



Septembre 2004

258

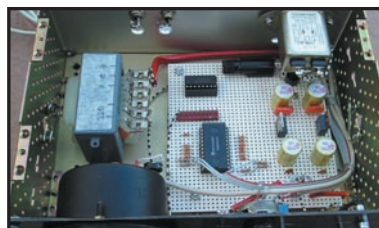
Réalisation matérielMesureur
de modulationE/R BLU
et CW 20 m (fin)**Technique**Bobinages
sur tores**Reportage**F8KIS
à la Fête au Village
Record du monde ATV
sur 10 GHz

© Henryk KOTOWSKI, SMOJHF

**Liaisons digitales : découvrez
les modes PSK-Hell et FM-Hell**



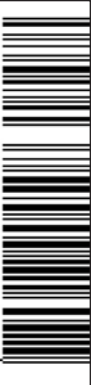
Reportage
Visite sur
l'archipel Aland (OH0)



Réalisation
Des accessoires
pour votre FT-897



Antennes
Construction d'une
antenne Lindenblad



Le PSK-Hell et le FM-Hell

Alors que le Hellschreiber existe depuis près de 70 ans, quelques idées réellement nouvelles ont été développées depuis le travail de défrichage du Hell. Le PSK-Hell et le FM-Hell, récemment développés par la collaboration mutuelle de Murray Z1BPU et de Nino IZ8BLY, sont peut-être parmi les meilleures des dernières innovations.



Cet article a pour sujet les quatre modes

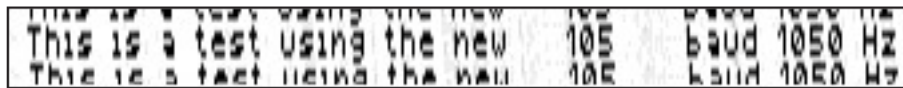


Fig. 1: PSK-Hell en mode 105 bauds

différents, le PSK105, le PSK245, le FM105 et le FM245 qui sont en plusieurs points très similaires. En fait, ils partagent tous la même technique de réception (le démodulateur à quadrature, un type de détecteur de phase). Il y a deux techniques différentes de transmission, le PSK et le MSK, et deux rapidités de modulation sont employées, 105 bauds et 245 bauds. Vous vous demandez peut-être maintenant "que deviennent les 122,5 bauds utilisés en Feld-Hell?". Et bien, en fait, les nouvelles rapidités de modulation sont complètement compatibles avec le Feld-Hell original et nous allons vous expliquer d'où cela vient.

Mode Hell	Rapidité de Modulation	Bande passante	Vitesse
Feld-Hell	122,5 Bauds	450 Hz	25 MPM
PSK105	105 Bauds	105 Hz	25 MPM
FM105	105 Bauds	55 Hz	25 MPM
PSK245	245 Bauds	245 Hz	25 MPM
FM245	245 Bauds	123 Hz	25 MPM

Fig. 2: Tableau récapitulatif

105 BAUDS

En premier, considérons le mode 105 bauds, qui a été conçu pour garder la bande passante de manipulation à un minimum. Chaque caractère d'une transmission en Hell PSK105 ou FM105 est représenté par une série de points dans une matrice, tout comme en Feld-Hell, mais la matrice est seulement de 7 x 6, sept colonnes de six points (42 points) au lieu des 7 x 7 (49 points). Cette réduction en points par colonne autorise une rapidité de modulation plus lente (105 bauds) pour le même débit de

17,5 colonnes/sec et la même vitesse de texte que le Feld-Hell (105 = 122,5 x 6/7). Les points

sont envoyés les uns après les autres, dans le même ordre que le Feld-Hell mais d'une manière légèrement différente.

Le point le plus important est que la rapidité à laquelle les colonnes du texte sont transmises reste la même que pour le Feld-Hell et, bien que la bande passante et la résolution du texte soient réduites, le mode reste compatible en vitesse avec les autres modes ayant un débit de 2,5 caractères/sec. Un autre point à noter est qu'en raison de la nature de la technique de modulation, l'astuce "demi-pixel" employée en Feld-Hell n'est pas applicable ici. Comme vous pouvez le voir à partir de l'exemple de la figure 2, le texte n'est certainement pas aussi agréable qu'une transmission Feld-Hell 122,5 bauds. Une police spéciale est nécessaire.

