

Décodage des trames 406 en utilisant la dérivée du signal audio provenant de la prise écouteur du récepteur

(Première partie)

Jean-Paul YONNET

F1LVT@yahoo.fr

www.F1LVT.com

La carte « Dérivaudio » s'intercale entre la prise BF du récepteur (prise écouteurs) et le décodeur de trames « DECTRA – 4 lignes ». Ce montage effectue la dérivation du signal audio, en particulier des pics dus à la modulation PSK. En détectant les doubles pics ainsi générés, le montage reconstitue le signal modulant en créneaux, qui est ensuite traité par le décodeur de trames « DECTRA – 4 lignes ».

Ce montage est une alternative à la connexion sur la prise « discriminateur » du récepteur. Les tests de fiabilité de décodage et de sensibilité ont montré le très bon fonctionnement de ce système.

La connexion du décodeur au récepteur

Aujourd'hui, pour que le décodage des trames 406 fonctionne correctement, la seule solution fiable consiste à utiliser le signal direct à la sortie du démodulateur FM, à l'intérieur du récepteur. C'est la sortie dite « discriminateur ». Les récepteurs déjà équipés sont peu nombreux. Pour les récepteurs non équipés, il faut ajouter cette sortie. Pour cela il faut ouvrir le récepteur, le modifier et ajouter une prise Jack supplémentaire [1].



Photo 1 : Système autonome de réception et décodage des trames des balises 406

Le décodeur de trames 406 de la Photo 1 est relié à un récepteur AOR AR8000. Le récepteur a été modifié pour lui ajouter une prise « Discriminateur » qui sort par un Jack 2,5 mm sur la face supérieure (à côté du volume). Le système « récepteur + décodeur » est entièrement autonome : le récepteur fonctionne grâce à ses 4 accumulateurs R6, et le décodeur est équipé d'un accumulateur 9V. L'ensemble est très facilement transportable ; il permet de décoder partout les trames 406 MHz.

Le grand rêve de beaucoup de radioamateurs, c'est d'utiliser n'importe quel récepteur sans avoir à le modifier. La prise « écouteur » est toujours disponible sur les récepteurs ou sur les émetteurs-récepteurs, par un Jack 3,5 pour pouvoir écouter avec un casque. En pratique, la connexion directe du décodeur sur la prise écouteur peut arriver à fonctionner, mais cette configuration pose de gros problèmes de sensibilité et surtout de fiabilité.

Les récepteurs sont conçus pour restituer le mieux possible la phonie. A l'intérieur, les signaux reçus sont filtrés et corrigés pour que le son restitué dans un petit haut-parleur soit aussi fidèle que possible. Tout ce traitement est catastrophique pour les signaux numériques. La modulation PSK démodulée en FM donne une série de pics, alternativement positifs et négatifs. En terme de fréquences, les signaux numériques à 400 bauds des balises 406 contiennent les fréquences fondamentales à 400 Hz et 800 Hz, et de très nombreux harmoniques dont l'amplitude reste notable jusqu'à 10 kHz. Le passage de ces signaux dans les filtres et les correcteurs du récepteur les déforme complètement, et ils deviennent très difficiles à décoder dans les signaux audio.

Nous avons fait de nombreux essais pour mettre au point un système de liaison fiable et efficace entre le décodeur et le récepteur en utilisant la prise « écouteur ». Nous avons cherché à reconstituer un signal exploitable à partir de la sortie « écouteur ». Nous avons testé différentes solutions et nous sommes finalement arrivés à un montage relativement simple, entièrement analogique, qui permet de retrouver le signal modulant dans le signal audio.

