

# Comprendre les performances des récepteurs radio

Matthieu Cabellic F4BUC

f4buc@radioamateur.org

## 1. Introduction

Tout au long de cet article nous allons essayer de vous faire comprendre clairement et simplement l'origine des performances d'un transceiver.

Le but est de vous faire saisir quels sont les enjeux et les compromis techniques qui règnent au sein de votre transceiver et qui en font les qualités ou les défauts selon l'habileté et le savoir-faire dont a fait preuve le constructeur ou le réalisateur. Cet article se focalise plus particulièrement sur la partie réception.

Vous êtes de plus en plus nombreux à acheter un récepteur dans les grandes enseignes commerciales, mais avez-vous bien comparé les chiffres clefs afin de vérifier si tel ou tel récepteur est bien celui qui répond à vos besoins ? Les comparatifs de matériel que vous pouvez lire sont trop souvent de la sorte « nous avons trouvé ce récepteur plus sensible que celui-là ... la dynamique semble bonne... » et ne valent presque rien le plus souvent car trop vagues et trop peu précis sur les conditions réelles de test. Il est bien évident qu'avec une antenne Yagi vous trouverez votre chaîne de réception plus sensible qu'en utilisant une antenne boudin au ras du sol. Il faut savoir comparer les chiffres issus des spécifications et surtout des mesures faites soit par des radioamateurs, soit par des laboratoires externes indépendants en rapport avec les conditions réelles d'utilisation. Il faut aussi savoir se méfier des chiffres donnés dans les brochures commerciales qui masquent trop souvent l'essentiel.

La lecture de cet article suppose que le lecteur soit familier avec les notions de dB, dBc, dBm.

## 2. Les critères de qualification d'un récepteur

Nous allons nous focaliser sur les performances de la partie réception de nos transceivers car c'est elle qui joue encore aujourd'hui le plus grand rôle dans le cadre de nos communications amateurs. Cependant, la mesure des

performances en émission deviendra dans un proche avenir de plus en plus cruciale étant donné l'apparition de nombreux modes numériques qui s'avèrent de plus en plus sensibles à toutes les formes de distorsion dans les étages d'émission.

En réception, les critères à prendre en compte sont principalement la sensibilité, la dynamique, la sélectivité mais aussi la stabilité etc....

Ces paramètres permettent de juger les performances d'un récepteur vis à vis des dégradations qu'il apporte au signal utile mais aussi son comportement en présence de nombreux autres signaux présents sur la même bande et plus ou moins proches du signal utile.

Le pire cas correspond à un signal utile faible entouré de signaux proches très puissants.

Un récepteur idéal ne ferait que « prélever » le canal utile présent en sortie de l'antenne et le restituer tel quel (haut-parleur, démodulateur) en ne faisant que l'amplifier. Le bruit et

le signal utile du canal ( la bande de fréquence que nous souhaitons recevoir) seraient amplifiés de la même façon sans ajout de bruit supplémentaire. Le canal serait juste « translaté » vers une bande de fréquence avec un niveau permettant d'interpréter le signal utile (bande audio par exemple avec un niveau compatible avec la sensibilité de la perception auditive de l'oreille humaine) (Cf. Fig.1). Un traitement sur le signal utile est possible comme une CAG par exemple.

Le système de récepteur tel que nous allons l'analyser ici est l'interface entre les signaux HF captés par l'antenne et le système de démodulation, ce dernier possédant également ses propres performances. Pour un démodulateur numérique il pourra s'agir du taux d'erreur binaire en fonction du rapport signal sur bruit. Un « poste radio » peut être vu comme un ensemble regroupant les fonctions radio pures et de démodulation présentant à l'opérateur cette fois-ci l'in-

FIGURE 1

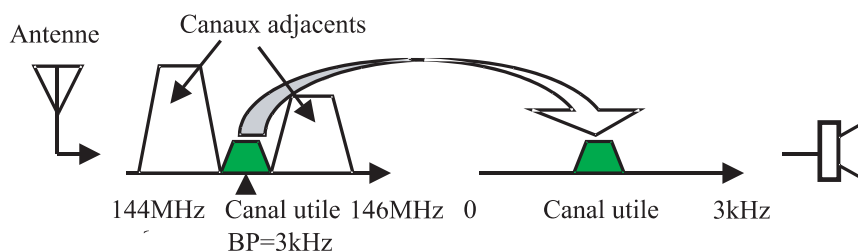
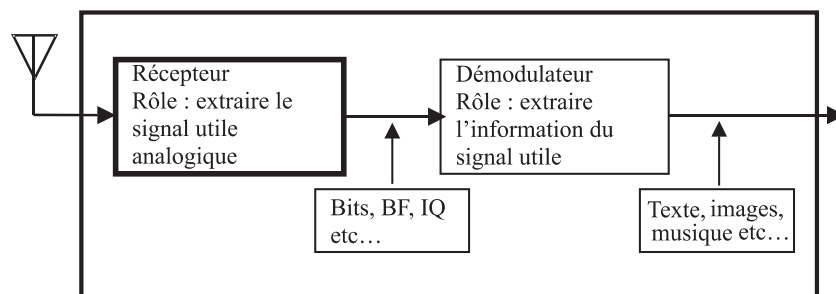


FIGURE 2



formation extraite du signal utile. Par exemple du texte, des images, de la voix etc...

Cet article traite de la partie des postes radio ayant pour fonction de filtrer, transposer le signal analogique capté par l'antenne.

Il faut aussi bien remarquer que nous ne pouvons pas faire de différence entre « analogique » et « numérique » pour distinguer ce qui est de ce qui n'est pas de la radio. En effet, aujourd'hui le traitement de signal numérique réalise les mêmes fonctions de mélange, filtrage FI que les classiques mélangeurs en anneaux et filtres LC. La seule chose qui change est la forme sous laquelle est représenté le signal, soit sous forme analogique soit sous forme numérique, les deux formes ayant leurs avantages et inconvénients respectifs (Cf. Fig.2).

Dans la suite de l'article, nous considérons le cas du récepteur classique à savoir le traditionnel récepteur phonie fonctionnant par gammes de fréquences sur les bandes décadiques et THF.

### La sensibilité

Nous définissons la sensibilité d'un récepteur par le niveau du signal d'entrée permettant d'obtenir un rapport signal sur bruit donné en sortie.

Le critère de rapport signal sur bruit diffère d'un mode à un autre.

Pour la BLU nous définissons souvent le « plus petit signal discernable » (MDS ou Minimum Discernable Signal en anglais) qui est le niveau d'une porteuse modulée par une sinusoïde appliquée en entrée du récepteur et qui produit un rapport signal sur bruit en sortie (audio) de 3 dB. Nous retrouvons aussi souvent des mesures de sensibilité données pour 10dB de rapport signal sur bruit audio correspondant cette fois à un signal compréhensible sans difficulté. Il est bien évident que dans la pra-

tique l'oreille de l'opérateur a toute son importance. En général un bon opérateur est capable de copier des signaux dont le niveau est inférieur à celui du bruit, surtout en télégraphie où certains opérateurs entraînés peuvent « sortir » des stations que vous ne soupçonneriez même pas. En fait l'oreille joue le rôle d'un filtre très sélectif qui a pour effet d'améliorer le rapport signal sur bruit perçu par l'opérateur.

Pour la FM, nous définissons le rapport SINAD (Signal over Noise And Distorsion), qui est le rapport entre le signal utile et le bruit plus les composantes de distorsion. En effet la démodulation FM n'est pas linéaire contrairement à la BLU car le démodulateur génère de la distorsion en plus du bruit blanc. Le critère de sensibilité retenu est le signal FM à appliquer en entrée du récepteur pour obtenir 12dB SINAD dans le cadre amateur, ou 20dB SINAD pour les équipements professionnels..

La valeur de la sensibilité est meilleure en utilisant une bande passante FI plus étroite car plus la bande passante est faible plus la puissance de bruit récupérée dans la bande est faible. Les opérateurs de télégraphie utilisent généralement des filtres plus étroits qu'en phonie. Les chiffres ne seront donc pas les mêmes. Cependant ces deux modes sont linéaires et très souvent démodulés de la même façon. Ainsi nous ne ferons pas de mesures séparées pour chaque mode mais une seule avec un filtre FI réglé à 500Hz. Cette mesure suffira car l'important est de pouvoir comparer entre deux récepteurs, une valeur absolue étant difficile à interpréter en elle-même.

### La dynamique

Nous pouvons définir simplement la dynamique comme le rapport entre le plus petit signal exploitable et le plus gros signal toléré par le récepteur.

