

# Performances des différents modes de transmission

Cet article est la traduction d'une étude faite par le laboratoire de l'ARRL (American Radio Relay League, l'association officielle des Radioamateurs Américains) dont les auteurs sont **KE4PT** (Kazimirerz Siwiak) et **N0ADL** (Bruce Pontius) Cette étude a été publiée dans le numéro de Décembre 2013 de la revue *QST* ( Traduction **FIDOI** )

## 1 – Tous les modes ne transmettent pas de façon identique

Dans notre exemple nous considérons, pour la transmission, l'utilisation d'une paire de transceivers et d'antennes, comme on peut le voir sur la figure 1.

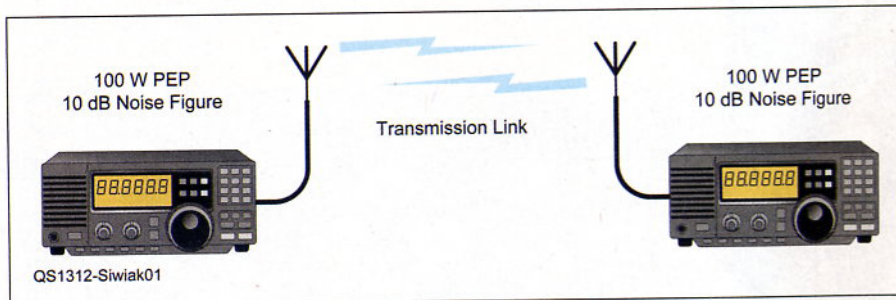


Figure 1 — A pair of transceivers and antennas form the basic radio transmission path link.

Chaque transceiver a un facteur de bruit typique d'environ 10 dB, et en émission une puissance de 100w PEP (Peak Enveloppe Power). Deux facteurs affectent la distance de communication maximum : *La Puissance Moyenne transmise en émission, et la Sensibilité du récepteur pour le côté réception.* Par exemple pour le PSK (Courbe supérieure de la figure 2), il émet en moyenne la moitié de la PEP pour

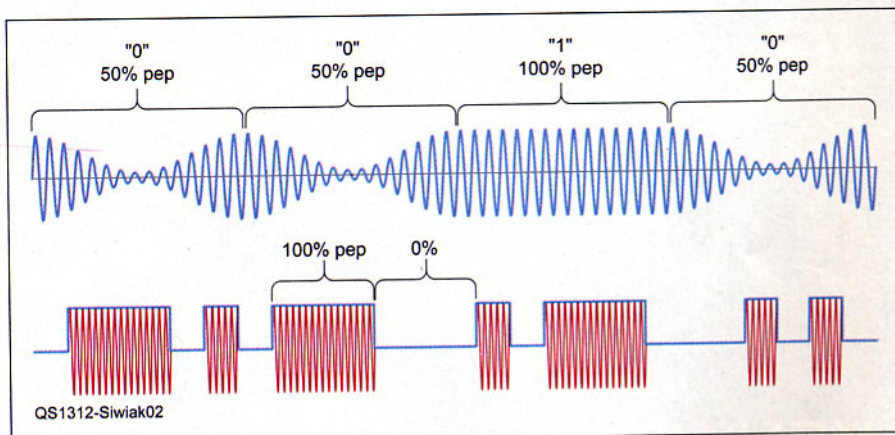


Figure 2 — PSK31 (upper curve) emits half PEP during "0" and full PEP during "1" bits, so average power with an equal number of "1" and "0" bits is 75% of PEP; CW (lower curve) emits 44% of PEP.

émettre le bit « 0 » et la puissance PEP totale pour émettre le bit « 1 », ainsi, la puissance moyenne avec un nombre égal de « 0 » et de « 1 » est de 75% de la PEP maxi.