Nous avons appelé ce montage « **Dérivaudio** » car il réalise la fonction mathématique de Dérivation du signal audio provenant de la prise écouteur. Il se présente sous la forme d'une petite carte électronique qui s'intercale entre la prise écouteur du récepteur et le décodeur. Cette carte peut aussi être intégrée dans le décodeur de trames 406. Le montage a été mis au point et testé avec les **décodeurs de trames 406 de type « DECTRA – 4 lignes »** [2] et avec des récepteurs portables large bande comme le YUPITERU 7100 et l'AOR AR8000. Comme le traitement interne des signaux BF est assez proche dans la plupart des récepteurs ou émetteurs – récepteurs portables, la carte « Dérivaudio » est directement utilisable avec de nombreux types de récepteur. Seule exception, dans les récepteurs de type SDR (comme les Baofeng – circuit RDA 1846), le traitement des signaux est très différent et la carte « Dérivaudio » ne fonctionne que de façon très aléatoire, et on ne peut pas non plus leur ajouter une sortie « discriminateur ».

Bilan : avec la carte « Dérivaudio », il n'est plus nécessaire de modifier les récepteurs et de monter la fameuse sortie « discriminateur ». Le fonctionnement de la chaîne de « réception – décodage » est excellent, à la fois pour la fiabilité de décodage que pour la sensibilité.

Le fonctionnement de la modulation et de la démodulation

La modulation des balises est du type PSK (Phase Shift Keying). La phase saute entre $\pm 1,1$ radian (60°) en fonction des transitions entre les « 1 » et les « 0 » (Figure 1). A la vitesse de transmission de 400 bauds, le signal modulant est constitué par des créneaux de 1,25 ms ou 2,5 ms de largeur. Les trames sont constituées de 112 bits (trames courtes) ou 144 bits (trames longues).

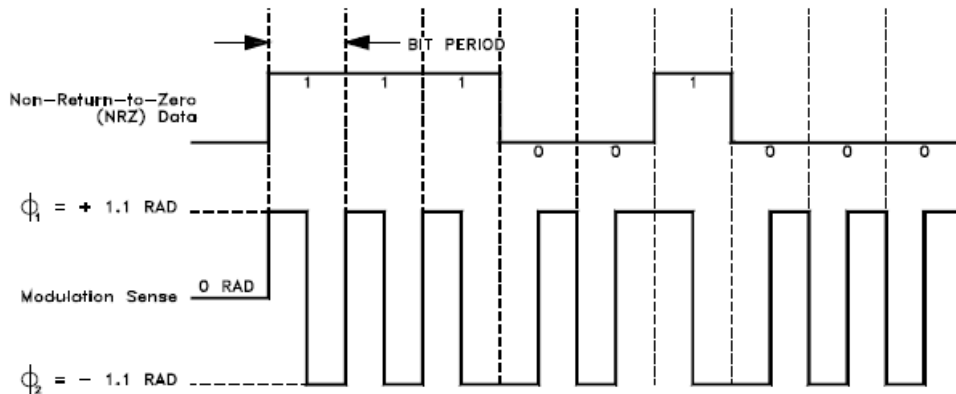


Figure 1 : Signal modulant des balises 406 (doc. Cospas-Sarsat)

La plupart des systèmes PSK utilisent une variation de phase de $\pm 90^\circ$, c'est-à-dire que la phase subit des sauts de 180° (BPSK) (Figure 2). Le modulateur est relativement simple à réaliser. Pour les balises de détresse, la variation de phase non conventionnelle de 120° ($\pm 60^\circ$) donne une excursion en fréquence plus réduite.

Cette modulation produit des sauts brusques de phase aux instants des fronts montants ou descendants du signal modulant.

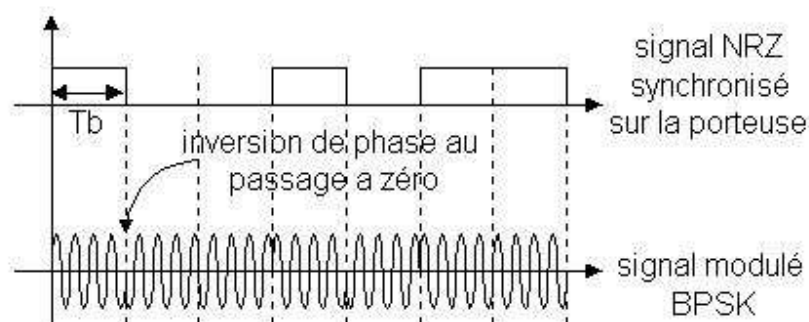


Figure 2 : Saut de phase de la modulation PSK (cas du BPSK – Sce Ph Dondon, ENSEIRB)

En démodulant les signaux reçus en FM, les brusques changements de phase vont se traduire par des pics alternativement positifs et négatifs. Ces pics sont espacés de 1,25 ms ou 2,5 ms. La Figure 3 montre les signaux en sortie du démodulateur du récepteur. Les pics positifs correspondent aux fronts montants et les pics négatifs correspondent aux fronts descendants des créneaux.