Le plus petit signal exploitable est limité par le bruit d'origine thermique généré par les composants du récepteur. Le bruit capté par l'antenne n'entre pas en compte dans ce bruit. Il doit être traité comme une interférence extérieure venant corrompre le signal utile. La mesure de performance d'un récepteur doit se faire en laboratoire avec des sources de signal ne générant pas de bruit supérieur au plancher de bruit du récepteur.

Ainsi le plancher de bruit du récepteur impose la limite inférieure de la dynamique.

La limite supérieure de la dynamique est causée par du bruit et de la distorsion due à la présence de forts signaux dans le canal ou en dehors du canal utile.

Ces signaux sont appelés des interféreurs ou brouilleurs. Seuls les interféreurs hors canal doivent être pris en compte. En effet, il n'y a pas grand chose à faire contre un interféreur co-canal à part utiliser un notch ou changer de canal... Plusieurs cas de figure peuvent se produire :

➤ Un seul interféreur présente un niveau suffisamment important pour désensibiliser la réception du signal utile. Nous parlons alors de « blocage » et le paramètre mesuré est la dynamique de blocage (BDR ou Blocking Dynamic Range en Anglais).

Ce phénomène donne l'impression qu'une station puissante proche en fréquence « étouffe » le petit signal que vous cherchez à copier.

La valeur de blocage est le niveau (exprimé en dB) de l'interféreur par rapport au plancher de bruit à partir duquel le rapport signal sur bruit du signal reçu est diminué de 1dB (ou 6dB dans les milieux professionnels).

### Illustration des deux cas de blocage

Voici les deux phénomènes classiquement rencontrés dans les récepteurs liés à la présence d'un seul interféreur proche de la fréquence de réception.

- Saturation de l'étage d'entrée (Cf. Fig. 3): diminution du gain de l'étage d'entrée par compression et donc réception plus difficile des petits signaux. Cette désensibilisation ne dépend pas de la bande passante FI utilisée.

- Augmentation du plancher de bruit à cause du bruit de phase (Cf. Fig.4): L'explication précise de ce phénomène est donnée plus loin. Ce phénomène dépend directement de la bande passante FI utilisée et de la qualité de l'oscillateur local.

FIGURE 3

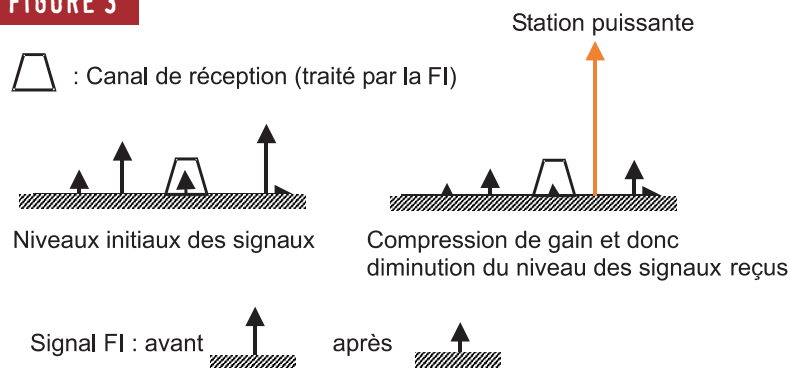


Illustration du blocage lié à la compression de gain

FIGURE 4

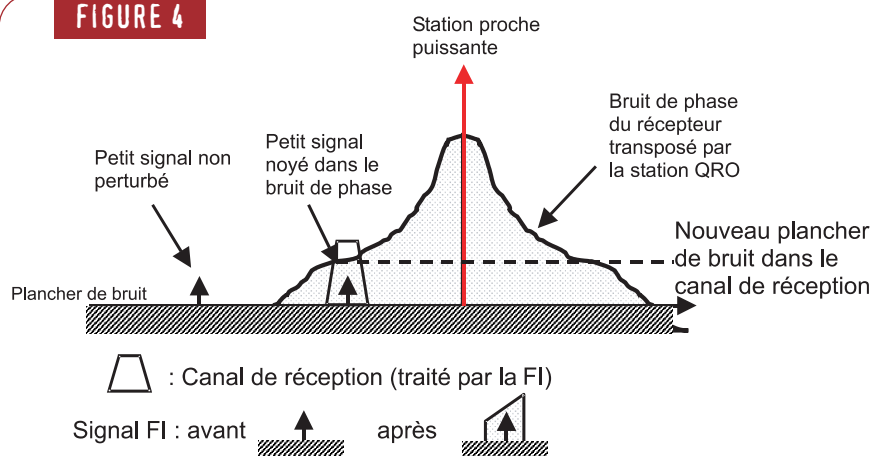


Illustration du blocage lié au bruit de phase

Si le phénomène d'augmentation du plancher de bruit (critère : augmentation de 1dB) apparaît avant la compression en niveau alors on dit que la mesure de BDR est "limitée en bruit", en anglais c'est la fameuse notation "nl" pour "noise limited".

Etre "nl" n'est pas forcément une mauvaise chose. Cela signifie que la dynamique du récepteur est limitée par le bruit de son oscillateur local. Ainsi les chiffres donnés sur le BDR peuvent sous-entendre soit une compression en niveau soit une limitation en bruit. Dans tous les cas le rapport signal sur bruit est dégradé de 1dB.

➔ Deux interféreurs de forte puissance génèrent à cause des non-linéarités du récepteur des produits de mélange tombant dans le canal utile. Nous parlons alors de phénomène d'intermodulation et nous définissons et mesurons le point d'interception d'ordre 3 en entrée et la dynamique d'intermodulation d'ordre 3.

« Ordre 3 » signifie que les raies de mélange sont des combinaisons de la forme  $2*f_1-f_2$  ou  $2*f_2-f_1$  ou  $2*f_1-f_2$  ou  $2*f_2-f_1$ ,  $f_1$  et  $f_2$  étant les fréquences des deux interféreurs. Les deux premières combinaisons génèrent des raies proches de  $f_1$  et  $f_2$  susceptibles de tomber dans le canal de réception. L'ordre 3 caractérise donc essentiellement l'effet produit par deux interféreurs dans la même bande.

Illustration pour la bande des 20m (Cf. Fig.5).

Ces produits de mélange sont très gênants car, en plus de la possibilité de se superposer au signal utile, leurs niveaux augmentent de 3dB pour seulement une augmentation de 1dB du niveau des deux interféreurs. La meilleure solution pour limiter l'apparition de l'intermodulation est donc d'atténuer en entrée du récepteur les signaux dont les caractéristiques sont insuffisantes.

Le point de compression d'ordre 3 en entrée (IIP3 ou Input Interception Point en anglais) est le niveau des deux interféreurs (de mêmes niveaux) qui générerait un battement d'ordre 3 atteignant le même niveau que le signal utile. Ce chiffre est un bon outil de comparaison entre récepteurs. Ce point est théorique car en pratique les étages d'entrée saturent et limitent donc les niveaux bien en dessous de ce point.

La dynamique d'intermodulation deux tons ou d'ordre 3 (IMD3 en anglais) est le niveau de deux interféreurs par rapport au plancher de bruit du récepteur tel que la raie d'ordre 3 arrive au même niveau que le bruit dans le canal de réception. La mesure de l'IMD3 est dépendante de la bande passante des étages FI.

Nous définissons également la dynamique d'intermodulation d'ordre 2 (IMD2) caractérisant la génération de produits d'intermodulation  $f_2-f_1$  ou  $f_1+f_2$  à partir de deux interféreurs en pratique éloignés dans deux bandes différentes. Par exemple une station puissante dans la bande des 20m et une autre station puissante dans la bande des 10m peuvent générer des raies parasites dans votre canal de réception sur 20m. De même, une station de radiodiffusion sur 6 MHz et une autre vers 8 MHz peuvent « fabriquer » une raie parasite sur  $8+6=14$  MHz.. Ainsi la dynamique d'intermodulation d'ordre 2 concerne surtout les récepteurs à couverture large à bas prix, (Cf. Fig.6) c'est-à-dire dont l'étage d'entrée capte un spectre très large vu l'absence de filtre d'entrée. De la même façon que l'IIP3 nous définissons un IP2.

