de 10 W HF offre des occasions de contact parfois inoubliables, mais peut s'avérer



limitée en utilisation fixe. Tout a été pensé ! Le **Rocket booster**, un PA de 100 W en 28 V a été conçu par la suite spécialement pour le Rocket (**figure 2**). Un câble entre le Rocket et le PA, pilote les filtres de bandes du PA et ajuste automatiquement la puissance d'excitation : aucun risque d'overshoot ou d'overdrive ! Hors tension, le PA peut rester raccordé pour revenir aux 10 W du Rocket. Pas besoin de se forcer à parler fort, la précompression BF et l'ALC donnent tout du petit PA de 10 W, que l'on parle normalement à 10 cm ou à 30 cm du micro.

Figure 2 : Rocket booster : le PA 100 W conçu pour le Rocket.

Tout a été pensé pour relier le Rocket à l'ordinateur pour le trafic en mode numérique sur la prise modes digitaux. On peut y raccorder l'interface carte son USB, une tablette, un smartphone, ou émetteur pour casque Bluetooth... Le mode CAT et la sortie panoramique pour SDR élargissent encore son champ d'applications.

Finalement, le Rocket n'est pas seulement un transceiver QRP, il offre toutes les possibilités d'un transceiver principal. Son mode TUNE affiche directement le ROS pendant qu'il envoie une porteuse sur la fréquence d'accord.

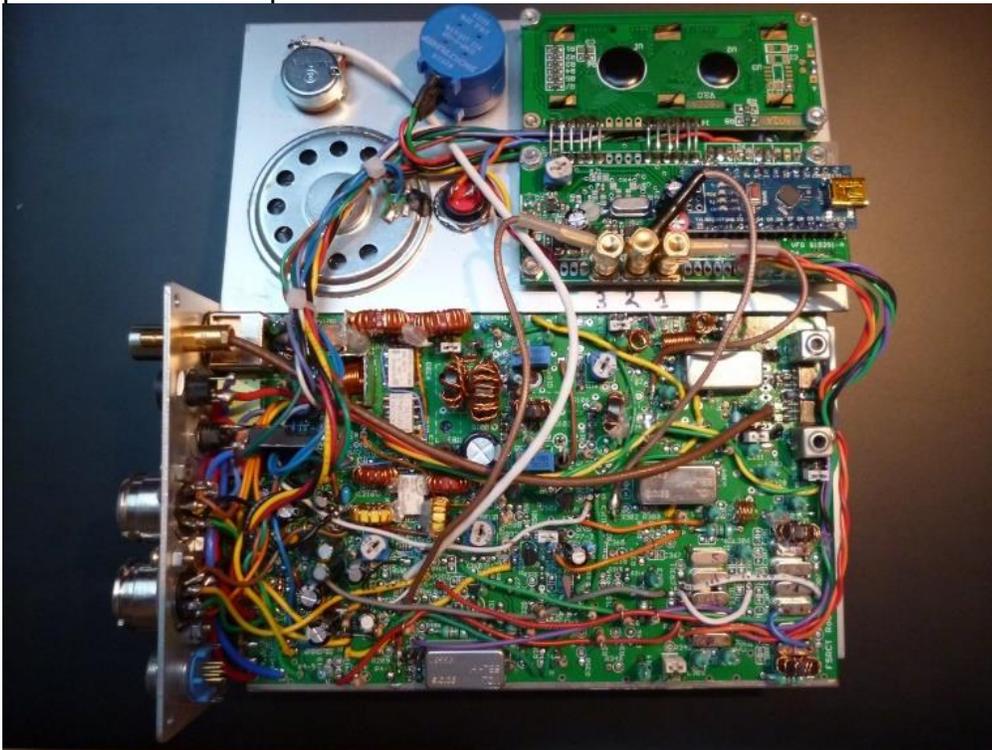


Figure 3 : Vue d'ensemble interne du Rocket dans sa première version A.

L'architecture du Rocket :

Le schéma du uBitx m'avait servi de base à ce projet sans l'avoir appliqué. J'avais simulé et testé les fameux amplificateurs bidirectionnels qui finalement étaient trop justes en gain et pas exceptionnels en linéarité. Comme le VFO Raduino de VU2ESE n'était plus vendu séparément, je l'ai refait avec quelques améliorations en soignant la partie HF et les découplages. Le circuit imprimé peut se configurer avec un LCD empilé dessus ou monté dans le même plan.