245 BAUDS

Évidemment, un mode 245 bauds sera deux fois plus large et aura une résolution double d'un mode 122,5 bauds. Voici comment la pleine résolution est rétablie pour les modes PSK-Hell et FM-Hell. Encore une fois, le débit de colonnes de 17,5 colonnes/sec assure la compatibilité avec le Feld-Hell, la police a simplement 14 pixels/colonnes au lieu de sept. Il n'y a pas besoin de l'astuce "demi-pixel" comme la pleine résolution et la bande passante d'une matrice de 98 points est disponible. Les polices Hell standards et même les polices Windows peuvent être utilisées sans aucun changement de la bande passante!

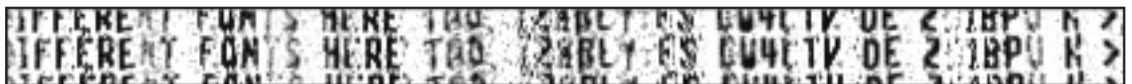


Fig. 3: PSK-Hell en mode 245 bauds (DX 20 m)

LE PSK-HELL

Comme avec le PSK31 et d'autres modes PSK, les données en PSK-Hell sont encodées dans la phase de la porteuse, plutôt

qu'en amplitude. Parce qu'il n'est jamais possible de connaître la phase absolue d'une transmission HF quand elle est reçue, et que la phase change continuellement à cause des effets ionosphériques, il n'est pas possible de définir les points blancs pour une phase et les points noirs pour une autre. Par conséquent, ZL1BPU et IZ8BLY utilisent une technique appelée Manipulation par Changement de Phase Différentielle (Differential Phase Shift Keying ou DPSK en anglais) qui repose sur la détection d'un changement dans la phase. Au commencement de chaque point, la phase est inversée si le point est blanc par contre elle n'est pas changée si le point est noir. La phase transmise reste constante jusqu'au prochain point. Ainsi, la phase du signal reçu a seulement besoin de rester approximativement constante pendant la durée d'un point comme c'est seulement la différence qui est recherchée et non la phase absolue. Cela rend ce mode relativement insensible aux changements de phase ionosphérique aléatoires (aussi appelé "Doppler ionosphérique"). Le PSK-Hell nécessite un accord précis meilleur que 20 Hz, ce qui le rend sensible à la dérive.

Le PSK-Hell ne peut pas envoyer de points "gris", ni envoyer des points "demi-pixel" parce que le changement dans la phase ne peut seulement être fait qu'à la rapidité de modulation que le détecteur de phase du récepteur attend. À 245 bauds, tous les points sont effectivement des "demi-pixels".

Lors de la coupure de la phase de la porteuse, de très fortes harmoniques peuvent être générées, tout comme si un transceiver était commuté en réception et un autre commuté en émission au même moment. Pour éviter ce problème, le signal transmis est aussi modulé en amplitude avec un signal "raised cosine", exactement comme dans les meilleurs systèmes Feld-Hell et en PSK31. Cela permet de réduire la puissance de l'émetteur à zéro au moment où la phase est changée. Sur la figure 4, vous pouvez voir une image d'une série de "points" blancs PSK-Hell. Remarquez comment la phase de chaque pixel est différente de celle du précédent et notez aussi comment les points sont soigneusement formés.