FIGURE 5

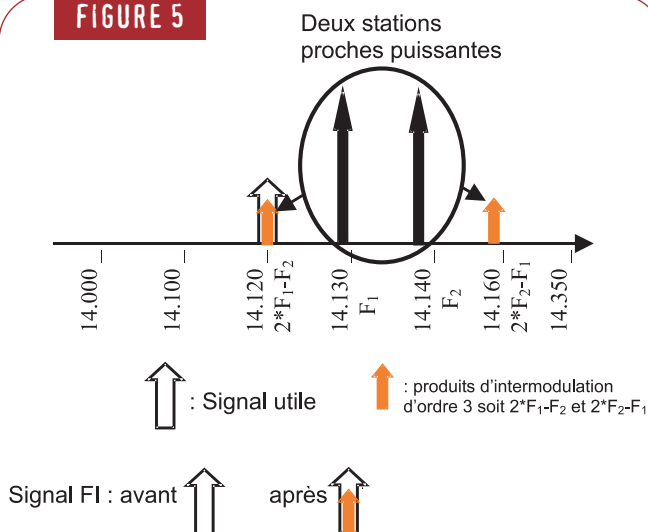


Illustration du phénomène d'intermodulation d'ordre 3

FIGURE 6

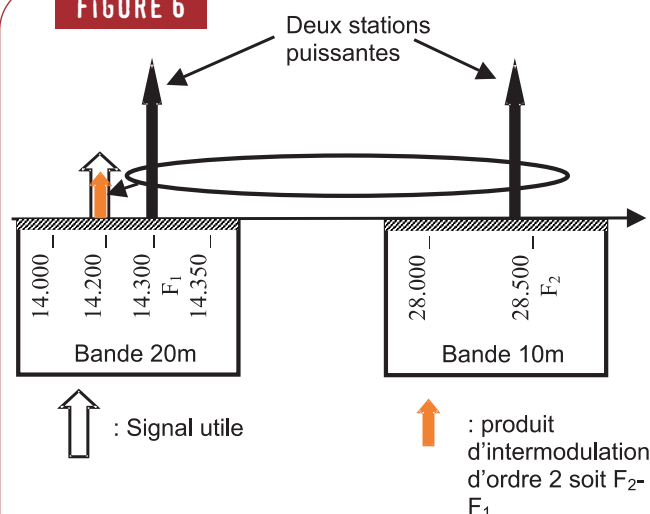


Illustration du phénomène d'intermodulation d'ordre 2



### 3. Comprendre l'origine des performances et la façon dont elles se dégradent

Un récepteur radio est, dans sa forme la plus répandue, de type superhétérodyne, c'est-à-dire que son principe de fonctionnement repose sur l'utilisation d'une transposition de fréquence du canal utile vers une bande de fréquence fixe intermédiaire (qui peut être la bande BF audio dans le cas d'une conversion directe). Cette fonction de transposition est effectuée par l'utilisation d'un mélangeur et d'un oscillateur local.

La bande de fréquence transposée est filtrée et traitée de diverses façons (CAG, Noise blanker etc...) afin que la démodulation puisse extraire le signal utile avec le meilleur rapport signal sur bruit (qui ne sera JAMAIS meilleur que le rapport signal sur bruit dans le canal au niveau de l'antenne).

Rajoutez à cela un préampli débrayable en tête de mélangeur et des filtres de bande puis des étages de traitement audio (ou vidéo...) et vous obtenez le récepteur type utilisé dans presque toutes les applications (Cf. Fig.7).

Chaque bloc élémentaire possède ses imperfections et comme chaque bloc est lié au suivant, une mauvaise performance sur un bloc dégrade aussitôt tout l'ensemble du récepteur.

#### Filtre de bande

Son rôle est de présélectionner la bande de réception afin d'éviter que des signaux puissants hors bande produisent des non-linéarités (IMD et Blocage) dans les étages suivants à savoir essentiellement le préamplificateur et le mélangeur.

Tout bon récepteur décimétrique possède obligatoirement un jeu de filtres de présélection de bande.

Le talon d'Achille est la commutation des différents filtres de bande. Si des diodes PIN sont utilisées elles peuvent produire des non-linéarités. C'est pour cela que dans le K2 d'Elecraft la commutation s'effectue par des relais mécaniques.

Dans les récepteurs VHF et UHF, en général on tolère bien une commutation par diode et même l'utilisation de diodes Varicap pour accorder le filtre car les signaux sont bien moins puissants que sur les bandes décimétriques.

#### Préamplificateur

Il s'agit d'un bloc qui peut être désactivé dans le cas d'un récepteur décimétrique et toujours présent dans les récepteurs THF.

Son rôle est d'amplifier le signal capté par l'antenne le plus tôt dans la chaîne afin de limiter la contribution en bruit du reste de la chaîne.

Avec le filtre de présélection, il fixe le plancher de bruit du récepteur.

Ce préamplificateur est caractérisé par son facteur de bruit, son gain et son point de compression d'ordre 2 et 3.

C'est un lieu privilégié ou règne de la non-linéarité, contribuant à la caractéristique d'intermodulation du récepteur et de blocage par compression de gain.

S'il est désactivé, le comportement non linéaire du récepteur sera de beaucoup amélioré.

L'utilisation du préamplificateur dégrade toujours l'intermodulation et le blocage, il faut donc savoir l'utiliser en connaissance de cause.

Pour un récepteur THF nous n'avons pas d'autre choix que de l'utiliser sinon la sensibilité est mauvaise.

En décimétrique le bruit dans les bandes capté par l'antenne est bien plus important que le bruit propre du récepteur (parasites, QRN, QRM etc...). Le préamplificateur ne fixera donc en pratique jamais le plancher de bruit. Par contre c'est l'inverse sur les bandes THF.

Dans tous les cas, pour les mesures, nous sommes bien obligés de considérer le plancher de bruit du récepteur tout seul, et nous travaillons avec des générateurs de laboratoire dont le plancher de bruit est alors très bas.

#### Mélangeur

Tout comme le préamplificateur, le mélangeur est caractérisé par son point d'interception. Il est aussi caractérisé par sa perte de conversion, l'isolation entre les entrées RF, OL et FI.

#### Oscillateur local

L'oscillateur local joue un rôle aussi important que tout le reste de la chaîne. L'imperfection principale d'un oscillateur local est son instabilité à court terme appelée bruit de phase.

Le bruit de phase représente l'instabilité de la phase du signal. Un signal parfait issu d'un oscillateur est une sinusoïde parfaite dont la phase reste constante avec la fréquence (Cf. Fig.8).  $U(t) = \sin(2\pi f_c t + \phi(t))$

Un signal réel possède des fluctuations de la phase au cours du temps.

Ces fluctuations se traduisent sur le spectre par l'apparition de bandes latérales de bruit dont le niveau relatif par rapport à la raie principale est plus ou moins important selon l'amplitude de ces fluctuations (Cf. Fig.9).

Les figures suivantes (Cf. Fig.10) sont une illustration pour l'IC-746, montrant le bruit de phase pour les bandes 14MHz et 144MHz. Le bruit de phase a tendance à se dégrader avec la fréquence.

Le bruit de phase est mesuré en dBc/Hz c'est à dire la valeur relative de la puissance de bruit dans une bande passante de 1Hz par rapport au niveau de la porteuse.