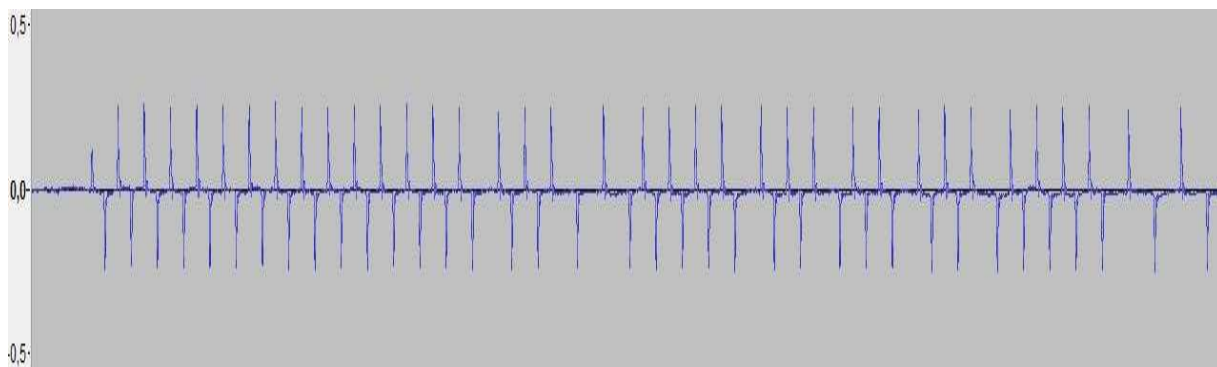


Figure 3 : Enregistrement du début d'une trame 406 avec Audacity (sortie Discriminateur)

Pour décoder cette série de pics, à l'entrée du décodeur de trames « DECTRA – 4 lignes » on trouve deux étages successifs de traitement du signal. Le premier étage amplifie les signaux avec un filtre passe-bas pour limiter les fréquences élevées. Le second reconstitue les créneaux du signal modulant grâce à un seuil qui fait basculer la sortie. A l'entrée du PIC 18F2685, le signal en créneaux est le même que celui du signal modulant (Figure 1).

A la sortie « écouteur » du récepteur

Le récepteur n'altère pas trop la modulation des signaux jusqu'à leur démodulation. Ensuite ça se corse beaucoup parce que nos récepteurs sont faits pour restituer la parole. En phonie, la bande passante utilisée est 300 – 3000 Hz. En deçà et au-delà tout est coupé. De plus pour restituer correctement l'équilibre des fréquences du son transmis en passant par un petit haut-parleur de 3 à 4 cm de diamètre, les fréquences graves sont accentuées. Le résultat, c'est une déformation importante des signaux. La figure 4 montre exactement la même trame que la Figure 3 (début d'une trame 406) enregistrée sur la prise écouteur. On voit clairement les déformations des signaux. La fréquence de 400 Hz est trop amplifiée, et surtout les signaux correspondant aux intervalles longs entre 2 pics (2,5 ms) sont très déformés.

La Photo 2 montre les mêmes signaux visualisés à l'oscilloscope pour un récepteur AOR AR 8000. La courbe du haut montre la sortie « discriminateur » ; les pics ont une amplitude d'environ 160 à 200 mV. La sortie « prise écouteur » est présentée sur la courbe du bas ; les signaux atteignent 2V crête (volume au maximum). La série de pics est devenue un signal vaguement sinusoïdal avec des pointes correspondant aux pics d'origine.

