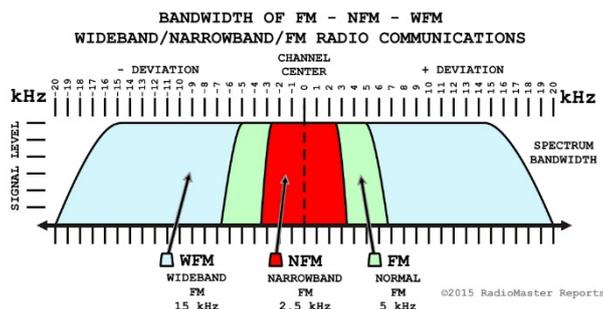


Passez en FM Narrow ! (La modulation FM, source de confusions !)

Le relais VHF du Radio Club a été basculé en modulation 11K0F3E. Il s'agit de la position "FM Narrow" sur vos postes. Donc la déviation FM passe de +/- 5 kHz à +/- 2.5 kHz. La bande passante audio reste inchangée à 3 kHz, ce qui donne une bande passante RF qui passe de 16 kHz à 11 kHz (avec une bonne approximation parce que la déviation est petite relativement à la fréquence centrale).

Il est donc conseillé de passer en "FM Narrow" sur vos postes. Sur certains postes, le réglage est bien caché voir peu intuitif, il faudra éventuellement plonger dans le manuel, voir régler en interne ou modifier le poste pour les modèles anciens ou très anciens.



Attention, il y a deux conséquences directes si vous restez en modulation 16K0F3E, c'est à dire en "FM Wide" :

- Vous allez saturer le récepteur du relais sur les pointes de modulation, et donc votre audio sera retransmis avec de la distorsion, surtout si vous utilisez un compresseur audio (presque toujours intégré dans les émetteurs FM). C'est désagréable pour les écouteurs et induit possiblement une perte d'intelligibilité.
- Vous aurez possiblement un niveau audio trop faible en réception.

Pourquoi cette modification ?

Pour rappel la modulation "FM Narrow" a été mise en place pour accompagner le passage de canaux à espacement de 25 kHz vers ceux à espacement de 12.5 kHz. Il fallait donc réduire la bande passante RF des signaux FM à moins de 12.5 kHz pour éviter le chevauchement entre canaux sur des relais proches réglés sur des canaux adjacents, ou bien pour réduire les brouillages sur des relais plus lointain lors des jours de grande propagation VHF.

Quelles conséquences ?

La réduction de la déviation FM a principalement trois conséquences :

- Une meilleure immunité au bruit et aux interférences pour les faibles niveaux de réception.
- Une moins bonne immunité au bruit et aux interférences pour les forts niveaux de réception.
- Moins de probabilité d'être perturbé par d'autres signaux étant donné la bande passante plus étroite.

Quelques notes et précisions

La déviation FM est bien souvent la seule valeur indiquée dans les documentations des postes radio. Afin de lever un doute, pour avoir une idée de la bande passante RF utilisée, ou simplement pour bien comprendre le principe, il peut être utile de calculer la bande passante RF d'un signal FM analogique à partir de la déviation FM et de la largeur du spectre audio transmis. On pourra utiliser pour cela la règle de Carson* simplifiée, qui dit que la bande passante RF d'un signal analogique FM, pour une petite déviation relativement à la fréquence porteuse, est approximativement égale à deux fois la somme de la déviation FM et de la bande passante audio.

$$Rf = 2(\Delta f + Af)$$

Avec :

- Rf : bande passante radiofréquence en kHz
- Δf : déviation FM en kHz
- Af : bande passante du signal audio transmis en kHz

* La règle de Carson a été énoncée en 1922 par l'ingénieur d'AT&T John R. Carson

NB : la bande passante audio en FM est de nos jours toujours normalement égale à 3 kHz quel que soit la valeur de déviation FM utilisée, 5 ou 2.5 kHz. Notons que ce n'est pas toujours le cas : en FM broadcast par exemple la bande passante audio est de 15 kHz. Voir le [tableau 1](#) plus loin pour découvrir d'autres combinaisons possibles.