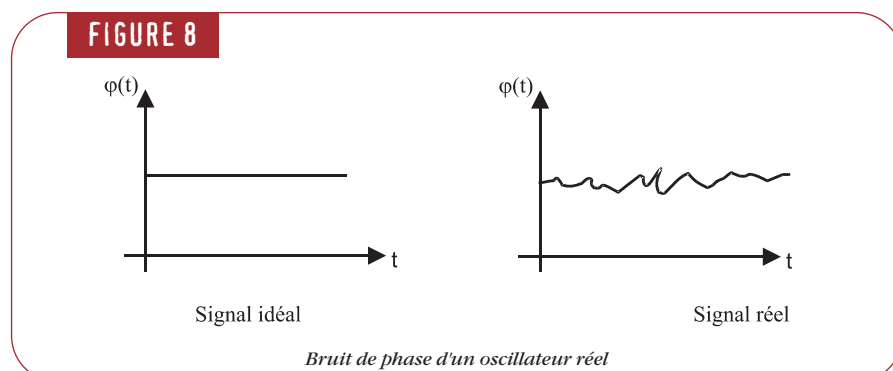
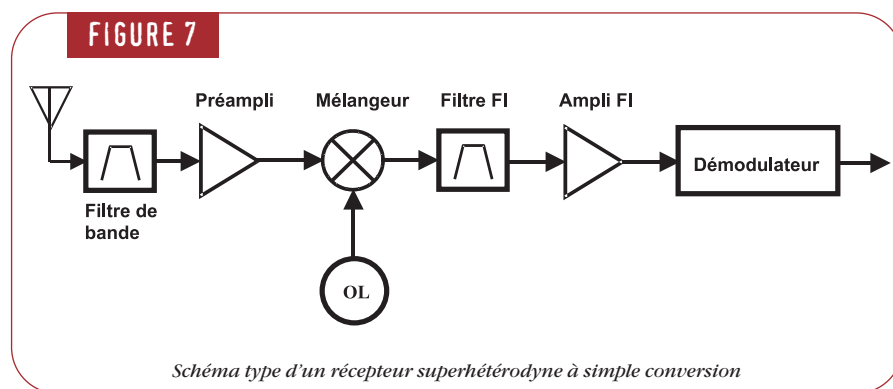
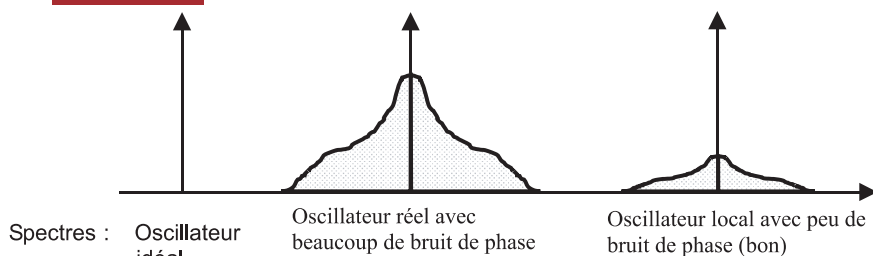
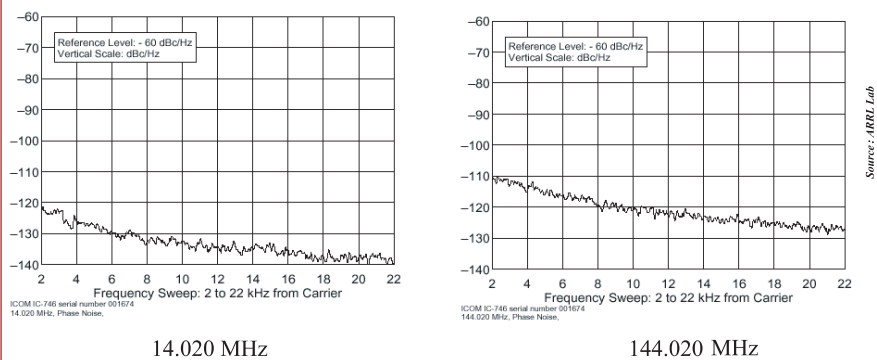


FIGURE 9



Comparaison des spectres avec ou sans bruit de phase

FIGURE 10



Bruit de phase de l'IC-746 sur 14MHz et 144MHz

Le bruit de phase masque aussi assez souvent les produits d'intermodulation, venant compliquer les mesures. C'est la fameuse mention « nl » pour « noise limited » que nous retrouvons dans les divers rapports de mesure.

En émission nous retrouvons le même phénomène. Le bruit de phase se retrouve transposé sur la porteuse émise par l'antenne. Ainsi, si un récepteur se trouve à proximité de votre émetteur, l'opérateur notera une remontée du bruit en se rapprochant de votre fréquence et le cas échéant pourra être brouillé. Ceci concerne aussi bien les bandes décimétriques que les bandes THF. Ce cas de brouillage est typiquement un problème de co-site.

Le récepteur, bien sûr, ajoutera son propre bruit de phase, de telle sorte que dans la réalité deux bruits de phase s'additionnent : celui de l'émetteur et celui du récepteur.

Aujourd'hui le bruit de phase est un paramètre très important, et un bon récepteur est celui dont l'oscillateur local a été soigné par le constructeur (ce qui n'est pas toujours le cas malheureusement).

## Notion fondamentale de mélange réciproque

L'oscillateur local sert à générer le signal de pompe du mélangeur et permet ainsi de transposer le canal de réception vers le canal FI. Cependant, durant cette transposition, l'oscillateur local ajoute ses imperfections, c'est-à-dire essentiellement son bruit de phase au signal utile. Nous parlons alors de mélange réciproque car mathématiquement tout se passe comme si nous ajoutions le bruit de phase au signal utile avant mélange et que nous le transposions vers la FI à l'aide d'un oscillateur local parfait (c'est-à-dire sans bruit de phase) (Cf. Fig.11).

Cette notion est très utile car elle permet d'interpréter plus facilement le rôle de l'oscillateur local en ramenant son effet avant le mélangeur et en considérant la fonction de transposition comme parfaite. A chaque fréquence en entrée du mélangeur il faut ajouter le bruit de phase de l'oscillateur local en gardant la proportion vis-à-vis du niveau car le bruit de phase est toujours relatif au niveau de la porteuse (Cf. Fig.12).

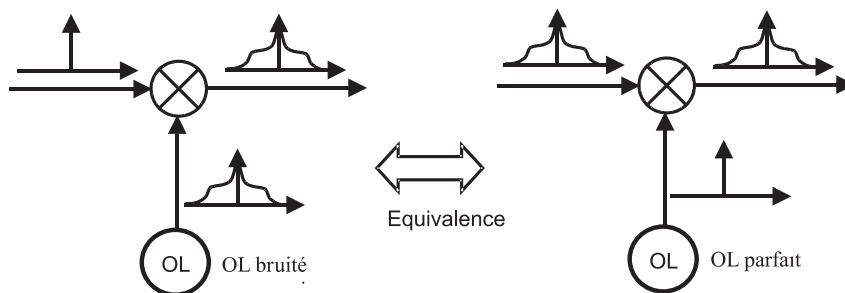
Par le mélange réciproque, cet étalement de bruit autour des différentes porteuses est très souvent à l'origine du blocage. L'illustration graphique

est donnée dans le premier chapitre de l'article figure 4. Ce phénomène est fréquent pour les récepteurs récents dont la linéarité des étages d'entrée a été énormément améliorée. Pour les vieux récepteurs c'est plutôt le contraire, les étages d'entrée saturant avant que le bruit de phase ne fasse son effet.

## Filtrage FI

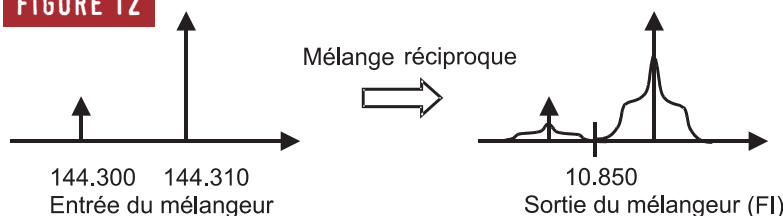
Le filtrage FI n'est pas parfait et son manque de sélectivité est à l'origine de la dégradation de la dynamique en fonction de l'écart entre la fréquence du canal utile et celle de l'interféréur proche. En effet, les performances mesurées d'un récepteur en terme d'intermodulation et de blocage ne

FIGURE 11



Principe du mélange réciproque

FIGURE 12



Effet du mélange réciproque

sont pas constantes mais se dégradent au fur et à mesure que les signaux interféreurs se rapprochent du canal utile. En général, les relevés de mesure d'un récepteur amateur sont faits pour un écart signal utile-interfereur assez grand, c'est à dire 20kHz au moins. Mais si vous diminuez cet écart à 5kHz par exemple de façon à se rapprocher des conditions réelles d'utilisation, vous en êtes quitte pour une belle surprise car vous mesurerez alors des performances moins bonnes voire beaucoup moins bonnes.

Ce phénomène doit être bien présent à l'esprit et constitue un critère important permettant de comparer un récepteur à un autre.

Pour expliquer clairement le phénomène, partons d'un schéma type à deux FI, avec première FI large (Cf. Fig.13).

La première FI est en général assez large. Par conséquent de nombreux interféreurs ne seront que peu filtrés par rapport au signal utile. Ils attaqueront le deuxième mélangeur avec des niveaux suffisant pour créer à nouveau des produits d'intermodulation venant se rajouter à ceux générés par le premier étage. Le second étage FI ne pourra alors plus rien faire pour les éliminer (Cf. Fig.14).

Le phénomène est le même pour le deuxième étage FI mais comme le filtrage est bien plus sélectif, les interféreurs se retrouveront rejetés à des niveaux beaucoup plus faibles et donc inoffensifs.