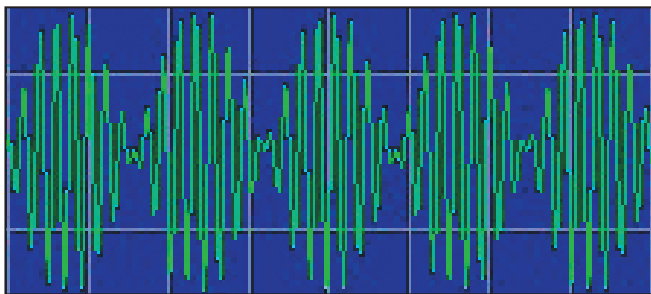


Fig. 4 : Points blancs PSK-Hell

Chacune de ces oscillations est un pixel ou un point. La fréquence de la tonalité est de 980 Hz comme celle utilisée pour le Feld-Hell et, comme vous pouvez le voir, les points sont complètement identiques, excepté que chaque second point est inversé verticalement, pour procurer un changement de phase de 180°. La mise en forme du signal (appelée "envelope raised cosine") est employée pour réduire la bande passante de la transmission. Avec cette technique, le signal a une largeur de seulement de 105 Hz (ou 245 Hz) et de fait (voir ci-dessous) il a un spectre consistant seulement en deux porteuses de 105 Hz (ou 245 Hz) d'écart, espacées de chaque côté de 980

Hz. Cette mise en forme "raised cosine" est exactement la même que la modulation d'une porteuse supprimée à double bande latérale d'une porteuse de 980 Hz avec une sinusoïde de 105 Hz (ou 245 Hz). Dans l'image ci-dessous, la porteuse 980 Hz est atténuée d'environ 40 dB, bien qu'elle revienne bien sûr lorsque du noir est envoyé.

Sans ce filtrage, les changements de phase causeraient de nombreuses harmoniques espacées de 105 Hz. Dans cette illustration d'un signal réel, vous pouvez voir les harmoniques tous les 105 Hz, jusqu'aux environs de -45 dB, très atténuées par le filtrage raised cosine. Ces harmoniques deviennent beaucoup plus fortes si l'émetteur SSB est surmodulé.

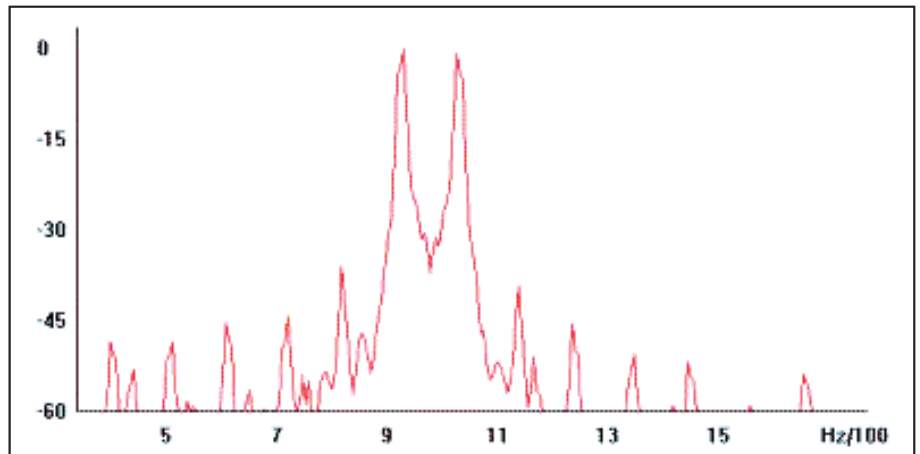


Fig. 5 : Spectre d'un signal PSK-Hell 105 bauds

Le cycle de fonctionnement de l'émetteur est très élevé en PSK-Hell, environ 90 %. L'image de la figure 6 montre deux pixels blancs suivis de deux pixels noirs eux-mêmes suivis d'un pixel blanc. Regardez comment la phase ne change pas au début des pixels noirs et il n'y a pas de changements de phase entre les pixels noirs. Remarquez aussi que la modulation raised cosine n'est pas nécessaire entre les points noirs parce que la phase ne change pas. Cela a pour effet de diminuer la bande passante pendant les points noirs et aussi d'augmenter la puissance moyenne.