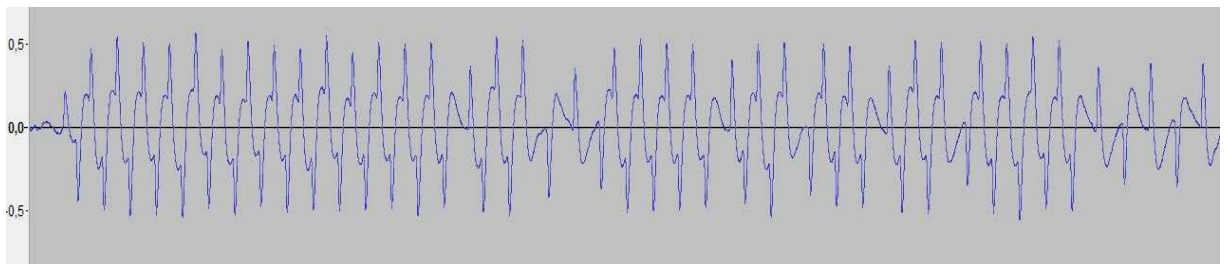


Figure 4 : Enregistrement sur la sortie Haut-Parleur avec Audacity

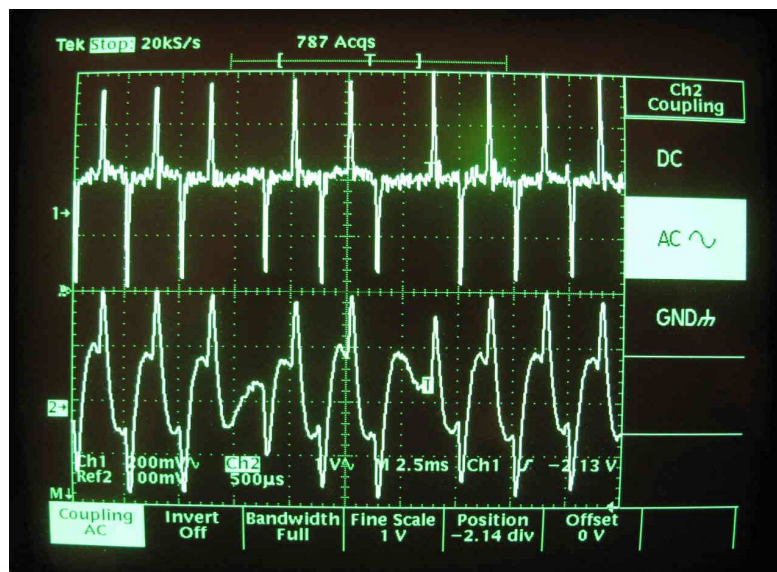


Photo 2 : Visualisation à l'oscilloscope des signaux lors de la réception d'une trame (récepteur AOR AR 8000)

En haut : sortie « discriminateur », les pics ont une amplitude d'environ 160 à 200 mV.

En bas : sortie « prise écouteur », les signaux atteignent 2V crête (volume au maximum).

Si on essaie de décoder directement à partir des signaux audio, l'amplitude des signaux est fonction du réglage du potentiomètre de volume. Le décodage dépend de l'amplitude du signal par rapport au seuil du décodeur. La Figure 5 montre ce qui se passe, en prenant comme exemple la fin de la courbe de la Figure 4.

--Si le niveau du volume est trop faible (seuil en rouge), on ne voit que les pics correspondant aux intervalles de 1,25 ms et les pics espacés de 2,5 ms ne sont pas pris en compte : le décodage ne peut pas fonctionner.

-- Si le niveau du volume est trop élevé (seuil en jaune), les rebonds du signal empêche de décoder correctement la trame.

-- Mais il existe un réglage de volume (seuil en vert) pour lequel le décodage peut fonctionner. Il faut que les signaux reçus soient suffisamment forts et ajuster le potentiomètre de niveau correctement. Ca arrive à fonctionner de temps en temps, mais avec une sensibilité réduite et une fiabilité très aléatoire.