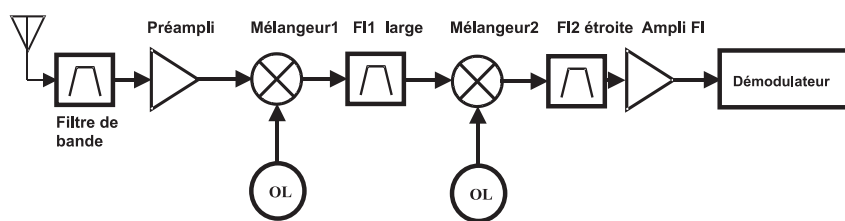
La dégradation de l'IMD est donc liée au défaut de sélectivité des filtres de la chaîne FI.

Afin de réaliser un bon récepteur, il est donc important de se limiter si possible à un seul étage FI et de placer un filtre possédant des flancs raides juste après le mélangeur.

Que l'on ne s'y trompe pas : beaucoup de récepteurs possèdent deux FI avec classiquement une première à 8.2MHz et une deuxième à 455kHz. En fait la première FI est la « réelle » FI car c'est elle qui filtre le canal (avec un filtre à quartz à flancs raides), la deuxième étant en général utilisée pour limiter le bruit à large bande généré par la première ou pour peaufiner le filtrage avec un filtre mécanique par exemple et harmoniser le plan de fréquence du récepteur. L'utilisation d'un filtre large en première FI est donc pénalisant.

Quant au blocage, il se dégrade de la même façon. L'explication est que plus l'interfereur se rapproche de la fréquence utile, plus le canal de

FIGURE 13



Architecture à double conversion

FIGURE 14

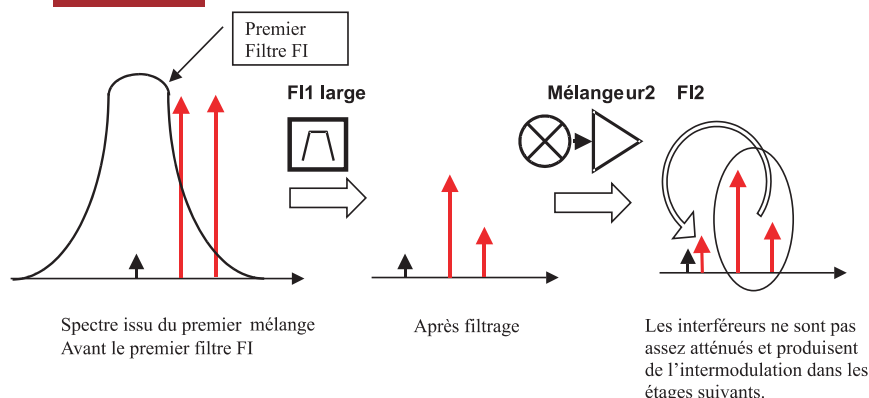
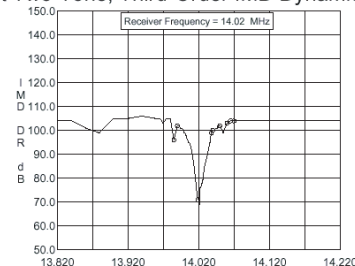


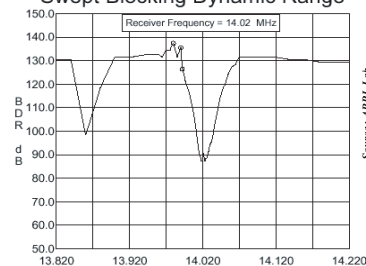
Illustration de l'intermodulation apportée par le premier étage

FIGURE 15

Swept Two-Tone, Third-Order IMD Dynamic Range

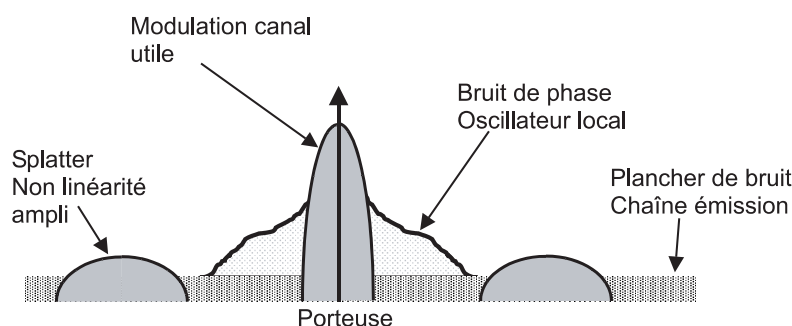


Swept Blocking Dynamic Range



Evolution de l'IMD et du blocage en fonction de l'écart à la fréquence de réception

FIGURE 16



Les différentes contributions à la dégradation du spectre d'émission



réception capte du bruit de phase par le phénomène de mélange réciproque (Cf courbes de mesures de l'IC-746).

La fonction classique « IF shift » dégrade aussi l'intermodulation et le blocage car en se décalant le filtre FI va venir ramasser plus de signaux indésirables éloignés du canal utile.

Les deux figures suivantes (Cf. Fig.15) illustrent le cas de l'IC-746. L'abscisse représente la fréquence des interféreurs. Nous voyons que les dégradations ne sont presque plus visibles à partir de 30kHz d'écart.

Ces deux mesures prouvent donc que tout dépend des conditions de mesures : un récepteur peut être excellent pour des interféreurs distants de 30kHz de la fréquence de réception mais ne valoir plus grand chose pour des écarts de 5kHz rencontrés couramment en trafic réel...

### Transmission

Bien que ce ne soit pas la vocation de cet article, nous allons donner quelques notions importantes concernant la partie émission.

En émission, les paramètres les plus contraignants concernent l'émission de rayonnements non essentiels en dehors du canal d'utilisation.

Outre les raies parasites comme les harmoniques et le splatter, il faut considérer attentivement le plancher de bruit en sortie de l'émetteur et donc la puissance de bruit émise dans les canaux adjacents.

Le bruit de phase va contribuer au blocage du côté de la station qui écoute dans un canal proche du vôtre à condition que vos signaux soient reçus puissamment sur son antenne de réception.

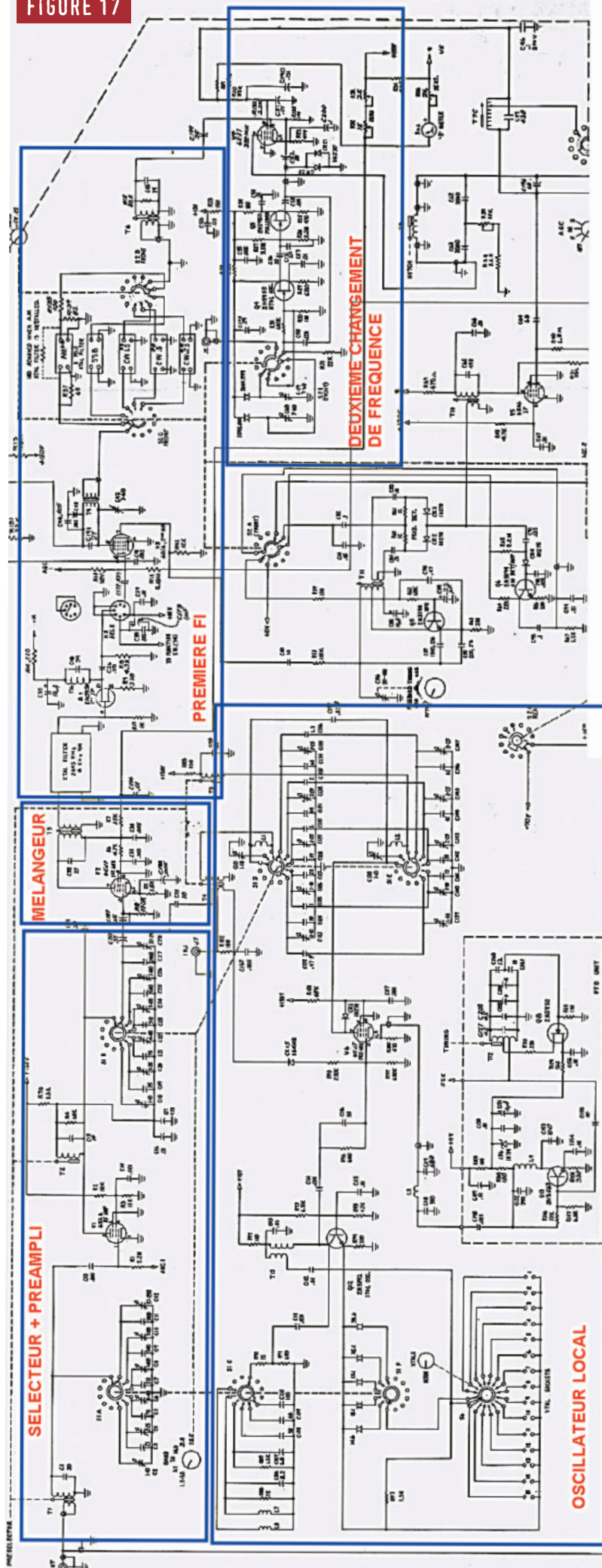
Le plancher de bruit quant à lui joue surtout un rôle en trafic local dans le cas où plusieurs stations se situent dans la même zone géographique. Si le bruit capté par le récepteur est supérieur à son propre plancher de bruit, alors le récepteur est désensibilisé. Ce cas est vrai aussi bien sur bande décimétrique qu'en THF. Nous parlons alors de brouillage co-site.