En CW le signal du code Morse ( Courbe inférieure de la figure 2 ) opère a pleine puissance PEP lorsque le manipulateur est en position basse « dits &

dahs », mais cette puissance est nulle lorsque le manipulateur est en position haute (ou au repos, si on utilise un double contact). Ainsi, la transmission du mot standard « PARIS\_ » en incluant l'intervalle entre mots résulte en 44% de la PEP soit 44W de puissance moyenne. D'un autre côté, la transmission vocale en FM générera 100W PEP pendant la durée de l'activation de l'émission. Donc, puisque notre équipement nous limite à une certaine puissance PEP, typiquement 100W pour bon nombre de transceivers Radioamateur, la puissance moyenne transmise sera différente en fonction des différents modes utilisés comme le montre le tableau 1. Et cela affectera la performance de la transmission entre les deux transceivers de la figure 1

| Table 1<br>Average Power for<br>100 W PEP Transmitter |                   |                     |
|---|-------------------|---------------------|
| Mode  | Average Power (W) | Compared to CW (dB) |
| AM  | 25                | -2.5                |
| SSB   | 25                | -2.5                |
| FM  | 100               | +3.6                |
| RTTY  | 95                | +3.3                |
| CW  | 44                | ref: 0              |
| PSK31   | 75                | +2.3                |
| JT65  | 100               | +3.5                |

Les mesures effectuées de la puissance d'émission par notre laboratoire pour la FM, CW, RTTY, PSK31 & JT65 correspondent très étroitement aux valeurs moyennes indiquées sur le tableau 1. Il apparaît clairement que la FM, le RTTY, le PSK31 & le JT65 peuvent générer plus de puissance moyenne que la CW, l'AM ou la SSB. Les signaux, comme la transmission vocale en SSB, peuvent être compressés pour augmenter la puissance moyenne de quelques décibels. Toutefois, nous ne considérons ici que les signaux non compressés. Mais ce n'est pas la fin de l'histoire, la sensibilité du récepteur pour chaque mode joue aussi un rôle important comme on peut le voir sur le tableau 2

## 2 – La Sensibilité du Récepteur varie en fonction du Mode utilisé

Le tableau 2 montre la sensibilité du récepteur à la fois de façon traditionnelle en microvolts et en décibel par rapport à 1 milliwatt (dBm). La dernière colonne montre les décibels par rapport à la sensibilité CW prise comme référence. Pour le tableau 2, nous avons glané les sensibilités de réception des performances moyennes des 30 plus populaires transceivers radioamateur qui ont été mesurés au Laboratoire ARRL et dont les résultats ont été publiés dans la rubrique

| Mode  | Receiver Sensitivity (microvolts) | Receiver Sensitivity (dBm) | Compared to CW (dB)                   |
|-------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| AM    | 0.72                              | -109.9                     | -25.1                                 |
| SSB   | 0.22                              | -120.3                     | -14.7                                 |
| FM    | 0.29                              | -117.7                     | -17.3                                 |
| RTTY  | 0.096                             | -127.3                     | -7.7                                  |
| CW    | 0.040                             | -135.0                     | ref: 0                                |
| PSK31 | 0.023                             | -139.8                     | <del>+7.1</del> + 4.8 ( Voir Note 2 ) |
| JT65  | 0.0035                            | -156.2                     | +21.2                                 |

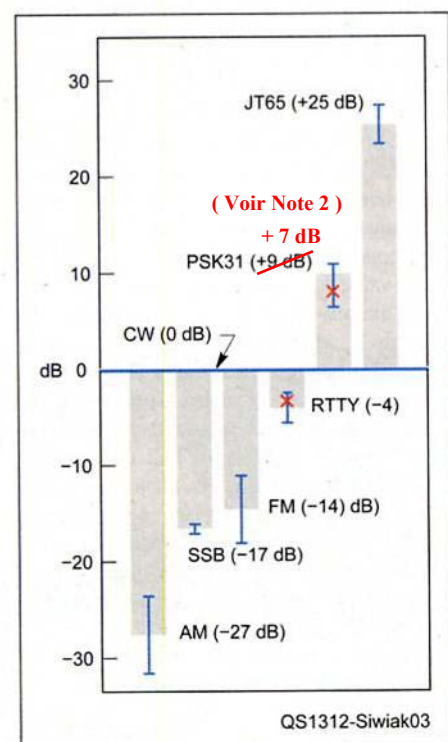


Figure 3 – Comparison of ham radio modes relative to CW.

