

## MESURES D'UN ENVIRONNEMENT RADIOELECTRIQUE AVEC UN RECEPTEUR CONVENTIONNEL ETALONNE

<b>1- Objectif des mesures</b>	(Page 1)
1-1 Critères de qualité radio	
1-2 Principe des mesures	
<b>2- Réalisation pratique</b>	(Page4)
2-1 Configuration du banc de mesure	
2-2 Liste des accessoires utiles	
<b>3- Mesure de dégradation moyenne</b>	(Page4)
3-1 Remontées du bruit de fond	
3-2 Mesures SINAD	
3-3 Comparaison des méthodes	
<b>4- Influence de la CAG</b>	(Page 7)
4-1 Le gain de réception	
4-2 Relation avec le S-mètre	
<b>5- Mesures de bande passante</b>	(Page10)
5-1 Principe de mesure	
5-2 Relevés pratiques	
<b>6- Etalonnage du récepteur</b>	(Page11)
6-1 Estimation du facteur de bruit	
6-2 Résultats de mesure	
<b>7- Conversion en champ électrique</b>	(Page13)
7-1 Relations Puissance-Champ électromagnétique	
7-2 Corrections distance-hauteur	
7-3 Exemple pratique	
<b>8 – Conclusion</b>	(Page 17)
<b>Annexe : Exemple d'utilisation du tableur de calcul</b>	(Page 18)

---

### **1- Objectif des mesures**

Les mesures de perturbations radioélectriques susceptibles de se produire dans l'environnement immédiat d'une station fixe ou mobile peuvent être effectuées à partir de moyens simples à la portée de nombreux radioamateurs. Le récepteur de trafic radio qui est à la base de toute installation peut constituer l'outil élémentaire efficace et sensible sur lequel ces mesures peuvent s'appuyer. Il est possible ainsi, par exemple, de vérifier des déséquilibres de liaison ou simplement de quantifier le niveau des perturbations identifiées. A cet effet, les méthodes associées doivent respecter des contraintes de réception précises, comme celles qui sont exposées dans ce document explicatif, pour que les résultats ne soient pas influencés par des phénomènes indésirables.

L'efficacité et la simplicité des mesures peuvent être assurées par l'utilisation du tableur de calcul recommandé qui limite le nombre d'informations à introduire en effectuant automatiquement les calculs nécessaires à l'aide des paramètres du récepteur déterminés une fois pour toutes par étalonnage.

#### ***1-1 Critères de qualité radio :***

La qualité d'une communication radio peut se définir de diverses façons suivant le mode de transmission analogique ou numérique utilisé. Si en analogique on introduit une notion d'intelligibilité avec toute la subjectivité que ce terme implique, en numérique on parle de taux d'erreur bit ou de taux d'erreur trame après correction d'erreurs.

Ces deux notions font intervenir le même critère de qualité HF du signal reçu exprimé en rapport de Signal/Bruit (S/B) ramené au connecteur d'antenne, dans une bande passante précise. Ce paramètre est mesurable de deux façons distinctes et éventuellement complémentaires. La première consiste à mesurer le

signal délivré par la sortie BF et la seconde consiste simplement à interpréter une indication intermédiaire telle que la "force du signal" délivrée par le S-mètre. S'il est de coutume de relever l'indication « S » pour la transmettre à son correspondant (sans présumer de sa fiabilité), il n'est pas possible de conclure sur l'intelligibilité effective des messages sur cette seule information. Bien que proportionnelle à l'amplitude du signal reçu, l'intelligibilité fait apparaître d'autres notions de distorsion ou de brouillages dont on ne connaît pas forcément l'importance.

Le rapport S/B correspond à une véritable notion de qualité commune à tous les modes de transmission. Il est généralement exprimé en dB et correspond à une notion absolue sur la façon dont on peut exploiter le signal utile. La notion de bruit B correspond à une combinaison de divers signaux indésirables que le récepteur ne peut éliminer compte tenu de leur présence sur la fréquence utilisée et dans sa bande passante. Il s'agit effectivement d'une addition des puissances de chacune des composantes et pas d'une addition de leur expression en dB. Or, en pratique, la mesure globale de cette combinaison indique une valeur de Signal+ Bruit qu'il faut corriger pour déterminer la valeur du signal seul. Ainsi, par exemple, si le signal a la même amplitude que le bruit on mesurera un rapport S/B de 3 dB. S'il est 100 fois plus important que le bruit l'influence de ce dernier sera négligeable et on pourra déterminer la puissance du signal directement.