Nommé VFODuino, il est bien meilleur en pureté spectrale que le Raduino. Le bouton du VFO reste un potentiomètre mais pourrait être remplacé par un codeur à condition d'adapter l'application.

Connecté au port USB de son Arduino, ce VFO est pilotable en **mode CAT** et émule les principales commandes d'un FT-817. C'est un plaisir de l'utiliser en mode numérique ou d'avoir la fréquence préremplie dans le log informatique. La commande d'émission en mode digitaux se fait directement par le CAT, sans interface externe.

Le programme, appelé sketch dans l'environnement Arduino, est disponible librement et peut être adapté selon vos envies. La description du VFODuino fait l'objet d'un article à part entière avec une notice de montage détaillée.

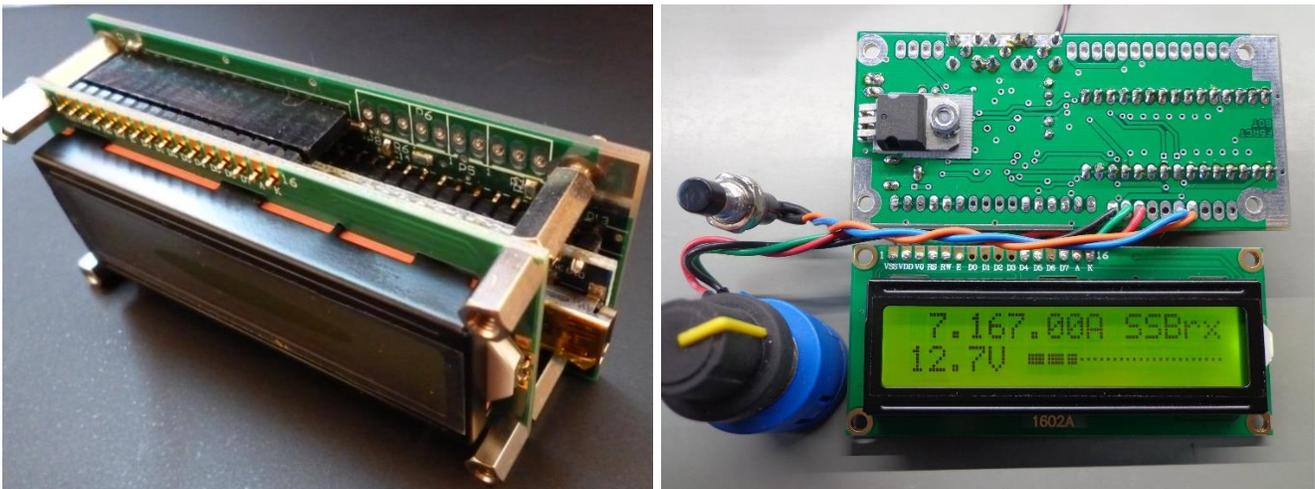


Figure 4 : Le VFODuino dans les deux configurations.

L'architecture du Rocket en **figure 5** reste très classique pour un transceiver analogique. Les chaînes d'amplification bidirectionnelles reprennent l'idée du uBtix avec des gains différents selon que l'on soit en réception ou en émission.

Au centre du diagramme on distingue deux filtres à quartz séparés pour la SSB et la CW. La deuxième section de l'amplificateur audio TDA2822 sert à la fois de modulateur et de compresseur audio en émission.

Une prise séparée pour les modes digitaux a été ajoutée avec un dispositif de commutation automatique de la BF en émission.

Au niveau de la prise d'antenne se trouve un coupleur directif pour relever les indications de puissance aller et retour, il sert aussi à l'ALC et à la protection du PA.

La commutation des filtres passe-bas a fait l'objet de plusieurs compromis entre la surface nécessaire sur la platine, et le nombre de bandes à couvrir. Il comporte un filtrage anti-interférences permanent au-dessus de 30 MHz.