Ces phénomènes sont typiquement rencontrés en concours.

Il est donc important de souligner que tout un chacun doit être attentif à la qualité de son émission sinon il serait vain de concevoir les meilleurs récepteurs du monde.

La figure 16 montre les différents types de rayonnements non essentiels en émission avec leurs diverses origines.

FIGURE 17



Exemple sur le schéma du DRAKE R-4C

## Règles de design des bons récepteurs

Si vous voulez réaliser un excellent récepteur, voici une série de conseils utiles :

1. Utiliser un filtre par bande et éviter le concept de couverture générale
2. Utiliser une commutation mécanique des filtres de bande en décimétrique
3. Placer un filtre variable avant tout préamplificateur et prévoir un atténuateur commutable
4. Utiliser un mélangeur de grande dynamique
5. Concevoir un oscillateur local très pur : éviter les oscillateurs large bande avec PLL, favoriser l'utilisation d'un oscillateur par bande (type VCXO par ex).
6. Placer un filtre FI avec le meilleur facteur de forme possible juste après le mélangeur
7. L'AGC doit être prise sur la FI et non la BF

Ces conseils ne sont pas nouveaux et certains concepteurs comme Elecraft et Ten Tec sont revenus à ces règles de base par rapport à des architectures multi-FI et les appliquent maintenant systématiquement sur leurs nouveaux transceivers ; il suffit de jeter un œil sur leurs performances ! Un bon récepteur n'est pas un récepteur compliqué mais celui dont chaque sous-ensemble est parfaitement bien conçu.

### Exemple d'analyse d'un récepteur : le DRAKE R-4C

Nous avons simplement repris le schéma du fameux DRAKE R-4C pour en faire un exemple d'analyse. Plus loin vous pourrez constater les performances étonnantes que l'on peut en attendre moyennant certaines modifications.

Le schéma de la figure 17 montre les principales sous-fonctions.

Malgré la technologie ancienne utilisée, ce schéma possède de nombreuses qualités.

#### Présélecteur + préampli de tête

Notez l'emploi d'un circuit accordable avant le premier tube. La commutation des gammes se fait par un commutateur à galettes. L'emploi d'un tube assure une bonne linéarité. Le filtrage est ensuite complété par un autre filtre accordable similaire à commutation de gamme avant d'attaquer le mélangeur. Grâce à ces filtres, ce préampli de tête possède toutes les qualités pour résister à l'intermodulation.

#### Première FI

Nous trouvons immédiatement après le mélangeur un premier filtre FI à quartz étroit de 8kHz de bande pas-

sante. Ce design garantit une faible dégradation de l'intermodulation (Cf tableau) pour des interférences très proches.

Suivant ce filtre nous trouvons un étage d'amplification mixte transistor/tube puis une batterie de filtres à quartz produisant la sélectivité du récepteur (SSB, CW...).

#### Oscillateur local

Le design de cet oscillateur local est basé sur l'emploi d'un oscillateur accordable transposé en fréquence par un autre oscillateur commuté par gammes obtenues par une batterie de quartz.

Ce design offre un très bon bruit de phase puisque les oscillateurs à quartz sont très purs et l'oscillateur variable étant de faible excursion est donc à faible bruit de phase également.

Notez le soin apporté au filtrage avant d'attaquer le mélangeur.

Ce design rassemble donc tous les atouts pour obtenir une excellente chaîne de réception.

Le défaut connu de ce DRAKE est la mauvaise performance du deuxième mélangeur, venant gâcher la qualité de l'ensemble.

## 4. Valeurs repères

Nous allons donner les valeurs typiquement acceptables pour les récepteurs modernes sur bandes décimétriques. Le but est de donner des valeurs repères ou tout du moins des ordres de grandeur.

#### Sensibilité (MDS) :

Avec préampli ON : -130dBm sont suffisants, sachant que le bruit (QRM, QRN) sur ces bandes est au-dessus (voire parfois pour les bandes basses très largement au-dessus) de cette valeur.

#### Dynamique d'intermodulation d'ordre 3 (IMD3) :

Avec préampli OFF et un espacement de 20kHz, un IMD3 de 95dB ou plus est jugé excellent.

#### IP3 et IP2 :

Avec préampli OFF, un IP3 de 15dBm est bon et 20dBm excellent.

Avec préampli OFF, un IP2 de 55dBm est bon et 70dBm excellent.

#### Dynamique de blocage (BDR) :

Avec préampli OFF et un espacement de 20kHz, un BDR de 120dBm est bon et 130dBm excellent.

#### Bruit de phase :

Une bonne valeur est -120dBc/Hz à +10kHz d'offset.

## 5. Comment comparer différents récepteurs

Passons à la pratique. L'auteur a essayé dans ce chapitre de regrouper et synthétiser des mesures faites en laboratoires sur les équipements THF et décimétriques parmi les plus connus dans le monde amateur. Il est malheureusement impossible de recopier dans chaque tableau exactement la même liste de transceivers vu la variété des sources de documentation souvent incomplètes. Il s'agit de transceivers pour la plus part assez récents. La liste n'a pas pour but d'être exhaustive, ainsi le lecteur est invité à se documenter pour trouver les résultats de mesure pour d'autres transceivers.

Les bancs de mesures les plus complets sont effectués par le laboratoire de l'ARRL qui dispose d'une procédure de test rigoureuse appliquée à chaque test. Les résultats de mesures publiés de temps en temps dans Radcomm (RSGB) et dans la revue du DARC font aussi partie des valeurs "sûres".

### Précision importante sur le protocole de mesure

Les résultats donnés dans la suite de l'article ont été obtenus en utilisant une bande passante FI de 500Hz (ou très proche de cette valeur). En effet, comme les mesures de MDS, BDR et IMD3 sont affectées par la bande passante, il a fallu choisir une bande passante standard. Cela suppose que les transceivers testés disposent de la possibilité d'installer ces filtres FI. Ce n'est pas le cas par exemple pour le FT-290R.

Dans ce cas il faut mesurer des paramètres indépendants de la bande passante FI dont les équivalents sont

MDS -> Facteur de bruit

IMD3 -> point de compression d'ordre 3 (IP3)

BDR -> pas d'équivalent si mesure en "nl"

### Comparaison entre trois récepteurs THF

Nous nous mettons maintenant à la place de l'OM désireux de comparer un transceiver THF couvrant les deux bandes VHF et UHF. Dans le tableau ci-dessous nous donnons les performances pour les trois « incontournables » c'est à dire le TS-790E de Kenwood, le IC-821H de ICOM et le FT736R de Yaesu.

D'autres informations intéressantes sont données comme la date de première mise sur le marché permettant de dater la technologie utilisée.