« Product Review » de notre site ou dans la revue QST. Nous invoquons les mesures de l'ARRL pour les sensibilités AM et FM, ainsi que le « Minimum Décernable Signal » (MDS) dans une bande passante de 500Hz dont nous dérivons les sensibilités SSB et CW. Bien qu'il s'agisse de mesures en labo et non de théorie, il faut savoir que le « Bruit Blanc » est la seule dégradation dans ces mesures en labo. La Note 1 en fin d'article explique plus en détail ce que nous entendons par « Sensibilité de Réception ». Certains bons opérateurs peuvent copier des signaux ayant un rapport signal sur bruit plus faible que celui défini par nos standards de mesures, spécialement lorsque l'on utilise un vocabulaire limité lors des échanges avec les expéditions DX !! Lors de QSO normaux en SSB, il peut être nécessaire d'obtenir des signaux plus puissants que nos mesures standard. Les sensibilités mesurées par le labo ARRL sont, bien entendu, pour le récepteur complet, avec les filtres IF appropriés pour chacun des différents modes. Nos propres mesures de sensibilité en PSK et RTTY pour le lien complet Emetteur => Récepteur de la figure 1 est indiqué par le symbole X sur la figure 3

## 3 – La Liaison complète nous dit tout

Nous pouvons être tentés de comparer les différents modes en utilisant juste la sensibilité de réception indiquée sur le tableau 2 et conclure, par exemple, que le JT65 est plus performant que la CW de 21,2dB. La chaîne complète de transmission, toutefois, inclue la limitation de la transmission en PEP aussi bien que la sensibilité en réception. Avec 100W PEP en émission le mode JT65 génère 3,5dB de puissance moyenne d'émission de plus que ne le fait la CW. Ainsi, le plein avantage du JT65 sur la CW est 21,2 + 3,5, ou 24,7 dB. En ajoutant les avantages relatifs de chaque mode sur les tableaux 1 & 2, nous arrivons à la figure 3 pour la comparaison des



différents modes. Les petites barres verticales à l'extrémité des colonnes indiquent la plage de dispersion des 30 transceivers mesurés par le laboratoire de l'ARRL

#### 4 – Comparaison des Modes dans la Liaison Radio Totale

La FM comparée à la SSB est une surprise. Bien que le récepteur typique SSB est plus sensible que le récepteur FM de 2,5 dB, les performances de la liaison FM totale bénéficie de l'avantage des 6dB moyens de l'émission FM supérieurs à la SSB. Cela donne un avantage global d'environ 2,5 dB à la FM par rapport à la SSB. Il faut se souvenir que la FM est mesurée en utilisant un standard de 12 dB SINAD ( Signal + Noise And Distorsion / Noise + Distorsion ) avec un détecteur FM alors que la SSB est mesurée au standard de 10 dB de SNR ( Signal Noise Ratio ou en français Rapport Signal + Bruit / Bruit ) utilisant un détecteur linéaire. Aussi les qualités audio sont très différentes au seuil du niveau de signal bien que leur SNR avant détections soient à peu près identiques. L'un d'entre nous ( N0ADL ) a mesuré et vérifié les performances entre la FM et la SSB, il a aussi noté une forte préférence pour la qualité audio de la SSB par rapport à la FM à un niveau de signal marginal, en particulier à des niveaux au dessous de nos méthodes standards de mesures.