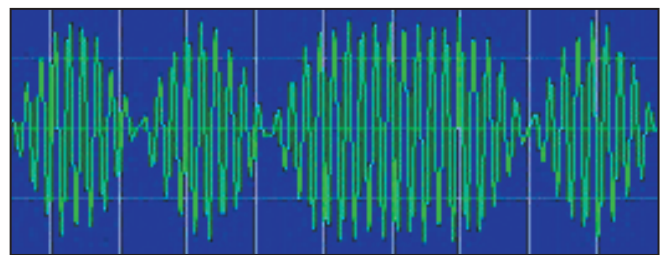


Fig. 6 : Émission en PSK-Hell de deux pixels blancs suivis de deux pixels noirs eux-mêmes suivis d'un pixel blanc

Le problème de choisir une police pour le PSK-Hell 105 bauds ou le FSK-Hell est plutôt difficile. La police contient les couleurs des points, pas les changements, il est donc probable que certains caractères auront un même nombre de points, tandis que d'autres auront un nombre impair de points. Ainsi, il apparaît que n'importe quel caractère en suivant un autre avec un même nombre de points pourrait se terminer en ayant un point noir envoyé par inadvertance au début du caractère, ce que vous pouvez voir sur la figure 7, image prise pendant la période de développement.

no multi-path, and no bars, causes, by, static, crashes,
no multi-path, and no bars, causes, by, static, crashes.

Fig. 7 : Mode Hell pendant la période de développement avec le problème de nombre de pixels

Cela a été résolu en concevant la police soigneusement et en prévoyant que la phase des caractères complets soit inversée là où c'était nécessaire. En plus, comme déduit ci-dessus, il n'est pas possible dans le mode 105 bauds d'utiliser la technique des "deux pixels" développée par Rudolf Hell. Cette astuce prévoit de doubler la résolution sans doubler la bande passante en lissant les pixels en durée par un demi-point supplémentaire. Malheureusement, cela n'aurait pas seulement augmenté la bande passante en PSK-Hell mais cela aurait encore empêché un nombre impair de points identiques d'être transmis. La réponse à ce problème est d'utiliser une rapidité de modulation de 245 bauds pour fournir la résolution nécessaire aux polices à haute définition.



Fig. 8 : PSK-Hell 245 bauds

Dans le logiciel de IZ8BLY, les polices sont définies comme une série de tables d'ondes, exactement de la

même manière qu'en Feld-Hell, mais bien sûr les points correspondent à des changements de phase plutôt qu'à des commutations tout ou rien. À cause de la modulation raised cosine, il est très important que le PSK-Hell soit amplifié et transmis linéairement, autrement le signal deviendrait très large. Quand il est bien réglé, le signal a une bande passante très raisonnable de 105 Hz de large.

LE FM-HELL

Le problème manifeste avec l'usage du 245 bauds est que le signal est par conséquent plus large. Durant le développement du PSK-Hell 245 bauds, il fut bientôt réalisé qu'il pouvait être reçu avec une des bandes latérales étant supprimée ou filtrée à l'extérieur. Pour prouver ce point, un mode "SSB-PSK-Hell" fut testé et fut trouvé très efficace. Après exploration des mathématiques de la génération d'un signal, il fut constaté que le même signal pouvait être généré en utilisant une technique FSK combinée avec un contrôle soigneux de la phase. Ce n'est pas seulement moins intensif pour le processeur mais cela nécessite aussi moins de filtrage comme le signal est très net. Vous devez concevoir que toutes les fois que la phase aurait dû être modifiée pour signaler un point blanc, à la place c'est la fréquence qui variera légèrement jusqu'à ce que le changement de phase nécessaire ait été atteint.



Fig. 9 : Représentation f (t) d'un signal FM-Hell

Le résultat est le FM-Hell, très similaire au MSK (Minimum Shift Keying) et il est ainsi possible de transmettre en FM-Hell 245 bauds dans une bande passante aussi faible que 50 Hz. La sensibilité est cependant meilleure si un shift de 122,5 Hz est utilisé.

On peut également comparer le FM-Hell à une émission FSK à deux tonalités très proches, où la tonalité du Mark correspond à une phase en opposition à celle du Space. Ainsi le FM-Hell peut être décodé comme du PSK-Hell.

Voici les différents avantages du FM-Hell :

- La transmission est plus étroite qu'en PSK-Hell ou en Feld-Hell.
- La pleine résolution est maintenue et les polices Windows à haute résolution ne sont pas plus larges que les polices Hell.
- La modulation raised cosine n'est pas nécessaire pour contrôler la génération des bandes latérales donc le transceiver transmet une puissance constante.
- Puisque le signal est constant en amplitude, un émetteur linéaire n'est pas nécessaire.
- Il apparaît comme étant la moins brouillée des transmissions DX par rapport au PSK-Hell ou au Feld-Hell.



