

Radioamateurs de la Côte d'Or



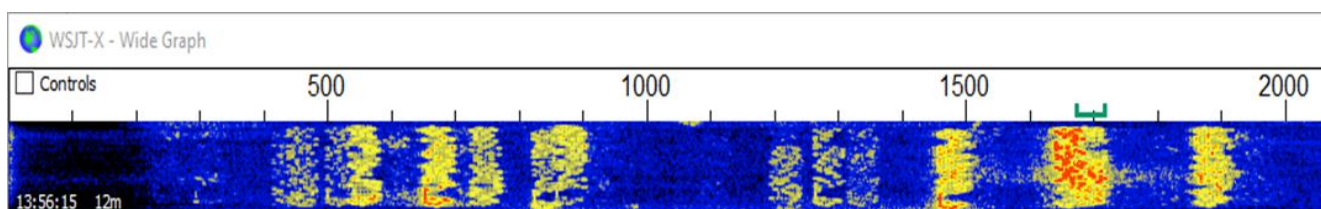
Le RCO est membre du REF, association à but non lucratif,
fondée en 1925 et reconnue d'utilité nationale.
Le REF constitue la section française de l'Union Internationale
des Radioamateurs (IARU).

Maison des Associations
02, rue des Corroyeurs,
Boîte n° Q2

21068 DIJON cedex

Site INTERNET : <http://rco.r-e-f.org>

Les modes numériques FT8/FT4/FT2



Partie 1 : les principes de fonctionnement

Les modes FT8/FT4/FT2 sont des protocoles de communication numérique utilisés par les radioamateurs. Ils ont été développés à partir d'une idée originale de Steve Franke, K9AN et Joe Taylor, K1JT, ce dernier est bien connu par ailleurs puisqu'il est un radioastronome qui a orienté ses travaux de recherche universitaire sur l'étude des pulsars. Codécouvreur du premier pulsar binaire, il a contribué à valider la théorie de la relativité ce qui lui a valu le prix Nobel de physique en 1993. Les codes source sont librement disponibles et permettent à des développeurs du monde entier de les améliorer et les optimiser. Le code FT8 a été publié pour la première fois en 2017, alors que le code FT4 est apparu en 2019. Le mode FT2 est apparu en février 2026.

La modulation utilisée est du type MFSK « décalage de fréquence » avec plusieurs tonalités. Ces modes sont conçus pour établir des contacts dans des conditions de signal très faible ou très perturbé, et sont particulièrement efficaces pour les bandes de fréquences HF, mais des variantes existent pour les UHF/VHF, le meteor scatter ou les QSO Terre-Lune.

Les modes FT8/FT4/FT2 permettent des échanges de messages brefs et standardisés entre les stations, ce qui facilite les contacts rapides et efficaces. Les informations échangées sont :

- ✚ Les indicatifs des 2 stations.
- ✚ La localisation des 2 stations en prenant les 4 premiers caractères du système de localisation international de Maidenhead (QRA locator).
- ✚ L'amplitude en dB du signal reçu, exprimée par rapport au niveau de bruit dans la bande passante prise par défaut à 2500 Hz.
- ✚ Eventuellement un très court message libre comportant au maximum 13 caractères.