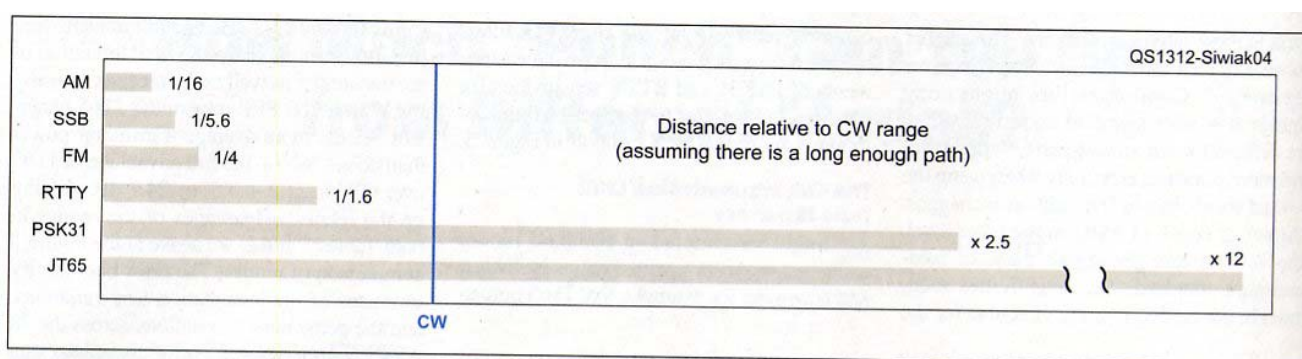


Figure 4 – Relative range of different modes for a radio path link.

L'étendue totale des performances de l'AM au JT65 ( se souvenir qu'il s'agit là d'un environnement en « Bruit Blanc » ) est supérieur à 52 dB soit un rapport de puissance de 160000. C'est un « Gros Bouton », une commande importante, que nous pouvons activer pour choisir la performance d'une liaison Radio. La Bande Passante de Bruit effective par mode du récepteur compte pour beaucoup dans l'énorme étendue de la sensibilité en réception. La bande passante audio du récepteur est traitée comme « la dernière FI » pour les modes digitaux. Les logiciels des modes digitaux et leur implémentation traitent le signal digital, ils implémentent des filtres digitaux, et finalement décodent le signal.

| Mode  | Noise Bandwidth (Hz) | Occupied Bandwidth (Hz) | Emission Designator |
|-------|----------------------|-------------------------|---------------------|
| AM    | 6000                 | 6000                    | 6K00 A3E            |
| SSB   | 2456                 | 2500                    | 2K50 J3E            |
| FM    | 12,500               | 12,500                  | 12K5 F3E            |
| RTTY  | 180                  | 250                     | 250H F1B            |
| CW    | 100                  | 100                     | 100H A1A            |
| PSK31 | 31.25                | 62.5                    | 62H5 G1B            |
| JT65  | 2.692                | 175                     | 175H F7B            |

Le tableau 3 ci-dessus montre la comparaison des « Largeurs de Bande de Bruit » et des « Largeurs de Bande Occupées » pour les différents modes. La « Largeur de Bande de Bruit » pour la SSB correspond à une valeur moyenne des 30 transceivers que nous avons mesurés. Nous citons, pour la FM la « Largeur de Bande de Bruit » avant la détection, dans le tableau 3, qui n'est pas linéaire avec la

valeur après détection. Les organismes de normalisation Américains (FCC et ITU-R) montrent comment calculer la « Largeur de Bande Occupée » et comment attribuer les références d'Emission (colonne de droite « Emission désignator » dans le tableau 3) Bien que le JT65 occupe une largeur de bande d'environ 175 Hz, une astucieuse conception de la génération du signal donne une « Largeur de Bande de Bruit effective » en réception de 2,7 Hz. Ajoutez à cela son puissant code de correction d'erreur, plus la valeur moyenne élevée de sa puissance d'émission, le JT65 peut nous donner une spectaculaire performance de distance au bout des doigts. Il est facile de comprendre pourquoi les Radioamateurs utilisent une version du JT65 pour des contacts EME ( Earth Moon Earth, Terre Lune Terre )

Donc, quel mode est le meilleur ? Tout dépend ce que l'on veut transmettre et avec quelle rapidité on veut le transmettre. Un contact en JT65 est composé d'un vocabulaire limité : Indicatif, Report de force de signal ( RST ) et Locator, il travaille à environ 3 mots par minute. Les modes vocaux, d'un autre côté supportent les conversations en temps réel, mais exigent plus de puissance pour une distance donnée. Tout est résumé dans les tableaux 3 ( Largeur de Bande de Bruit) et 2 ( Puissance Moyenne ). Le « Meilleur Mode » vous permet de passer l'information que vous souhaitez, à la vitesse et à la distance que vous souhaitez.