Fig. 10 : FM-Hell employé en LSB au lieu de l'USB

Le FM-Hell est dépendant de la bande latérale utilisée. Il a été conçu pour être employé en mode USB. Si vous utilisez le mode LSB, vous obtiendrez alors du texte coloré "négativement" (figure 10).

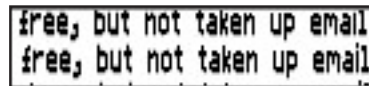


Fig. 11 : FM-Hell 245 bauds

Comparez l'image de la figure 11 à celle de la figure 8 (elles ont été enregistrées

durant le même contact sous les mêmes conditions). Constatez que le brouillage visible sur l'échantillon PSK-Hell est complètement absent dans l'échantillon FM-Hell. ZL1BPU et IZ8BLY croient que la raison est qu'en PSK-Hell, bien que la rotation de la phase causée par l'ionosphère affecte les deux bandes latérales de manière équivalente, les changements de temps qui en résultent ne le sont pas, et le signal PSK-Hell est la somme de deux signaux placés légèrement différemment. À la place, le FM-Hell peut produire une légère ondulation du texte vers le haut et le bas, comme cela se produit avec le Feld-Hell, mais ce n'est en aucune façon une détérioration de la réception.

PERFORMANCES

Le plus gros avantage du PSK-Hell et du FM-Hell, comme tous les modes PSK, est la sensibilité. L'avantage par rapport au Feld-Hell dans le bruit est probablement de l'ordre de 6 à 8 dB (doit encore être confirmé précisément). Les exemples comparatifs des figures 12 et 13 montrent du PSK-Hell 105 bauds et du Feld-Hell reçus à environ 0 dB S/N puis à environ -12 dB S/N, dans une bande passante de bruit de 3 kHz. Le FSK-105 est à peu près équivalent et les modes 245 bauds environ 3 dB plus mauvais.

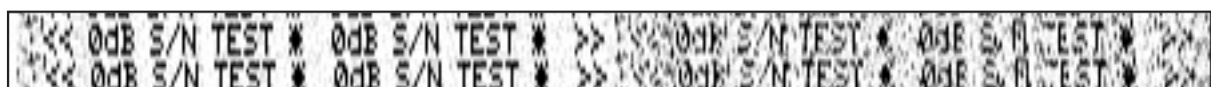


Fig. 12 : 0 dB S/N (gauche) et -12 dB S/N (droite)

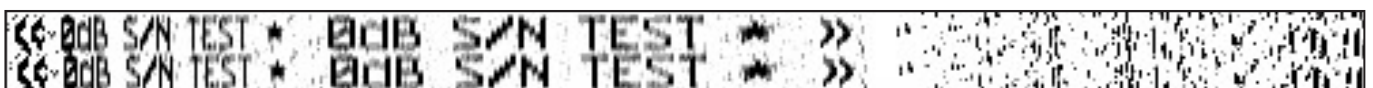


Fig. 13 : 0 dB S/N (gauche) et -12 dB S/N (droite)

Sur les figures 14 et 15, quelques comparaisons supplémentaires, cette fois des signaux DX réels sur 14 MHz, à partir du même contact sous les mêmes conditions. Notez le fading sur l'échantillon Feld-Hell, juste avant que le contact soit établi et la clarté de l'échantillon FM-Hell juste après que ZL1BPU ne réponde et que le mode ne change. Pas de changement de la puissance d'émission, ni d'antenne (dipôles) ou des réglages de réception, seulement un changement de mode. À propos, le signal 245 bauds FM-Hell est plus étroit que le Feld-Hell 122,5 bauds!