Attention à la valeur de la déviation qui est une excursion vers la gauche et vers la droite de la fréquence de la porteuse. Par exemple en "FM Narrow", elle est de +/- 2.5 kHz. On notera plus simplement 2.5 kHz. C'est cette dernière valeur qui doit être utilisée dans les calculs (on pourrait être tenté d'utiliser l'excursion totale qui est de 5 kHz !)

Pour résumer, les bandes passantes RF pour nos deux modulations FM sont approximativement :

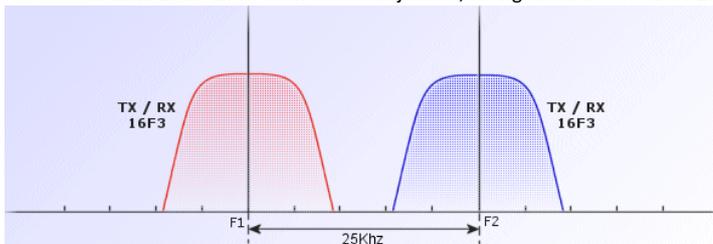
"FM Narrow" = $2 \times (2.5 + 3) = 11 \text{ kHz}$.

"FM Wide" = $2 \times (5 + 3) = 16 \text{ kHz}$.

Le chevauchement entre canaux adjacents

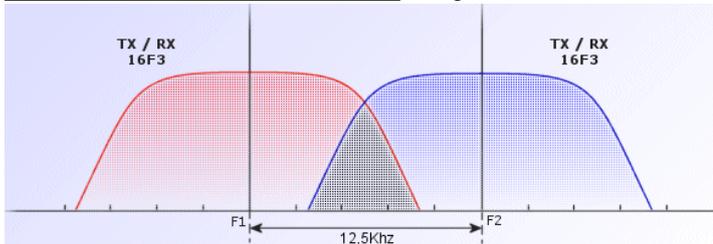
Ancienne norme avec espacement des canaux 25 kHz et modulation "FM Wide" :

Pas de chevauchement entre deux canaux adjacents, la largeur de bande RF de 16 kHz est suffisamment faible.



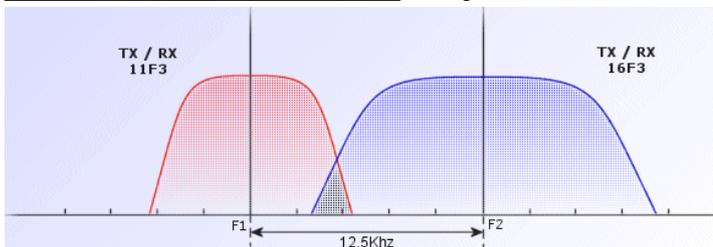
Nouvelle norme avec espacement des canaux 12.5 kHz et modulation "FM Wide" :

Chevauchement entre deux canaux adjacents, la largeur de bande RF de 16 kHz fait se chevaucher les deux canaux.



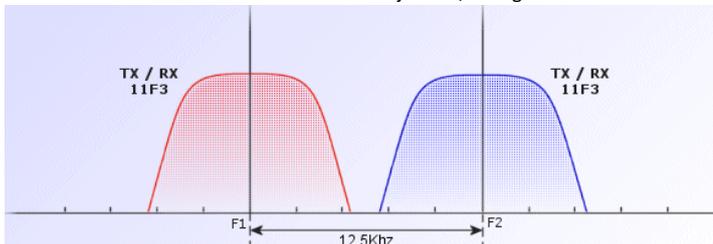
Nouvelle norme avec espacement des canaux 12.5 kHz et deux modulations, l'une en "FM Wide" et l'autre en "FM Narrow" :

Chevauchement entre deux canaux adjacents, les largeurs de bande RF de 11 et 16 kHz font se chevaucher les deux canaux.



Nouvelle norme avec espacement des canaux 12.5 kHz et modulations "FM Narrow" :

Pas de chevauchement entre deux canaux adjacents, la largeur de bande RF de 11 kHz est suffisamment faible.



Un peu d'histoire

Historiquement tous les domaines d'activité radio, que ce soit en aviation, en marine ou autres ont suivi l'évolution technologique et le besoin de plus de communications en proposant des canaux à espacement de plus en plus réduits et donc des modulations spectralement plus étroites pour éviter les chevauchements.