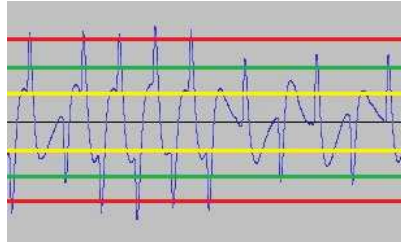


Figure 5 : Comparaison de l'amplitude de la sortie « écouteur » (réglable avec le volume) avec le seuil de basculement

En comparaison, le fait de fonctionner avec la sortie « discriminateur » rend le décodage beaucoup plus sensible et nettement plus fiable. Le niveau de la sortie « discriminateur » est constant et non ajustable (Figure 3). Dès que la série de pics apparait en sortie du démodulateur, le décodage fonctionne avec une grande fiabilité.

En conclusion, le décodage direct du son est possible, mais il ne fonctionne que lorsque les signaux sont correctement ajustés. Le réglage du volume est extrêmement critique, ce qui limite beaucoup la fiabilité de ce mode de décodage.

La correction des signaux audio

La première approche a consisté à essayer de corriger les signaux audio.

Pour comprendre ce qui se passe, nous avons analysé les signaux reçus. Les pics de la modulation sur la sortie « discriminateur » sont très riches en harmoniques, jusqu'à des fréquences très élevées (Figure 6). Quand on décompose un front raide, on obtient des harmoniques impairs dont l'amplitude décroît en $1/n$, c'est-à-dire assez lentement.

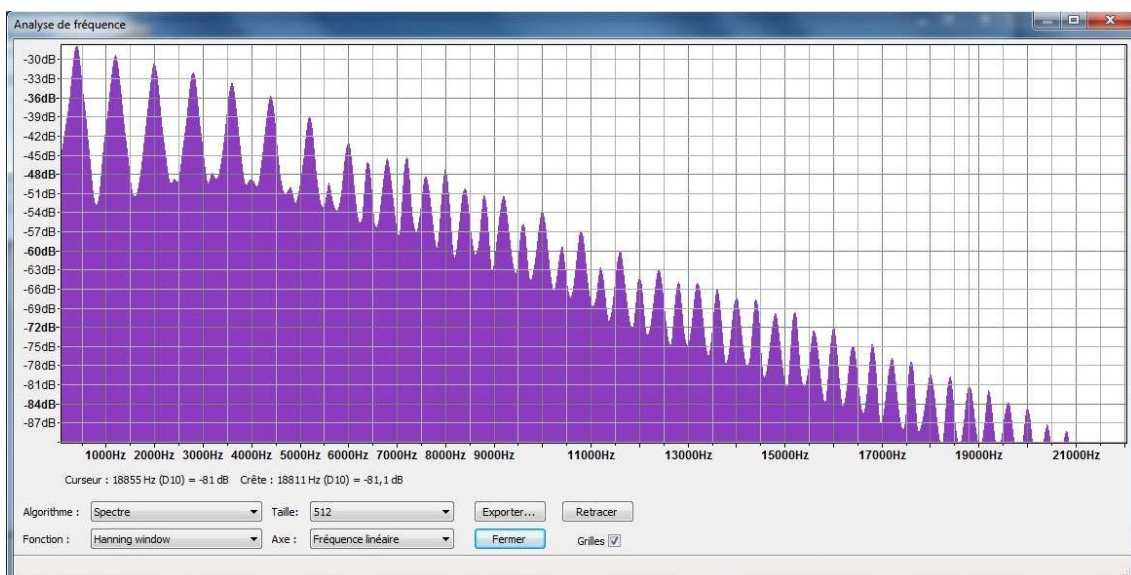


Figure 6 : Analyse fréquentielle du signal de la trame sur la sortie « discriminateur »