Messages décodés					Signification																																								
<table><thead><tr><th>UTC</th><th>dB</th><th>DT</th><th>Freq</th><th>Message</th></tr></thead><tbody><tr><td>072007</td><td>8</td><td>0.1</td><td>1075 +</td><td>CQ C37JPE JN02 Andorra</td></tr><tr><td>072015</td><td>Tx</td><td></td><td>1481 +</td><td>C37JPE F6FTB JN27</td></tr><tr><td>072022</td><td>9</td><td>0.1</td><td>1075 +</td><td>F6FTB C37JPE +00</td></tr><tr><td>072030</td><td>Tx</td><td></td><td>1481 +</td><td>C37JPE F6FTB R+09</td></tr><tr><td>072037</td><td>10</td><td>0.1</td><td>1075 +</td><td>F6FTB C37JPE RR73</td></tr><tr><td>072045</td><td>Tx</td><td></td><td>1481 +</td><td>C37JPE F6FTB 73</td></tr><tr><td>072052</td><td>8</td><td>0.1</td><td>1075 +</td><td>F6FTB C37JPE 73</td></tr></tbody></table>					UTC	dB	DT	Freq	Message	072007	8	0.1	1075 +	CQ C37JPE JN02 Andorra	072015	Tx		1481 +	C37JPE F6FTB JN27	072022	9	0.1	1075 +	F6FTB C37JPE +00	072030	Tx		1481 +	C37JPE F6FTB R+09	072037	10	0.1	1075 +	F6FTB C37JPE RR73	072045	Tx		1481 +	C37JPE F6FTB 73	072052	8	0.1	1075 +	F6FTB C37JPE 73	C37JPE lance appel ; son QRA locator est JN02. F6FTB répond au CQ de C37JPE. C37JPE répond à F6FTB : il lui passe un report de +00 dB. F6FTB accuse réception du message de C37JPE et lui passe un report de +09 dB. C37JPE accuse réception du message de F6FTB et envoie ses 73. F6FTB envoie ses 73 à C37JPE ; le QSO est validé et terminé.
UTC	dB	DT	Freq	Message																																									
072007	8	0.1	1075 +	CQ C37JPE JN02 Andorra																																									
072015	Tx		1481 +	C37JPE F6FTB JN27																																									
072022	9	0.1	1075 +	F6FTB C37JPE +00																																									
072030	Tx		1481 +	C37JPE F6FTB R+09																																									
072037	10	0.1	1075 +	F6FTB C37JPE RR73																																									
072045	Tx		1481 +	C37JPE F6FTB 73																																									
072052	8	0.1	1075 +	F6FTB C37JPE 73																																									

Exemple de messages échangés en FT8/FT4/FT2

A l'émission, ces messages sont compressés et codés de manière très efficace et fiable. Sous forme non compressée, ils peuvent contenir jusqu'à 22 caractères (y compris les espaces). Quand cette limite est dépassée, l'algorithme de compression n'est pas en service, et les performances du décodage sont diminuées.

A la réception, une technique de correction d'erreur sophistiquée est appliquée. Il s'agit d'algorithmes du type Forward Error Correction (FEC) qui assurent une transmission fiable des données, même dans des conditions de signal très perturbées. En pratique c'est un code LDPC (Low Density Parity Check) qui est utilisé, qui permet d'avoisiner la limite théorique de correction prédite par Shannon il y a plus de 50 ans. Ce type de correction est largement utilisé dans les échanges de données numériques, par exemple pour la télévision numérique, les communications par satellite, la spécification Wi-Fi de l'IEEE 802.11, et les transmissions Ethernet à haut débit.

Dans le cadre de cet article, il n'est guère possible de faire une description exhaustive du fonctionnement de ce code. On peut seulement schématiser son fonctionnement de la manière suivante :

- Après codage en binaire de la trame à émettre, qui comporte 77 bits, 14 bits de contrôle de redondance cyclique (CRC) sont calculés sur des paquets de bits, qui se recoupent en partie, et sont ajoutés à la trame principale pour constituer un message initial de 91 bits. 83 bits de parité sont ensuite ajoutés, ce qui constitue au final un message codé de 174 bits. C'est ce qu'on appelle un code LDPC (Low-Density Parity-Check) de type (174,91),
- Le codage initial sur 77 bits impose des contraintes sur le format des indicatifs en matière de nombre de caractères (voir l'article à venir sur la mise en œuvre des modes FT8/FT4/FT2)
- A la réception de la trame complète, les paquets de bits sont vérifiés à l'aide de chaque bit de CRC leur correspondant,
- Si la vérification est positive, les bits du paquet correspondant sont validés,
- Si la vérification est négative, les bits du paquet en cause sont modifiés pour respecter la parité du bit de CRC (plusieurs possibilités existent mais certaines sont exclues compte tenu de la nature du caractère qui dépend de sa position dans la trame, et d'a priori. En effet, la structure des indicatifs radioamateurs, des QRA locator et de la mesure de l'amplitude du signal, répondent à des critères précis qui permettent d'exclure « a priori » certains caractères pour certaines positions dans la trame émise ; ainsi, par exemple :
- L'indicatif de chaque station obéit à des règles précises concernant l'alternance de chiffres et de lettres,
- Le QRA locator doit comporter 2 lettres (de A à R) pour les 2 premiers caractères suivi de 2 chiffres (de 0 à 9),
- L'amplitude du signal exprimée en dB comporte un signe « + » ou un signe « - » suivi de 2 chiffres dont le premier ne peut pas être supérieur à 3.