En aviation par exemple, sur la bande VHF (en AM), on a pu voir apparaître 5 paliers d'espacements, depuis les canaux à espacement de 200 kHz jusqu'en 1947, puis 100 kHz jusqu'en 1958, puis 50 kHz à partir de 1954. Finalement le 25 kHz est arrivé en 1972, suivi du 8.33 kHz à partir de 2007. Aujourd'hui il y a toujours 3 espacements en utilisation, dont le 50 kHz dans le bas de la bande pour les balises de navigation, et 25 kHz ou 8.33 kHz au-dessus pour la phonie.

Dans ce cadre historique et pluridisciplinaire, il est impossible de s'y retrouver avec les simples appellations "Wide" et "Narrow" d'aujourd'hui. Pour ajouter à cette confusion, d'un point de vue global en radio FM, il est généralement considéré qu'une bande passante RF supérieure à 40 kHz est du Wide (par exemple pour la radiodiffusion FM Broadcast), et du Narrow pour tout le reste. On voit également apparaître des modulations FM "Super Narrow". Suivant les époques et selon les domaines d'activités, les appellations Wide et Narrow peuvent donc représenter des valeurs très différentes et induire de la confusion.

A cela il faut ajouter les confusions possibles entre déviation FM et bande passante RF, valeurs qui ne sont pas du tout égales, ou entre espacement des canaux et largeur de bande RF, les deux n'étant liés que par la réglementation en vigueur, ou le bon sens et la bienséance.

Il est donc préférable pour clarifier les choses de donner un peu plus de détails sur la modulation utilisée, en utilisant par exemple les notations utilisées par l'UIT-R. Elles ne donnent pas la déviation FM ni la bande passante audio, mais au moins elles renseignent sur le critère déterminant pour éviter les chevauchements entre canaux : la bande passante RF, qui est indiquée par le nombre avant le F :

11K0F3E (Narrow FM, bande passante RF 11 kHz, déviation 2.5 kHz)

16K0F3E (Wide FM, bande passante RF 16 kHz, déviation 5 kHz)

Ces deux premières modulations ont une bande passante audio identique de 3 kHz.

Et pour mémoire, une plus ancienne modulation FM :

20K0F3E (déviation 5 kHz, bande passante audio 5 kHz)

Tableau 1, quelques exemples d'espacements de canaux avec le détail des modulations FM adaptées en largeur :

Espacement des canaux (kHz)	Bande passante Rf (kHz)	Bande passante audio Af (kHz)	Déviation FM Δf (\pm kHz)
5	4.8	1.7	0.7
6.25	6	2.1	0.9
7.5	7.2	2.5	1.1
8.33	8	2.8	1.2
12.5	11	3	2.5
25	16	3	5
40	36	9	9

Un peu plus de précision – mise en garde

La règle de Carson comme indiqué précédemment est une approximation de la largeur de bande réelle d'un signal modulé en fréquence. Selon le type de signal modulant, sinusoïdal ou complexe, 2% ou plus de la puissance se situe en dehors de la limite calculée. Sans filtrage à l'émission, le spectre complet d'une modulation FM est même théoriquement infiniment large contrairement à celui d'une modulation AM qui se limite à deux fois la largeur du spectre audio. Elle sous-estime donc en général la largeur de bande réelle. Si elle peut être utilisé raisonnablement pour des applications de phonie amateur, il n'en va pas forcément de même pour d'autres applications.

Modulation de fréquence ou modulation de phase ?

Ces deux modulations sont très proches mais non identiques : la déviation instantanée d'un signal en modulation de fréquence est seulement proportionnelle aux changements d'amplitude du signal modulant, alors qu'en modulation de phase elle est proportionnelle à sa pente, donc à la combinaison de ses changements d'amplitude et de fréquence. La transformation de l'une à l'autre modulation peut donc se faire avec un filtre audio à +/- 6dB/octave (un simple filtre RC), selon le sens de la conversion désirée. Mathématiquement, il s'agit d'une simple dérivée.