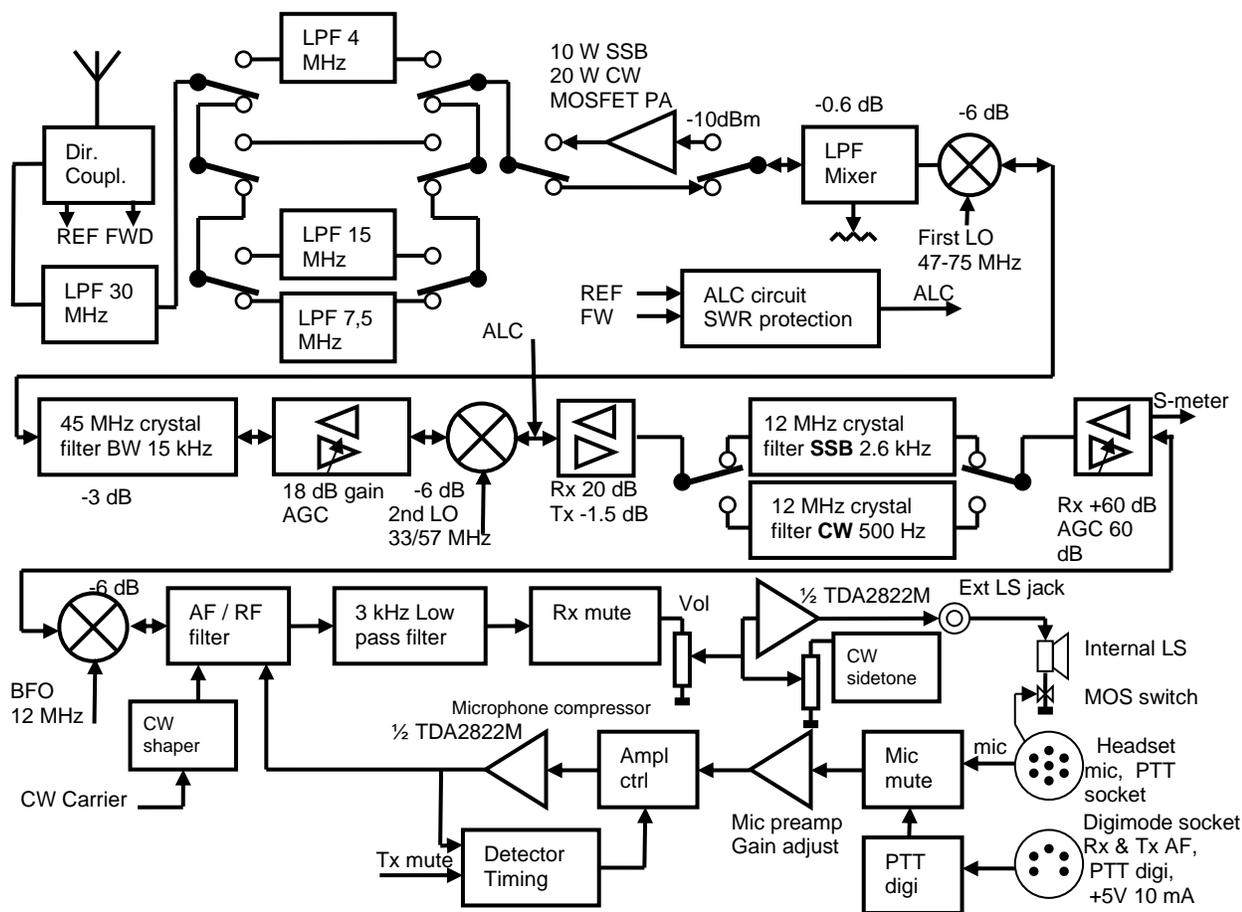


Figure 5 : Architecture du Rocket.

Un choix d'architecture déterminant pour le récepteur mérite une petite réflexion... Doit-on privilégier la sensibilité (facteur de bruit) ou la tenue à l'intermodulation (point d'interception du 3^e ordre) ? Au détriment de circuits complexes et gourmands en courant, il est très difficile de gagner sur ces deux paramètres antagonistes. Gagner en sensibilité demande à apporter du gain et placer un amplificateur à faible facteur de bruit en tête par rapport au filtre de bande, mais cette stratégie dégrade la tenue à l'intermodulation. Au contraire, placer le filtre avant toute amplification, réduit considérablement les signaux sources d'intermodulations, mais dégrade la sensibilité par les pertes du filtre qui s'ajoutent au facteur de bruit de l'amplificateur HF.