## **5 – A Quelle Distance « Communique » t'il ?**

A quelle distance un mode peut-il « Communiquer » comparé à un autre ? Pour une comparaison équitable de « Distance » une assez longue trajectoire doit actuellement exister (Nous ignorons les Zones de Skip dans une trajectoire Ionosphérique). Mais si une bonne trajectoire existe pour un contact en JT65 au seuil de performance, la figure 4 révèle que la portée sera de 12 fois supérieure à la portée du seuil de performance d'un contact CW. La portée en CW sera 6 fois supérieure à celle de la SSB et 16 fois supérieure à une transmission en AM.. Les chasseurs de DX utilisent communément la CW, le RTTY ou la SSB qui peuvent avoir une fourchette de performances de l'ordre de 17 dB. Ces modes DX populaires peuvent avoir une fourchette de portée de 6 à 1 entre eux. Les stations DX individuelles, d'un autre côté, utilisent tous les modes. L'un d'entre nous ( KE4PT ) en a accroché un nouveau (DX) : l'île de la Réunion sur deux bandes, en utilisant le JT65.. Si vous désirez un DX rare dans votre « Log-book » concentrez vous sur la CW, ensuite sur le RTTY et finalement sur la SSB et ce, dans cet ordre. En utilisant cette stratégie les auteurs ont accru leur nombre de contrées DXCC en utilisant tous les modes à l'exception de l'AM et la FM.

## **6 – Conclusions**

Dans cette simple comparaison, nous avons considéré « l'Additif Bruit Blanc Gaussien » (AWGN Additive White Gaussian Noise) comme seule dégradation dans notre liaison Radio. Bien que nous ayons pris en considération la puissance PEP de l'émission et la largeur de bande des filtres en réception, nous n'avons pas considéré le Soleil, la Lune, les réglages radio, le QSB ( Fading ), le QRN ( Bruit Naturel ) le QRM ( Bruit parasite des machines, etc..) ou encore le QLF ( pour le fun, cela signifie « je manipule avec mon pied gauche !! » ), votre propre expérience peut varier. Vous pouvez cibler le mode opératoire de la station DX avec plus d'optimisme quand vous savez que la CW est 17 dB plus performante que la SSB (Non compressée), et le RTTY plus performant de 11dB. Si vous ne pouvez pas les contacter en phonie, essayez le RTTY ou mieux encore la CW, jusqu'au PSK ou le JT65 s'ils en sont équipés!!

### **Note 1 : Que voulons nous dire par « Sensibilité du Récepteur »**

Une comparaison cohérente des Récepteurs et des Modes de Modulation nous demande d'appliquer une cohérente définition standard de la Sensibilité. Pour les modes vocaux nous avons choisi 12dB SINAD ( Signal + Noise And Distorsion / Noise + Distorsion ) pour la FM et 10 dB ( S+N)/N pour

l'AM en ligne avec les revues de produits du labo de l'ARRL. Pour la SSB, nous avons adopté 10 dB au dessus du Signal Minimum Détectable (MSD mesuré dans la largeur de bande SSB, ajustée par le Labo ARRL à une largeur de 500 Hz. Ainsi toutes les mesures peuvent être retrouvées dans les tests des revues de produits et les procédures de test du labo de l'ARRL

Pour la CW et les modes digitaux conversationnels comme le RTTY et le PSK31, nous avons défini la sensibilité comme le niveau de signal nécessaire pour décoder un groupe de 5 caractères « PARIS\_ » avec une fiabilité de 95%. Pour la CW, ce niveau est 9,2 dB au dessus du MDS cité plus haut, dans une largeur de bande de 100 Hz. Utilisant la théorie de la manipulation « On/Off ». Une largeur de bande de 100 Hz correspond à l'ERB ( Effective Rectangular Bandwidth , Largeur de bande rectangulaire effective ) de l'oreille pour une tonalité CW de 700 Hz. Oui, l'oreille humaine peut agir comme le filtre final pour un décodage auditif de la CW. La CW à 20-25 mots par minute occupe approximativement 100Hz de spectre.