Fig. 14: Chris HB9BDM transmettant en Feld-Hell 122,5 bauds

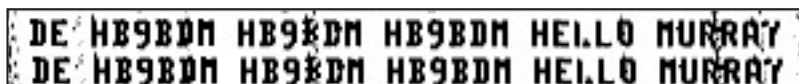


Fig. 15: Chris HB9BDM transmettant en FM-Hell 245 bauds

En pratique, les modes 245 bauds sont aussi performants que les modes 105 bauds puisque la résistance accrue au "Doppler" et la résolution meilleure des polices ont tendance à compenser la perte de sensibilité. Le PSK-Hell et le FM-Hell sont beaucoup moins affectés par les parasites impulsifs tels que les éclairs. C'est parce que la plage dynamique de la réception du logiciel (identique pour les deux modes) est importante et que l'AGC du récepteur n'a pas besoin d'être complètement rétabli avant que la réception ne soit restituée. Notez dans l'exemple de la figure 16, où la réception est perdue pendant un éclair, que le signal continue à être copié entre les éclairs!

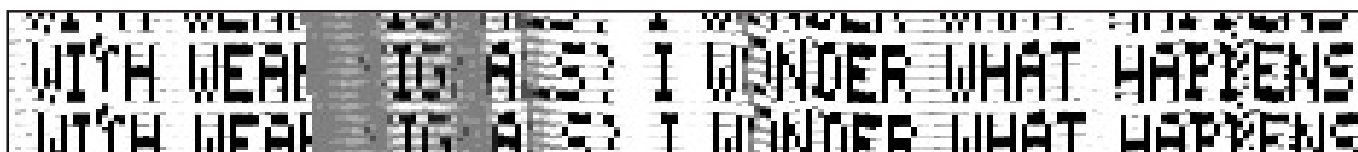


Fig. 16: Réception affectée par impulsions dues aux éclairs

Cet exemple est extrait d'un contact QRP, au-dessus 18 000 km, sur 14 MHz, la réception est remarquablement bonne. Les rayures horizontales sont causées par la modulation raised cosine du PSK-Hell et elles deviennent plus visibles quand le signal est faible. Comme vous pouvez l'imaginer, le PSK-Hell n'est pas beaucoup affecté par le fading. Les signaux multiréflexions qui accompagnent habituellement le fading peuvent être un problème, quoique peut-être un peu moins qu'en Feld-Hell. C'est la plupart du temps un problème sur les bandes basses, particulièrement sur 80 m. La figure 17 montre un exemple comparatif de signaux avec de sévères réflexions multiples.



Fig. 17: Simulation Multi-réflexions - PSK-Hell (gauche) et Feld-Hell (droite)

Il s'agit d'une simulation créée en ajoutant un signal retardé de 20 ms plus faible de 4 dB que le signal principal. C'est fait pour simuler une réception médiocre mais ce n'est pas inhabituel sur 80 m! (Suggestion: essayez le Duplo-Hell ou le MT-Hell puisqu'ils sont beaucoup moins affectés). Le PSK-Hell et le FM-Hell sont raisonnablement immunisés contre les interférences, particulièrement les parasites impulsions et le hachage mais ils peuvent être gravement affectés par des porteuses sur la fréquence ou du Morse. Quand le signal est très faible, il est suscepti-

ble de souffrir d'interférences importantes de stations qui ne le reconnaissent pas ou ne réalisent même pas que le signal est là!

L'effet le plus significatif qui peut réellement ruiner les modes PSK pour le DX est ce Doppler ionosphérique. Là où l'ionosphère est en état de changement constant, la densité des ions peut changer très rapidement et par conséquent faire la même chose pour la vitesse de propagation et l'indice de réfraction. Il en résulte que les signaux traversant de telles zones (près des pôles magnétiques de la terre) supportent des modulations de vitesse très importantes. Cela provoque la modulation de l'amplitude, de la fréquence et de la phase du signal. Pourvu que les signaux occupent une bande passante raisonnable, cela n'est pas vraiment un problème mais des signaux à bande étroite (comme le PSK-31) souffrent beaucoup des fluctuations, ce qui peut facilement introduire un bruit de phase

sur le signal qui excède la bande passante du signal résultant en une réception nulle. Le PSK différentiel est gravement affecté parce que le changement dans la phase peut facilement excéder 180° à l'intérieur de la durée d'un bit.