Ces « a priori » permettent d'exclure certains caractères pour certaines positions dans la trame reçue, et de faciliter la reconstitution de la trame correcte pour une trame qui aurait été perturbée par le QRM ou le QSB.

Des cycles successifs de correction sont réalisés pour améliorer de proche en proche la cohérence des paquets de bits avec le bit de parité CRC leur correspondant. Cette méthode permet d'améliorer notamment la correspondance de la trame reconstituée avec la trame émise. En cas d'échec du processus de correction, ou d'incohérence du résultat avec les a priori définis, la trame n'est pas affichée.

Description technique du mode FT8 :

- ✚ Durée de chaque transmission : 13,48 secondes. Une période de 1.5 seconde est disponible à la fin de chaque séquence de transmission pour tenir compte d'un éventuel décalage des horloges des micro-ordinateurs de l'émetteur et du récepteur, et permettre le décodage des trames. Un QSO complet dure 60 secondes.
- ✚ Longueur du message : 75 bits + CRC 12 bits (bits de contrôle de parité de groupes de bits de la séquence principale).
- ✚ Code FEC : LDPC (174,87).
- ✚ Modulation : 8-FSK, avec espacement des tonalités = 5,86 Hz ; bande passante occupée : 47 Hz
- ✚ Forme d'onde : phase continue, enveloppe constante.
- ✚ Seuil de décodage : en pratique il est meilleur que -21 dB, correspondant au rapport signal/bruit dans une bande passante de 2500 Hz.
- ✚ Multidécodeur : trouve et décode tous les signaux FT8 reçus dans la bande passante.
- ✚ Auto-séquençage après le démarrage manuel d'un QSO.

Description technique du mode FT4 :

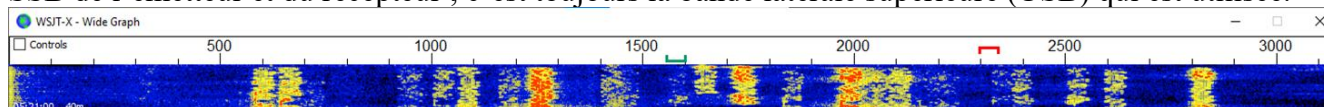
- ✚ Modulation 4-FSK par décalage de fréquence de 4 tonalités ; bande passante occupée de 83 Hz
- ✚ Chaque séquence d'émission dure 4,48 secondes avec une période de latence de 3 secondes entre TX et RX. Un QSO complet dure 30 secondes.
- ✚ Le FT4 est donc 2 fois plus rapide que FT8 et se met en œuvre à peu près de la même manière. Il va permettre des QSO aussi rapides que ceux que l'on peut faire en contest RTTY mais avec des signaux moins forts de 10dB !
- ✚ Le seuil de sensibilité pour une probabilité de décodage de 50% est : $S / N = -17$ dB, soit environ 4 dB moins sensible que le FT8.
- ✚ Les autres fonctionnalités sont similaires à celles du FT8.

Description technique du mode FT2 :

- ✚ Modulation 8-FSK par décalage de fréquence de 8 tonalités ; bande passante occupée de 150 Hz
- ✚ Chaque séquence d'émission dure 2 secondes avec une période de latence de 1.8 secondes entre TX et RX. Un QSO complet dure 11 secondes.
- ✚ Le FT2 est donc plus de 2 fois plus rapide que FT4 et se met en œuvre à peu près de la même manière. Il va permettre des QSO plus rapides que ceux que l'on peut faire en contest RTTY mais avec des signaux moins forts de 6 dB !
- ✚ Le seuil de sensibilité pour une probabilité de décodage de 50% est : $S / N = -11$ dB, soit environ 6 dB moins sensible que le FT4.
- ✚ Les autres fonctionnalités sont similaires à celles du FT8/FT4.