En réalité, tous les systèmes de transmission FM commerciaux et amateurs pour la phonie utilisent une préaccentuation de 6 dB/octave à l'émission et une désaccentuation opposée à la réception pour améliorer le rapport signal sur bruit, sur la totalité de la bande passante audio. Ils sont donc en fait techniquement des systèmes de transmission par modulation de phase et non pas par modulation de fréquence, même s'ils utilisent un circuit modulateur de fréquence ! D'où le second titre de ce document : La FM, source de confusions !

Par exemple en VHF marine, il est bien spécifié dans la norme une modulation de phase : 16K0G3E. C'est donc une modulation FM 16K0F3E à laquelle est ajoutée une préaccentuation de 6 dB/octave utilisant un filtre du 1er ordre. Commercialement, on parle de modulation de fréquence, en faisant abstraction de la préaccentuation. Techniquement et mathématiquement, c'est bien une modulation de phase.

L'appellation modulation de fréquence a peut-être été conservée parce que les circuits modulateurs de fréquences sont arrivés plus tard, avec une évolution technologique intéressante à mettre en avant sur le plan marketing. En effet, historiquement, l'absence de la disponibilité des diodes varicap a mené à l'utilisation des émetteurs à modulation de phase en premier lieu. Par la suite, les modulateurs de fréquence sont apparus, auxquels une préaccentuation de 6 dB/octave a été ajoutée pour assurer la compatibilité avec les systèmes à modulation de phase déjà existants.

Sauf exception, la modulation de fréquence FM est donc techniquement une modulation de phase PM, parce qu'une préaccentuation à l'émission et une désaccentuation à la réception est toujours présente dans les circuits FM ! In fine ces deux modulations sont très proches et font toutes deux parties de la famille des modulations d'angle.

La FM broadcast est une de ces exceptions, où la fréquence de coupure des filtres du 1er ordre est située dans la bande passante audio : leur constante de temps est de 50 μ S (Europe / Australie) ou 75 μ S (Amérique du Nord). Ils agissent donc à partir de 3183 Hz (50 μ S) ou 2122 Hz (75 μ S).

On peut dire que la modulation FM broadcast est mixte, FM dans le bas du spectre audio, et PM dans le haut du spectre.

Pour en savoir plus, quelques lectures

- Radio Frequency Modulation Made Easy, Springer International Publishing (2017), chapitre 3
- The ARRL Handbook for Radio Communications (2022), chapitre 11.3
- The issue of pre-emphasis, de-emphasis, clipping and repeater audio quality, Paul Sexauer K3VIX
- L'anglais pour les Nuls

Quiz

En PMR, quelle largeur de bande RF faut-il respecter ?

Réponse : espacement des canaux de 12.5 KHz, donc largeur de bande RF maximum = 12.5Khz. Donc FM Narrow !

Est-il possible en FM analogique (phonie, bande passante audio 3 kHz) d'utiliser un espacement des canaux de 6.25 kHz sans risques de chevauchement, avec une déviation FM de 1.25 kHz ?

Réponse : non, parce que la loi de Carson nous donne en première approximation une bande passante RF = 2 x (1.25 + 3) = 8.5 kHz

Quelle bande passante audio faut-il utiliser pour permettre l'utilisation de canaux à espacement de 6.25 kHz en FM analogique, sans risque de chevauchement, avec une déviation FM de 1.25 kHz ?

Réponse : il faut retourner la règle de Carson pour trouver la bande passante audio :

$$Rf = 2(\Delta f + Af) \quad \rightarrow \quad \frac{Rf}{2} = \Delta f + Af \quad \rightarrow \quad Af = \frac{Rf}{2} - \Delta f \quad \rightarrow \quad Af = \frac{6.25}{2} - 1.25$$

Donc bande passante audio maximum utilisable = 1.875 kHz

Comment limiter la déviation maximum en FM, et donc contenir la largeur de bande RF ?

Réponse : en utilisant un circuit limiteur pour écrêter la modulation à 100%. Ce limiteur est suivi d'un filtre passe bas pour limiter les harmoniques produites par l'écrêtage. Ces circuits sont toujours implémentés dans les émetteurs FM. De leur qualité dépend beaucoup la qualité audio finale.

Est-il possible de recevoir un signal en modulation de fréquence avec un récepteur en modulation de phase ?