Nous avons calculé la sensibilité en PSK31 en utilisant la théorie pour le PSK Différentiel comme étant 9,4 dB au dessus du MDS dans une largeur de bande de réception de 31,25 Hz, mais la bande nécessaire ou encore bande occupée est de 62,5 Hz. Ce niveau de signal inclut 2 dB additionnels pour la perte due à l'implémentation du décodeur. En utilisant la théorie 2-FSK, nous avons calculé qu'un shift (déplacement de fréquence) deux tons de 170 Hz à 45,45 Bauds la modulation Baudot RTTY demande 11,9 dB de rapport Signal sur Bruit pour décoder les 990 mS de la chaîne de caractères « PARIS\_ » avec une fiabilité de 95%. Nous avons établi la sensibilité RTTY dans une largeur de bande occupée de 250 Hz et avons inclus 2 dB de perte due à l'implémentation du décodeur. Les données JT65 sont encodées avec un code Reed Salomon (63,12) et utilisent des messages avec un vocabulaire limité, et de plus les transmissions sont synchronisées. Là, nous faisons confiance aux mesures publiées ( Documentation de K1JT, auteur du mode JT65 ). Nous avons normalisé la sensibilité des tonalités JT65 à une largeur de bande de bruit effective de 2,7 Hz

D'autres standards de mesure de sensibilité sont toujours possibles. Des standards différents résultent en différentes qualités audio. Des échanges courts en CW tels que ceux réalisés lors des expéditions DX ne sont pas des groupes de texte au hasard. Ils utilisent un vocabulaire très limité qui peut souvent être copié avec un rapport signal sur bruit plus faible que nos 9,2 dB standards. Nos mesures sont effectuées en AWGN (Additive White Gaussian Noise) Des mesures effectuées dans d'autres conditions de bruit peuvent altérer dramatiquement les résultats et ce, différemment pour chaque type de modulation.

**Note 2 :** *Après la lecture approfondie de cet article, je me suis aperçu qu'une erreur s'était glissée lors de l'écriture du Tableau 2. En effet, pour le PSK, l'écart en dB entre le CW et le PSK n'est pas de +7,1dB, mais de +4,8 Il n'est que de faire la différence  $139.8 - 135 = 4.8$  dB. Cela influe aussi sur la figure 3 : la colonne du PSK doit être abaissée de 2 dB ( soit +7 dB au lieu de +9 DB ). Cette erreur a été communiquée aux auteurs, qui m'ont remercié et félicité pour ma perspicacité. Une correction sera apportée dans la revue probablement lors de sa prochaine édition.*

*Sur la page suivante, une vue des équipements utilisés par le Laboratoire de l'ARRL pour tester nos équipements et aussi une traduction de la légende de cette photo. Hélas, l'accès aux « Product Review » est réservé aux seuls membres de l'association. Pour information, je dispose d'une copie du « Manuel des Procédures de Mesure du Labo de l'ARRL »*

*En espérant que la lecture de ce document vous aura ouvert de nouveaux horizons. Les légendes des figures et des tableaux n'ont pas été traduites, mais je pense qu'elles sont très faciles à comprendre.*

*Avec toutes mes 73*

*F1DOI / Michel*

## Une partie des équipements de mesure du Laboratoire de l'ARRL



Ceci est notre salle de test (3m x 3,50m) où tous les produits Radioamateurs sont testés. Cette chambre de mesure est complètement blindée (Cage de Faraday), ce blindage nous donne 100 dB d'atténuation aux fréquences Radio par rapport au monde extérieur. Elle nous permet de poursuivre nos tests lorsque la Station W1AW (La station officielle de l'ARRL) transmet ses bulletins sur 7 bandes différentes avec une puissance à la limite des niveaux de puissances autorisées. Pas besoin de dire qu'aucun téléphone portable ne peut fonctionner dans cette salle !!!