Et en pratique ?

Les bandes de fréquence où les signaux FT8/FT4/FT2 sont présents sont harmonisées au niveau mondial. Elles sont situées en général à proximité des fréquences habituelles pour les autres modes digitaux : PSK et RTTY. La largeur de ces sous-bandes FT8/FT4/FT2 est d'environ 3 kHz. Les VFO des émetteurs/récepteurs sont à positionner au début de chaque sous-bande. Les signaux émis et reçus sont dans le domaine BF et gérés par la carte son de l'ordinateur. Ils sont émis et décodés par la modulation en SSB de l'émetteur et du récepteur ; c'est toujours la bande latérale supérieure (USB) qui est utilisée.



Spectre BF d'une bande d'émissions FT8 reçus sur 14.074 MHz

On peut noter que le spectre BF affiché ici est large de 3100 Hz (équivalent à la largeur d'une émission en SSB), et que de nombreux signaux sont visibles sur la « waterfall » : en effet la largeur de chaque signal étant inférieure à 50 Hz, il est théoriquement possible d'y placer une cinquantaine de signaux côte à côte. En pratique il peut y en avoir beaucoup plus, à cause du QSB, des conditions de propagation, et de la possibilité de décoder des signaux entremêlés.

Band Activity				
UTC	dB	DT	Freq	Message
052100	13	0.1	2802 ~	URSNOY YO3GNF KN34
052100	6	0.2	583 ~	CQ CQ35MD Madeira Is.
052100	-14	0.2	1007 ~	CQ K1BGH FN41 U.S.A.
052100	-11	0.2	2378 ~	F4EMM K8USN EM90
052100	-6	0.1	1833 ~	CQ R6OJ KN87 EU Russia
052100	8	0.6	1717 ~	SA7BYQ YO3YX -10
052100	-19	0.2	2202 ~	G0KPH HA5DI RR73
052100	-4	0.3	2047 ~	<F4HRR> HR4/PY8WW RR73
052100	-13	0.2	1162 ~	CQ II8IABJ Italy
052100	2	0.2	2008 ~	UA6LTA RR73; UT3UY <YO160ITU> -06
052100	-8	0.9	1628 ~	EA5RT Z68ZZ +01
052100	-19	0.3	2168 ~	KG5RPZ KR4CXE -02
052100	-24	0.2	700 ~	K7CAR W9NG R-06
052100	-15	0.5	1404 ~	IK7YZB WA2CST -19
052100	-19	0.2	2329 ~	CQ F1TRF JN39 France
052100	-20	0.2	1565 ~	CE1KR DL3QC R-03
052100	-6	-0.3	1420 ~	W5RL F8MRQ JN17

Décodage d'une partie du spectre BF de la figure précédente

Dans l'exemple ci-dessus, le logiciel a décodé plus de 17 stations (la fenêtre d'affichage n'est pas assez haute pour afficher tous les messages reçus) dans la séquence débutant à 05 h 21minutes 00 seconde. Parmi ces stations,

- ✚ 5 stations lançaient appel : CQ35MD, K1BGH, R6OJ, II8IABJ et F1TRF.
- ✚ 3 stations ont répondu à des stations qui avaient lancé appel dans la trame précédente : YO3GNF appelle URSNOY, K8USN appelle F4EMM, F8RMQ appelle W5RL.
- ✚ 7 QSO sont en cours : SA7BYQ avec YO3YX, UT3UY avec YO160ITU, EA5RT avec Z68ZZ, KG5RPZ avec KR4CXE, K7CAR avec W9NG, IK7YZB avec WA2CST, CE1KR avec DL3QC.
- ✚ 3 QSO se terminent : G0KPH avec HA5DI, F4HRR avec HR4/PY8WW, UA6LTA avec YO160ITU.

La mise en œuvre de ces modes est détaillée dans la partie 2 de cet article.

73 à tous et bon trafic – Christian F6FTB.