Réponse : oui, mais le signal audio sera affecté d'une perte de niveau dans les aigues à raison de 6 dB/octave. Si l'émetteur FM est équipé d'une préaccentuation de 6dB/octave, le signal reçu sera normal.

Quelques exemples de modulations FM / PM

80K0F3E - military FM +/- 20 kHz deviation - 100 kHz channel steps - PRC-8, PRC-8A, PRC-9, PRC-9A, PRC-10, PRC-10A, SCR-300, etc.
75K0F3E - military FM - 100 kHz channel steps
60K0F3E - military FM +/- 15 kHz deviation - land mobile and fixed links high-HF and low-VHF 20-55 MHz 100 kHz channels
54K0F3E - wireless microphones VHF band (169-172 MHz and 174-216 MHz bands, 54 kHz bandwidth)
40K0F3E - military FM 10 kHz deviation - AN/VRC-12, AN/PRC-77 "WIDEBAND" mode for "X-mode" (see 36K0F1D and 40K0F1D)
36K0F3E - military FM 30-76 MHz/30-88 MHz 9 kHz FM deviation SINCGARS - VRC-12, PRC-25, PRC-68, PRC-77, etc. "36F3"
32K0F3E - military FM 30-88 MHz 8 kHz FM deviation SINCGARS
30K0F3E - military FM 30-88 MHz 7.5 kHz FM deviation SINCGARS
25K0F3E - 25 kHz wide LPRS 216-217 MHz wide band audio channels
24K0F3E - military FM 30-88 MHz 6 kHz FM deviation - "narrow band" on PRC-1177 25 kHz step version of PRC-77 (normally 50 kHz steps)
20K0F3E - Regular 5 kHz deviation "wideband" FM voice - used for land mobile systems below 150 MHz, including VHF low band 25-50 MHz
20K0F3E - FM voice - amateur radio standard FM used 29 MHz and up - 25 kHz bandwidth (see also: 16K0F3E, 14K0F3E)
18K0F3E - FM voice - 4.5 kHz FM deviation (similar to 16K0F3E 4 kHz FM deviation and 20K0F3E 5 kHz FM deviation) - cf. HTX-202 and HTX-404
16K0F3E - military FM 30-88 MHz Datron HH7700, PRC1077 PRC-1077, PRC1060 PRC1080 25 kHz mode - "wide band FM" 25 kHz channel spacing
16K0F3E - 4 kHz deviation FM analog voice - 800/900 MHz bands, VHF marine, VHF/UHF ham radio - 20K "middle band" on many land mobile radios
16K0F3E - 25 kHz "25K" wide FM channel spacing +/- 5kHz deviation FM voice F3E mode - Alinco DR-135LH VHF low band export market radios
16K0G3E - 4 kHz deviation PM analog phase modulation voice (considered identical to FM or 16K0F3E emission - VHF marine band radios)
15K8F3E - MURS mobile radio (154.57 MHz and 154.6 MHz only) FM voice, considered functionally the same as 20K0F3E or 16K0F3E
15K6F3E - 25 kHz channel 25K wideband FM mode (20K or 25K mode) TYT TH-9000D in 25K bandwidth mode - listed as 16K0F3E
15K5F3E - GMRS mobile radio FM voice, considered functionally the same as 20K0F3E or 16K0F3E
14K1F3E - Baofeng and other Chinese handheld and mobile radios "middle band" or "20K" bandwidth - MURS, GMRS
14K0F3E - 3.5 kHz deviation FM voice, used on some FM CB equipment (see also: 10K0F3E, 11K0F3E, 12K5F3E, etc.)
14K0F3E - 20 kHz "20K" medium FM channel spacing +/- 4kHz deviation FM voice (per Alinco land mobile literature)
13K6F3E - 900 MHz SMR analog FM voice (Motorola Type II, etc.) 13.6 kHz bandwidth
12K5F3E - ITU designation for narrow band FM 12.5 kHz channel, 3.125 kHz deviation
12K0F3E - 3 kHz deviation, narrow FM voice - cf. HH7700, PRC1077, PRC1060, PRC1080 and other more modern military FM tactical radios
11K5F3E - Narrow mode or NFM on Alinco DR-138 VHF Part 90 land mobile radio