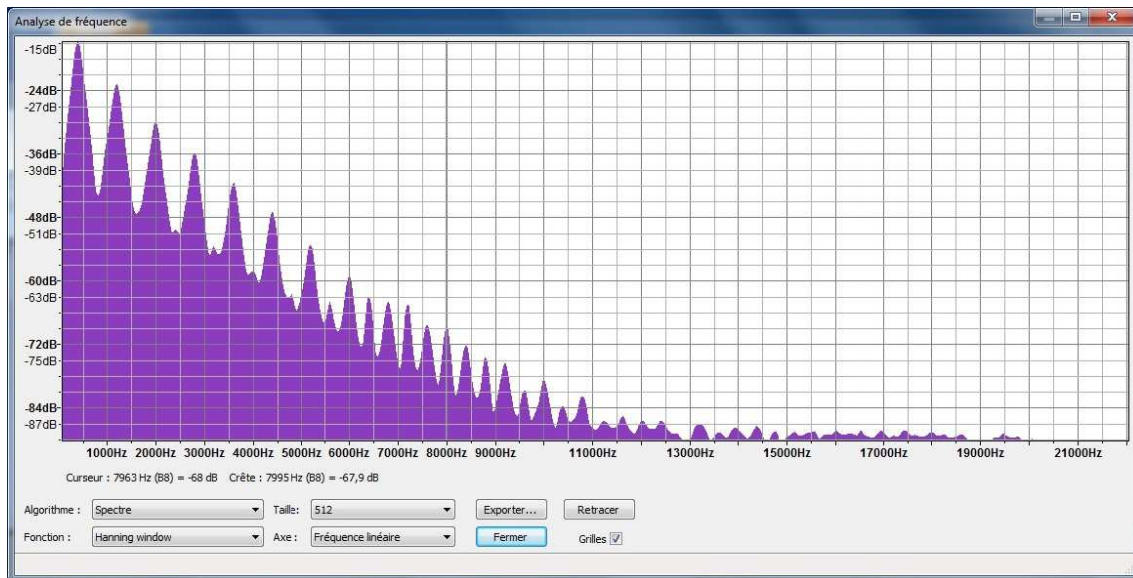


Figure 7 : Analyse fréquentielle du signal de la trame sur la sortie « écouteur »

La même analyse avec les signaux de la sortie « écouteur » montre les déformations importantes (Figure 7). Tous les harmoniques de rang élevé ont été écrasés. En se référant au niveau à 2 kHz, la fréquence de 400 Hz a été remontée de 15 dB. Globalement, les basses fréquences ont été amplifiées par 20 dB/décade, et les fréquences élevées (au-delà de 2 kHz) ont été atténuées par 40 dB/décade.

Nous avons calculé des filtres pour compenser les déformations et essayer de recréer la modulation d'origine. Nous avons essayé d'effectuer le traitement du signal inverse de celui du récepteur. Les fréquences allant jusqu'à quelques kilohertz ont été remises à leur amplitude et phase d'origine dans la mesure du possible. Mais les fréquences trop élevées étaient perdues : trop tard pour elles ...

La dérivation du signal audio

Après avoir testé différentes solutions, nous avons mis au point un montage fonctionnant par dérivation du signal audio.

On voit sur la Photo 2 que les pics de la modulation PSK apparaissent toujours dans le signal audio. Par dérivation de ce signal audio, les pics qui ont une pente de montée et de descente très élevée vont générer deux pics alternés (la fonction mathématique « dérivée » du pic), qui ont une amplitude nettement supérieure au reste du signal. Ces doubles pics vont permettre de reconstituer le signal de la modulation en créneaux (Photo 3). Comme le décodeur « DECTRA – 4 lignes » fonctionne aussi bien avec les signaux en créneaux qu'avec les signaux en pics alternés (sortie discriminateur) en entrée, il decode très bien les signaux issus du module « Dérivaudio ». Le réglage du potentiomètre d'entrée du décodeur n'a pas d'importance tant qu'il n'est pas à zéro.