Le PSK-Hell et le FM-Hell sont protégés de ce problème de deux manières. En premier, la durée d'un point est beaucoup plus courte que le PSK-31 (9,5 ms ou 4,8 ms au lieu de 32 ms) et deuxièmement, la méthode de réception n'utilise pas de détection d'horloge pour déterminer quand échantillonner chaque bit de donnée. Étant un mode Flou, les échantillonnages du PSK-Hell à une fréquence constante (quasi syn-

chrone), quatre fois le débit de points transmis, et la phase du bruit tendent à créer un niveau de bruit de fond qui est perceptible par l'œil mais n'affecte pas la réception.

Une caractéristique intéressante de la fluctuation des niveaux à cause du Doppler sur le PSK-Hell (qui peut aussi être observée quelquefois sur le Feld-Hell) est l'effet du Doppler sur la phase des caractères reçus - le PSK-Hell et le FM-Hell peuvent être copiés avec environ ± 25 Hz de décalage Doppler sans perte de réception, (démonstré dans la simulation ci-dessous) mais avec cet écart plus important, le texte bouge en ondulant en bas et en haut comme les vagues sur l'océan (figure 18).



Fig. 18: Surfez sur la vague du PSK!

L'effet peut être souvent observé sur des signaux réels comme sur cette transmission QRP de VK2DSG sur 80 m, reçue en Nouvelle-Zélande (figure 19).



Fig. 19: Faites des vagues avec le PSK-Hell

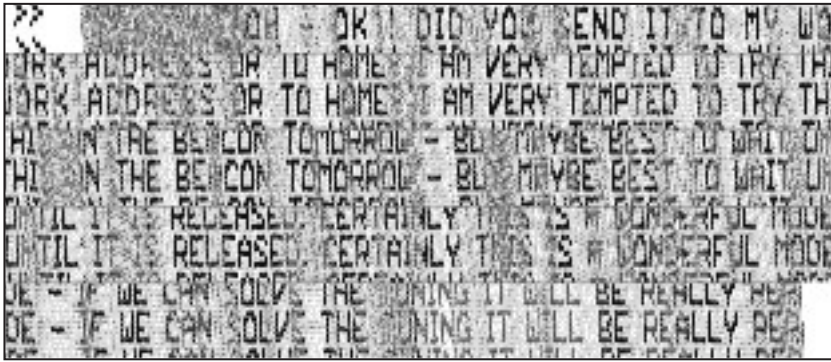


Fig. 20: Le premier QSO DX en PSK-Hell du monde

Dans des conditions similaires, le Feld-Hell est très difficile, le PSK-31 souffre bien davantage des fluctuations (Doppler), et l'usage du RTTY, de l'AMTOR et du Pactor auraient été impossible. La photo ci-dessus n'est pas retouchée d'aucune façon et la clarté du texte est typique de cette portée. (Remerciements à Nino IZ8BLY pour l'image).

Les conditions sur 20 m en Europe sont réputées bruyantes. La photo en figure 20 est extraite du premier contact DX en PSK-Hell le 21 août 1999 et montre la réception (en Europe) de ZL1BPU par IZ8BLY à une portée d'environ 18 000 km. Les deux stations sortaient 10 W sur des antennes dipôles. Le QSO se déroulait aux environs de 06:00 UTC et aura probablement suivi un long parcours, par exemple en passant à travers la région du pôle Nord.

Des contacts tels que celui-ci peuvent être établis à volonté à cause de la sensibilité et la robustesse du PSK-Hell.

JOURNÉES D'ACTIVITÉ HELLSCHREIBER TRIMESTRIELLES

Il existe un "non-contest" officiel sur TOUTES LES BANDES du "courant continu à la fréquence de la lumière", qui se déroule le dernier samedi du 1er, 4e, 7e et du 10e mois (31 janvier, 24 avril, 31 juillet, 30 octobre pour l'année 2004). Il n'y a pas de règlement mais un système de score personnel a été inventé pour ajouter de l'intérêt. Des détails sont affichés sur mon site d'après le site web IZ8BLY. C'est une excellente opportunité pour le DX. Des indicatifs spéciaux et des préfixes rares font souvent leur apparition !