11K3F3E - 2.5 kHz deviation FM "narrowband 12.5 kHz" analog voice, 11.25 kHz occupied bandwidth
11K2F3E - Considered the same as 11K3F3E by the FCC
11K0F3E - military FM 30-88 MHz Datron HH7700 12.5 kHz bandwidth mode - "narrow band FM" 12.5 kHz channel spacing
11K0F3E - 12.5 kHz "12K" or 12.5K narrow FM channel spacing +/- 2.5kHz deviation FM voice (per Alinco land mobile literature)
11K0F3E - Considered the same as 11K3F3E by the FCC - 12K narrow band on many land mobile radios, GMRS, FRS, MURS, etc.
10K7F3E - Narrowband FM mode used by numerous FCC-approved Part 90/Part 95 handheld radios, 10.7 kHz bandwidth
10K6F3E - Portable GMRS walkie talkies (Baofeng) based on the UV-82 and UV-5R radios - 10.59 kHz bandwidth, called 11K0F3E by manufacturer
10K5F3E - Narrowband FM mode used by numerous FCC-approved Part 90/Part 95 handheld radios, 10.5 kHz bandwidth
10K4F3E - Narrow 12K mode (12.5 kHz mode) Midland 40 watt GMRS mobile, TYT TH-9000D in 12K bandwidth mode - listed as 11K0F3E
10K4F3E - Midland MXT400 emission on GMRS and FRS frequencies - modified version of TYT TH-9000D UHF mobile transceiver
10K4F3E - Narrowband FM mode used by numerous FCC-approved Part 90/Part 95 handheld radios, 10.4 kHz bandwidth
10K2F3E - Narrowband FM mode used by numerous FCC-approved Part 90/Part 95 handheld radios, 10.2 kHz bandwidth
10K0F3E - 10 kHz bandwidth FM - used on many European-spec FM CB radios, also export CB/11 meter equipment sold in USA FM mode
9K90F3E - Narrow FM voice, 9.9 kHz bandwidth - FRS wireless FM intercom systems NFM voice (compatible with 11K0F3E, 8K50F3E, etc.)
9K84F3E - Narrow FM voice, 9.84 kHz bandwidth - FRS wireless FM intercom systems NFM voice (compatible with 11K0F3E, 8K50F3E, etc.)
9K64F3E - Narrow FM, FRS walkie talkies
9K20F3E - Baofeng (and other Chinese radios) narrow FM mode (NFM mode or "NARR" deviation setting)
9K10F3E - Baofeng (and other Chinese radios) narrow FM mode (NFM mode or "NARR" deviation setting)
9K00F3E - FM mode on some modern CB radios (with FM mode capability, not legal bandwidth in USA per FCC rules)
8K50F3E - Narrow FM voice, FRS radios, 6 channel 7 channel 10 channel 20 channel wireless intercoms (using FRS frequencies)
8K50F3E - Narrow mode on Alinco VHF and UHF FM transceivers (NFM, compliant with 11K0F3E/11K3F3E NFM 2.5 kHz deviation systems)
8K00F3E - Narrow FM voice, 8 kHz bandwidth, wireless FRS intercoms and other two-way radios
8K00F3E - Widest FM voice mode bandwidth permitted on 27 MHz CB per FCC Part 95 regulations
7K50F3E - Super narrow FM voice, narrow FM (not compliant with 6 kHz or 6.25 kHz bandwidth requirements)
7K00F3E - Narrow FM, used on the 11 meter CB band where FM is legal on CB radio
6K00F3E - Super narrow FM voice, 6.25 kHz channel 6 kHz bandwidth
5K68F3E - Super narrow FM voice, 5.68 kHz bandwidth - Motorola FRS walkie talkies
5K20F3E - Super narrow FM voice, 5.2 kHz bandwidth - Motorola FRS walkie talkies
5K20F3E - Narrow FM Baofeng radios, Pofung, etc. UV-5R UV-5RA UV-5RE UV-6R UV-82 UV-82C UV-82HP BF-F8HP (super-narrow FM)
4K00F3E - 4 kHz wide LPRS 216-217 MHz narrow band audio channels
4K00F3E - Super narrow FM voice, used with NXDN or NEXEDGE systems