Le choix d'achat sera le meilleur com-



tableau 1

|   |   | Unité                     | TS-790E                  | IC-821H                            | FT-736R                |
|---|---|---------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Modes   | CW/FM/LSB/USB                             |                           | oui                      | oui                                | oui                    |
| Sensibilité SSB et CW (500 Hz filtre FI) MDS  | 144 MHz<br>432 MHz<br>1296 MHz            | dBm<br>dBm<br>dBm         | -143<br>-142<br>-142     | -144<br>-143<br>NA                 | -140,5<br>-141,5<br>-  |
| Sensibilité FM pour 12 dB SINAD   | 144 MHz<br>432 MHz                        | µV<br>µV                  | 0,12<br>0,12             | 0,12<br>0,14                       | 0,15<br>0,15           |
| Sensibilité minimale du Squelch   | 144 MHz<br>432 MHz                        | µV<br>µV                  | 0,2<br>0,35              | -<br>-                             | 0,06<br>0,1            |
| Sensibilité maximale du Squelch   | 144 MHz<br>432 MHz                        | µV<br>µV                  | 0,04<br>0,1              | -<br>-                             | 0,6<br>0,7             |
| Dynamique de Blocage (500Hz filtre FI) BDR (20 kHz d'espacement)  | 144 MHz<br>432 MHz                        | dB<br>dB                  | 126<br>111               | 100<br>114                         | 125,5<br>74,5          |
| Dynamique d'intermodulation d'ordre 3 IMD3 (20kHz entre les 2 tons, premier ton à 20kHz du canal utile ; 500Hz filtre FI) | 144 MHz<br>432 MHz                        | dB<br>dB                  | 79<br>81                 | 84<br>87                           | 77,5<br>64,5           |
| Point d'interception du troisième ordre en entrée (ou IIP3) (20 kHz d'espacement)   | 144 MHz<br>432 MHz                        | dBm<br>dBm                | -24,5<br>-20,5           | -8,2<br>-13,5                      | -24<br>-44             |
| Réglage du S-mètre pour « S9 »  | 144 MHz<br>432 MHz                        | µV<br>µV                  | 4,5<br>7,5               | 5<br>4                             | 4,4<br>5,2             |
| Puissance de sortie minimum CW  | 144 MHz<br>432 MHz                        | W<br>W                    | 4,4<br>4                 | 5<br>4                             | -<br>-                 |
| Puissance de sortie maximum CW  | 144 MHz<br>432 MHz<br>1296 MHz            | W<br>W<br>W               | 50<br>44<br>11           | 46<br>42<br>NA                     | 23,7<br>22<br>9,1      |
| Puissance de sortie minimum FM  | 144 MHz<br>432 MHz                        | W<br>W                    | 4,2<br>4                 | 5<br>4                             | -<br>-                 |
| Puissance de sortie maximum FM  | 144 MHz<br>432 MHz<br>1296 MHz            | W<br>W<br>W               | 48<br>44<br>11           | 46<br>42<br>NA                     | 26,9<br>25<br>10,3     |
| Puissance de sortie minimum SSB (PEP)   | 144 MHz<br>432 MHz<br>1296 MHz            | W<br>W<br>W               | 3,2<br>3,2<br>1,1        | 4<br>4<br>NA                       | -<br>-<br>-            |
| Puissance de sortie maximum SSB (PEP)   | 144 MHz<br>432 MHz<br>1296 MHz            | W<br>W<br>W               | 37<br>35<br>11           | 36<br>32<br>NA                     | 26,1<br>22<br>9,6      |
| Réjection des parasites et harmoniques (Rayonnement non essentiel)  | 144 MHz<br>432 MHz<br>1296 MHz            | dBc<br>dBc<br>dBc         | -60<br>-60<br>-50        | -60<br>-60<br>-                    | -60<br>-60<br>-        |
| Niveaux des produits d'intermodulation d'ordre 3 (Max power, 2kHz tones)  | 144 MHz<br>432 MHz<br>1296 MHz            | dBc<br>dBc<br>dBc         | -30<br>-32<br>-25        | -31<br>-<br>NA                     | -22<br>-<br>-30        |
| Niveaux des produits d'intermodulation d'ordre 5 (Max power, 2kHz tones)  | 144 MHz<br>432 MHz<br>1296 MHz            | dB<br>dB<br>dB            | -40<br>-43<br>-40        | -45<br>-<br>NA                     | -30<br>-<br>-42        |
| Courant consommé sous 13,8V   | RX<br>TX                                  | A<br>A                    | 2,2<br>13                | 2,5<br>16                          | 1,5<br>8               |
| Puissance audio pour 10% de Taux de Distorsion Bande passante FI  | Power<br>CW-N<br>CW-W<br>USB<br>LSB       | W<br>Hz<br>Hz<br>Hz<br>Hz | 1,8<br>-<br>-<br>-<br>-  | 2,8<br>546<br>2419<br>2385<br>2430 | 2<br>-<br>-<br>-<br>-  |
| Encombrement et poids (IC-821H ne possède pas d'alimentation secteur Incorporé)   | Largeur<br>Hauteur<br>Profondeur<br>Poids | mm<br>mm<br>mm<br>kg      | 343<br>135<br>368<br>9,2 | 241<br>94<br>239<br>5              | 368<br>129<br>286<br>9 |

tableau 2

|            | TS-790E  | IC-821H                                    | FT-736R                                    |
|------------|--|--|--|
| Numérique  | Compatibilité 9,6 kb/s<br>Interface PC<br>Mémoires<br>Contrôle pour PA externe<br>Commande de Préampli | Demande modif.<br>oui<br>oui<br>oui<br>oui | Demande modif.<br>oui<br>oui<br>oui<br>oui |
| Radio      | Full duplex<br>Date de lancement   | oui<br>1991                                | oui<br>1996                                |
| Argus 2002 | Sans les options<br>23cm Euros   | 1171                                       | 997  |

Sources : ARRL Lab ; Radioamateur.org

tableau 3

|   |                |        | IC-821H ICOM | JUPITER TEN-TEC |
|---|----------------|--------|--------------|-----------------|
| Sensibilité (500 Hz filtre FI) MDS  | 144 MHz/14 MHz | dBm    | -144         | -135            |
| Sensibilité FM, 12 dB SINAD   | 144 MHz/14 MHz | µV     | 0,12         | 0,7             |
| Dynamique de Blocage (500Hz Filtre) BDR (20 kHz d'espacement)                     | 144 MHz/14 MHz | dB     | 100          | 123             |
| Dynamique d'intermodulation d'ordre 3 IMD3 (20kHz d'espacement ; 500Hz filtre FI) | 144 MHz/14 MHz | dB     | 84           | 85              |
| Point d'interception d'ordre 3 IIP3 (20 kHz d'espacement)                         | 144 MHz/14 MHz | dBm    | -8,2         | +7,3            |
| Réjection des canaux adjacents FM   | 144 MHz/14 MHz | dB     | 67           | 72              |
| Dynamique d'intermodulation d'ordre 3 IMD3 FM                                     | 144 MHz/14 MHz | dB     | 67           | 72              |
| Sensibilité pour « S9 »   | 144 MHz/14 MHz | µV     | 5            | 26              |
| Sensibilité du squelch SSB  | 144 MHz/14 MHz | µV     | 0,07         | 0,14            |
| Réjection d'image   | 144 MHz/14 MHz | dB     | 79           | 82              |
| Bruit de phase à 2kHz d'offset  | 144 MHz/14 MHz | dBc/Hz | -92          | -110            |

Source : ARRL Lab

tableau 4

Bande : 14MHz et préampli ON , filtre FI 500 Hz

| Transceiver                 | BDR    |       |       | IMD3   |       |       | Argus 2002 |
|-----------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|------------|
|                             | 20 kHz | 5 kHz | Delta | 20 kHz | 5 kHz | Delta |            |
| Elecraft K2                 | 133    | 126   | 7 🍀   | 97     | 88    | 9 🍀   | 1050 € (*) |
| ICOM IC-706 MkIIG           | 120    | 86    | 34 !  | 86     | 74    | 12 !  | 1280 €     |
| ICOM IC-746                 | 113    | 88    | 25 !  | 92     | 78    | 14    | 1390 €     |
| ICOM IC-756 PRO             | 120    | 104   | 16    | 88     | 80    | 8 🍀   | 2607 €     |
| ICOM IC-775 DSP             | 132    | 104   | 28 !  | 103    | 77    | 26 !  | 3141 €     |
| Kenwood TS-570S(G) TS-570 D | 119    | 87    | 32 !  | 97     | 72    | 25 !  | 976 €      |
| Kenwood TS-2000             | 121    | 99    | 22 !  | 92     | 67    | 25 !  | 2319 €     |
| Ten Tec OMNI-VI             | 128    | 119   | 9 🍀   | 100    | 86    | 14    | 1500 €     |
| Yaesu FT-847                | 109    | 82    | 27 !  | 89     | 73    | 16    | 1432 €     |
| Yaesu FT-1000 MP Mark-V     | 126    | 106   | 20    | 98     | 78    | 20 !  | 3242 €     |
|                             | 10 kHz | 2 kHz | Delta | 10 kHz | 2kHz  | Delta |            |
| Drake R-4C Modifié          | 131    | 127   | 4 🍀   | 119    | 118   | 1 🍀   | 400 €      |

Source : SP7HT QEX Sept/Oct 2002 ; argus Radioamateur.org (\*) C'est un kit dont le prix dépend des modules achetés (ce prix donne un TRX 100W avec option BLU)

tableau 5

Fréquence : 14MHz.