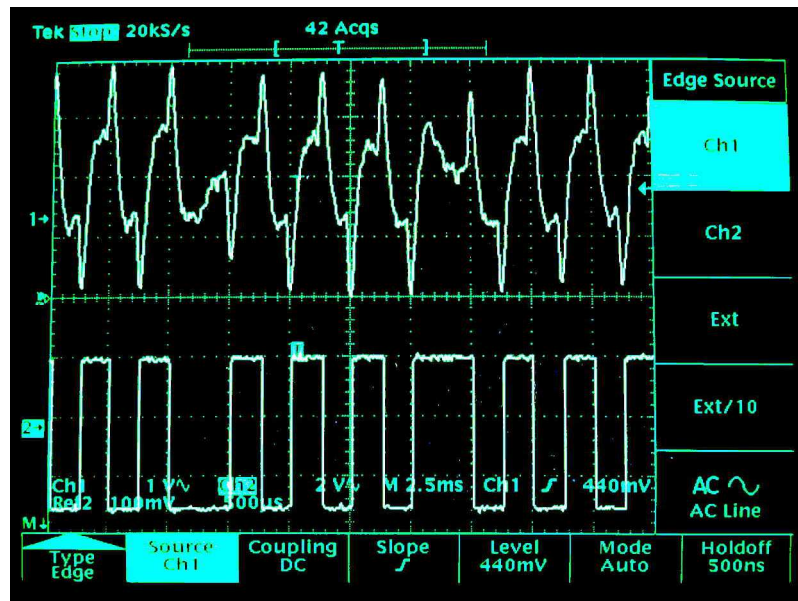


Photo 3 : Visualisation à l'oscilloscope des signaux lors de la réception d'une trame (récepteur AOR AR 8000)

En haut : signal de la prise écouteur à l'entrée de la carte « Dérivaudio ».

En bas : sortie en créneaux de la carte « Dérivaudio » qui reproduit la modulation d'origine.

La Photo 4 montre un des premiers prototypes de ce montage. Le montage est réalisé autour d'un quadruple amplificateur opérationnel de type TLC 2274. La carte finale est assez simple, mais il faut bien respecter les valeurs de composants.

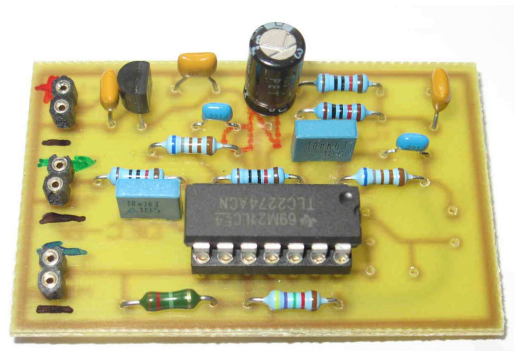


Photo 4 : Un des premiers prototypes de la carte « Dérivaudio ». Le montage est construit autour d'un quadruple amplificateur opérationnel TLC 2274

Synthèse de cette première partie

Avec la carte « Dérivaudio », on utilise directement le signal disponible sur la prise écouteur du récepteur de trames 406. Il n'est plus nécessaire de modifier les récepteurs et de monter la prise « discriminateur ». Il faut intercaler la carte « Dérivaudio » entre le récepteur et le décodeur « DECTRA – 4 lignes ».

Le montage effectue la dérivation du signal audio. Cela génère des doubles pics qui permettent de reconstruire le signal modulant en créneaux.

Les essais ont été réalisés pour le moment avec des récepteurs large bande portable AR 8000 et MVT 7100 avec la même carte « Dérivaudio ». La fiabilité du décodage et la sensibilité sont excellentes, comparables aux résultats obtenus avec la sortie « discriminateur ». Seul point à noter : avec un IC-Q7 il a fallu augmenter la valeur de la résistance qui détermine le seuil de détection des pics, mais le résultat est tout aussi bon. Quant aux récepteurs SDR comme les Baofeng, on ne peut pas leur ajouter une sortie « discriminateur » et ils ne sont pas compatibles non plus avec la carte « Dérivaudio ».

Le fonctionnement et les résultats seront développés dans la deuxième partie.

Références

[1] Quel récepteur faut-il utiliser pour pouvoir décoder les trames des balises 406 MHz ?

<http://f1lvt.com/files/328-RX-pour-406-V2.151.pdf>

[2] Décodeur « DECTRA – 4 lignes »

<http://f1lvt.com/files/333-CarteDECTRA-V6P1.179.pdf>

<http://f1lvt.com/files/334b-ConstructionDECTRA2274-V7P2.183.pdf>