CONTEST INTERNATIONAL HELLSCHREIBER ANNUEL D'OCTOBRE

Depuis plusieurs années, le contest Hell lancé par le DARC a pris place sur le premier week-end entier en octobre. Il est suivi par un contest VHF le mardi soir suivant. Malheureusement, le règlement et les fréquences conseillées ne font l'objet d'aucune publicité réelle dans les annonces internationales des contests HF. Ce contest se déroule uniquement sur 80 m (samedi 2 octobre pour 2004), 40 m (dimanche 3 octobre) pour 2004, et en VHF (mardi 5 octobre 2004). Je n'ai "vu" aucun OM français lors de l'édition 2003 parmi les stations européennes !

N'HÉSITEZ PAS A LANCER DES APPELS CQ et à expérimenter ou utiliser au quotidien ce mode en dehors de ces périodes.

LOGICIELS

Au départ, il y avait seulement un programme disponible pour le PSK-Hell et le FM-Hell. C'était le logiciel HELLSCHREIBER de Nino IZ8BLY pour Windows 95/98/NT avec carte son, V 3.0

et supérieure pour le PSK-Hell et à partir de la V 3.5 pour le FM-Hell. La dernière version est arrivée à la 4.0.

Vous pouvez aussi utiliser le logiciel MULTIPSK de F6CTE et MixW 2.12 pour le PSK-Hell. Il existe aussi la suite complète de décodage multimode SkySweeper qui est, par contre, commerciale.

Vous pouvez consulter mon site sur le Hellschreiber et le MT63 sur <http://fiult.free.fr> pour retrouver des informations sur le mode d'origine le Feld-Hell, les variantes du Hell, une partie historique, une rubrique de téléchargement, etc.

Abandonnez quelque temps le PSK31 et le RTTY, essayez le HELL sous toutes ses variantes !

Pascal BIMAS, FIULT

Traduction et adaptation de Pascal BIMAS FIULT de la page web "PSK-Hell and FM-Hell" de ZL1BPU.

Remerciements à Nino PORCINO IZ8BLY et Murray GREENMAN ZL1BPU pour leur aide, leurs logiciels gratuits, leurs sites et l'autorisation d'utiliser leurs pages WEB ainsi qu'à Bernard PAUC F9ZB pour la découverte de ce mode via ses articles.

Sites Internet et articles déjà parus sur le thème du Hellschreiber :

- Murray GREENMAN ZL1BPU, site FUZZY MODES sur <http://www.qsl.net/z1bpu>;
- Nino PORCINO IZ8BLY, site sur <http://www.geocities.com/iz8bly/> (nouvelle adresse)
- Pascal BIMAS FIULT, "Le HELLSCHREIBER et ses modes dérivés", MEGHERTZ MAGAZINE N° 229 avril 2002, p. 40 à 44;
- Pascal BIMAS FIULT, "Le Feld-Hell... mais c'est très simple.", MEGHERTZ MAGAZINE N° 232 juillet 2002, p. 28 à 32;
- Pascal BIMAS FIULT, "Comment démarrer en Hellschreiber", MEGHERTZ MAGAZINE N° 241 avril 2003, p. 24 à 30;
- Pascal BIMAS FIULT, "Notes pour les débutants en Hell", MEGHERTZ MAGAZINE N° 251 février 2004, p. 30 à 36;
- Pascal BIMAS FIULT, "Le Hellschreiber à multitonnalités", RADIO-REF 757 juillet/août 2003, p. 39 à 43;
- Pascal BIMAS FIULT, "Le retour du Hellschreiber", RADIO-REF 751 janvier 2003, p. 34 à 38;
- Bernard PAUC F9ZB, "Le Hellschreiber", RADIO-REF N° 695 décembre 1997, p. 25 à 27;
- Bernard PAUC F9ZB, "Hellschreiber ? Pourquoi pas... ", RADIO-REF N°713 juillet-août 1999, p. 29 à 31;

ABONNEZ-VOUS A
ELECTRONIQUE
 ET LOISIRS magazine
LE MENSUEL DE L'ÉLECTRONIQUE POUR TOUS