| Transceiver     | Constructeur | Bruit de phase (dBc à +4 kHz) | Bruit de phase (dBc à +10 kHz) |
|-----------------|--------------|-------------------------------|--------------------------------|
| IC-756 PRO *    | Icom         | -130                          | -135                           |
| K2              | Elecraft     | -120                          | -126                           |
| IC-706MKIIG **  | Icom         | -118                          | -128                           |
| FT-1000MP *     | Yaesu        | -118                          | -125                           |
| TS-870 *        | Kenwood      | -118                          | -125                           |
| Ten-Tec Omni6+  | TenTec       | -117                          | -123                           |
| Kachina 505DSP  | Kachina      | -117                          | -122                           |
| TS-50 **        | Kenwood      | -115                          | -125                           |
| Ten-Tec Jupiter | TenTec       | -115                          | -120                           |
| Pegasus 550DSP  | TenTec       | -104                          | -111                           |
| FT-817 **       | Yaesu        | -103                          | -113                           |
| Patcom PC-1600A | Patcom       | -100                          | -108                           |

\* type haut de gamme – \*\* type compact portatif

Source : ARRL Lab

promis entre les performances et le prix actuel. Je conseille au lecteur de se renseigner sur l'argus des transceivers. Les performances dépendent aussi du style de trafic prévu. Cependant il est bon de considérer qu'un transceiver performant est toujours un bon investissement. (Voir tableau 1 et 2)

### Différences THF / DECA

Le tableau suivant a pour but de montrer les différences typiques majeures entre un récepteur THF et un transceiver décimétrique. (Voir tableau 3)

### Considération des conditions réelles d'utilisation

Voici un tableau donnant l'évolution de l'IMD3 et du BDR pour certains transceivers en fonction de l'écartement entre le signal utile et le(s) interféreurs. Ces mesures correspondent mieux à la réalité du trafic sur les bandes décimétriques comme par exemple le trafic en split quand vous cherchez à contacter une station DX faible entourée de stations proches et puissantes. C'est aussi le cas par exemple sur la bande des 40 m où un très grand nombre de stations trafiquent sur les 100kHz de bande alloués avec en plus la proximité des stations broadcast extrêmement puissantes la nuit. C'est également le cas des contests où nous retrouvons aussi des stations puissantes très proches les unes des autres (espacées de 2 à 10 kHz typiquement). (Voir tableau 4)

Nous voyons donc que certains transceivers se comportent mieux que d'autres en condition réelle sur l'air. L'argus 2002 est présenté à titre indicatif, sachant que le prix d'un transceiver ne se base bien sûr pas que sur sa partie réception. Cependant cela peut être une information utile pour ceux qui recherchent un transceiver avant tout pour sa qualité en réception.

Une mention particulière doit être adressée au Drake R-4C. Ce récepteur a 25 ans d'âge et pourtant il est possible d'en faire un merveilleux récepteur aux performances surpassant toutes les autres comme le montre le précédent tableau.

Pour aboutir à ces superbes résultats, il faut apporter pas mal de modifications au design d'origine :

- Le R-4C doit être équipé du filtre à quartz Sherwood 600Hz en première FI
- Augmenter le gain du premier ampli FI
- Remplacement du deuxième mélangeur par un mélangeur équilibré de forte linéarité

De nombreuses descriptions de ces modifications se trouvent facilement sur Internet.

### Bruit de phase

Nous avons insisté au cours de l'article sur l'importance du bruit de phase dans les performances. Le tableau suivant permet de voir les grandes disparités dans la qualité du design des oscillateurs locaux. C'est un bon indice permettant de dévoiler les bons constructeurs et les mauvais. Bien sûr chez le même constructeur le bruit de phase peut varier d'un modèle de transceiver à un autre, il faut donc comparer des transceivers de la même « gamme » comme un FT-1000MP, un IC-756 PRO et un TS-870 pour le haut de gamme par exemple. (Voir tableau 5)

## 6. Conclusion

Maintenant vous saurez sur quels critères techniques juger et comparer sérieusement différents récepteurs et comment, je l'espère, les réaliser en connaissant parfaitement les principaux enjeux qui règnent dans le design d'une chaîne de réception radio. J'espère que cet article vous aura permis de consolider votre regard critique sur les performances annoncées par les fabricants commerciaux qui en général vous en disent le moins possible et s'arrangent pour effectuer des mesures dans des conditions favorables mais non représentatives de la réalité (comme mesurer une performance d'intermodulation avec des interféreurs situés à 20kHz d'écart...). Les différents critères passés en revue tout au long de cet article sont des mesures de laboratoire réalisées en suivant une méthode experte et rigoureuse. Ils ont une signification réelle sur le comportement de votre récepteur sur l'air. N'hésitez donc pas à consulter les

revues de produits faites suivant les procédures bien définies de l'ARRL pour comparer les chiffres mesurés. Le but du jeu n'est pas de concevoir le meilleur récepteur qui soit mais de savoir comment le concevoir afin qu'il puisse répondre parfaitement à vos besoins sans effort ni surcoût inutile.

Une bonne connaissance du fonctionnement interne d'un récepteur est essentielle à sa bonne utilisation. Prenez donc le temps de consulter attentivement le schéma électrique et le synoptique de votre récepteur pour savoir comment il est fait.

## 7. Références

- QST Product Reviews: A Look Behind The Scenes (917,504 bytes, PDF file) *Learn how the ARRL Laboratory evaluates new products - and what all those numbers mean to you!* [www.arrl.org/tis/info/pdf/109435.pdf](http://www.arrl.org/tis/info/pdf/109435.pdf).
- Lab Notes - What Rig Should I Buy? (360,448 bytes, PDF file) [www.arrl.org/tis/info/pdf/29379.pdf](http://www.arrl.org/tis/info/pdf/29379.pdf).
- Radioamateur.org : argus et occasions - [www.radioamateur.org](http://www.radioamateur.org).
- « The DX Prowess of HF receivers », SP7HT, QEX Sept/Oct 2002.
- Résultats de mesure ARRL lab: QST K2, 3/00; IC756 PRO, 6/00; Omni6+, 11/97; FT1000MP, 4/96; Scout, 12/93; TS-50, 9/93; IC706MKII, 7/99; Ten Tec Pegasus, 2/00; Ten Tec Jupiter, 6/01; TS-930, 1/84; Kachina 505DSP, 5/98; Patcom PC-1600A, 12/00; FT817, 4/01; IC-821H, 03/97; TS-2000, 7/01; FT-847, 8/98.
- "Test Procedures Manual" du laboratoire de l'ARRL, téléchargeable sur [www.arrl.org](http://www.arrl.org) (accès réservé aux titulaires d'un compte d'accès).

## INFOS BXC

### BOITIER DECODEUR ANTI "GROS MOTS"

Le boîtier Protec TV a été conçu pour éliminer les termes grossiers prononcés au cours des émissions télévisées américaines. Il est capable de reconnaître 400 mots apparaissant dans les sous-titres des programmes. Les mots reconnus sont brouillés et s'affichent sous forme d'une série de "X" et le son n'est plus audible. Un autre boîtier ne se contente pas de supprimer les mots indésirables, il les remplace grâce à son dictionnaire de synonymes.

### POUVOIR REMPLACER LES VENTILATEURS

Les ventilateurs vont-ils trouver des remplaçants? Des chercheurs de l'université de Perdue aux Etats-Unis veulent générer de l'air à partir d'un système de lame vibrante liée à un excitateur piézo-électrique. Les avantages peuvent être nombreux : faible consommation, pas de champ magnétique, très faible encombrement, silencieux.

Autre solution : une technique de micro-usinage sur silicium introduisant une vibration acoustique à très haute fréquence (entre 50 et 100 KHz), entraînant un déplacement d'air des trous d'éjections placés à la périphérie des cavités. Mais la performance est loin de celle des ventilateurs employés en électronique. Un gros avantage serait la durée de vie, plusieurs milliards de cycles. A suivre...

### NOUVEL AUTOFOCUS

Du nouveau chez Minolta : le Riva 160 est un appareil photo compact argentique comportant une reconnaissance de forme. Son système de mise au point automatique Area-AF reconnaît les personnes et peut les suivre dans leur déplacement. C'est un capteur autofocus à 7 lignes définissant une grille de visée de 3 lignes x 8 colonnes, associée à un microprocesseur RISC 32 bits qui permet ce suivi. La reconnaissance se limite essentiellement aux formes verticales.