A partir de la sortie du premier mélangeur à diodes nous ne devons pas négliger les pertes qui peuvent influencer fortement le facteur de bruit du récepteur. C'est grâce au filtre à quartz 45 MHz faible pertes (inférieur à 3dB) et au faible facteur de bruit du premier amplificateur FI à 45 MHz que nous pouvons nous autoriser à laisser le filtre en tête. Ainsi on conserve un compromis entre la sensibilité et une réception exempte d'intermodulation. Autrement dit, le filtre à quartz élimine tous signaux forts indésirables, empêchant l'amplificateur Fi d'intermoduler. Cette configuration n'est possible que pour la bande HF qui tolère un facteur de bruit de 12 à 14 dB par rapport au fort bruit atmosphérique capté par l'antenne.

Une première estimation des pertes nous donnera le facteur de bruit du récepteur :

- 0,6 dB de pertes de filtres passe bas en amont du mélangeur.
- 5,6 dB de pertes du mélangeur SBL-1 en milieu de bande HF.
- 3,0 dB de pertes du filtre à quartz 45 MHz.
- 2,8 dB de facteur de bruit de l'amplificateur FI (MAR-6 ou MSA0685).

Cela donne un facteur de bruit arrondi à 13 dB qui est tout à fait acceptable sur une antenne dipôle.

Le point d'interception d'ordre 3 ramené à l'entrée (IP3e) sera celui du mélangeur. Ainsi nous atteindrons typiquement un IP3e de +10 dBm, nous permettant de nous passer d'atténuateur en entrée. La simulation [3] donne NF = 12.6 dB et IP3e = 13.7 dBm.

Dans la configuration contraire avec l'ampli FI qui précède le mélangeur puis le filtre, on favorisera le facteur de bruit de 3 dB au détriment de la linéarité (NF = 10.2 dB IP3e = 10.3 dBm)

Placer le filtre en tête apporte aussi l'avantage d'augmenter le niveau de saturation du récepteur pour les brouilleurs en dehors de la bande du premier filtre à quartz ; c'est ce que mettent en avant certaines marques en plaçant un *roofing filter* sur le récepteur.

En pratique, le récepteur du Rocket ne montre aucun signe de faiblesse en ce qui concerne le brouillage par les émetteurs de radiodiffusion proche des bandes 40 m ou 80m.



Figure 6 : Trio de Rocket en version A de F5JFA F6HOK et F5RCT ; chacun l'a personnalisé à sa guise !

Voici pour ce qui est de la présentation de ce transceiver ; bien sûr on aurait pu faire autrement ou employer la technique SDR. Il n'est pas parfait, mais il a fait l'objet de nombreux compromis pour sa petite taille. Il arrive que l'on remarque la présence d'une raie par bande qui provient d'intermodulation interne au circuit Si5351, mais ce petit défaut se fait oublier.

Partant d'un concept QRP, j'attendais de cette réalisation un appareil dont je ne voulais pas me servir occasionnellement ou tel un prototype qui finit sur une étagère. Sa qualité d'écoute et ses multiples fonctions apportent tant de plaisir à l'utiliser comme station principale. Depuis la fin du projet, mon Rocket est toujours connecté à l'antenne !



Figure 7 : Le pilotage du VFO avec une tablette et l'application **Pocket Rx Tx** permet l'accès direct en fréquence et aux bandes amateurs.

Ce projet demande à être motivé de patience et de minutie pour mener la réalisation à bout ! F5FGP y est parvenu tout seul avec le circuit imprimé et quelques composants que je lui ai livré. Pour ceux qui souhaitent le réaliser, il sera prévu une seule période de regroupement d'inscriptions pour commander des circuits imprimés et certains composants particuliers. La notice de montage disponible en téléchargement fut dument révisée et devrait permettre de le reproduire sans incident. Vous comprendrez que je ne peux assurer un suivi pour chacun mais je tenterai de répondre à vos interrogations.

Trois grands descriptions techniques suivront cette présentation :

- Le VFOduino à Si5351.
- Le développement d'un PA miniature large bande 10 W HF.
- La description des étages émission et réception du Rocket.

Liens utiles :

[1] : Une batterie Li-ion 14,8 V 4 Ah et son chargeur Radio REF n°927 de janvier 2019.

[2] : Ubitx de VU2ESE : <http://www.hfsignals.com/index.php/ubitx/>

[3] : Calcul IP3E et NF en ligne : <https://www.qorvo.com/design-hub/design-tools/interactive/cascade-calculator>