Les mesures courantes s'expriment en rapport (S+B)/B, également connu sous l'appellation SINAD incluant la distorsion D comme un bruit par le rapport (S+B+D)/(B+D), on pourra transformer cette expression à l'aide de l'équation suivante :

$$(S/B)_{dB} = 10 * \text{Log}(10^{(X/10)} - 1) \quad (\text{Equation 1})$$

X est le rapport (S+B)/B mesuré et exprimé en dB. Si X est le résultat d'une mesure des amplitudes de signal BF en sortie de récepteur avec et sans signal HF, il est exprimé ainsi par :

$$X = 20 * \text{Log}(\text{Amplitude du signal et du bruit} / \text{Amplitude du bruit})$$

En pratique, l'application de cette équation n'a d'intérêt que pour de faibles valeurs de X tant que la correction qu'elle implique est supérieure à la précision de la mesure. En effet pour X=10 dB, S/B= 9,5 (soit une différence de 0,5 dB) et pour X = 15 dB, S/B= 14,9 dB (soit une différence de 0,1 dB) inférieure aux précisions des relevés d'amplitude.

Le rapport S/B étant une expression absolue de qualité, les amplitudes qui en établissent la valeur doivent être mesurées dans les mêmes conditions. A cet effet, toutes les variations de S/B pendant la durée du message à recevoir étant critiques, les constantes d'intégration (ou temps de réponse aux transitoires) appliquées à la mesure doivent respecter des règles normalisées pour affecter aux amplitudes des valeurs moyennes ou instantanées, crête ou quasi-crête. Il est possible dans ces conditions de comparer les résultats obtenus à des limites normalisées pour vérifier si le signal reçu répond aux normes le concernant.

En général la valeur moyenne est la plus significative de la notion de qualité. Les valeurs instantanées permettant une analyse dynamique du comportement du récepteur. Si la durée pendant laquelle le signal atteint sa valeur crête, est brève et si le rythme d'apparition de cet événement n'est pas trop élevé, il existe divers moyens d'en réduire les effets pour les rendre négligeables que ce soit par traitement analogique (suppression des parasites impulsions) ou numérique (traitement de signal). Ainsi, la mesure d'un signal sinusoïdal continu n'indiquera pas de différence entre les valeurs moyennes et crête alors que celle d'un bruit blanc correspondant à des phénomènes d'agitation thermique aléatoires, très brefs et très fréquents indiquera une grande différence. Dans les deux cas c'est l'expression de la valeur moyenne qui quantifie le critère de qualité, l'expression des valeurs crêtes ou quasi-crêtes ayant une signification beaucoup plus informative pour expliquer le comportement du récepteur et des filtres qu'il contient.

### **1-2 Principe des mesures :**

Les mesures à effectuer sont basées sur une quantification d'amplitude des signaux, qu'ils soient utiles ou perturbateurs, par rapport à une référence absolue connue et caractérisant le récepteur. Pour les réaliser, on analyse de façon traditionnelle le signal BF démodulé d'une part en absence de tout signal HF sur le connecteur d'antenne et d'autre part en présence de celui dont on cherche à connaître les caractéristiques. Pour que le résultat obtenu ait une signification, les performances du récepteur ne doivent pas changer d'une mesure à l'autre de façon à conserver une proportionnalité absolue entre ce qui se passe sur l'antenne et sur la sortie BF.

Cette condition ne pouvant être réalisée que sur une dynamique de réception réduite, les mesures doivent se situer dans des ordres de grandeur de S/B limités ce qui nécessite de devoir atténuer significativement certaines perturbations importantes. Un compromis devra être trouvé pour que les erreurs apportées par les fluctuations de mesure résultant de cette contrainte restent négligeables.

La référence la plus pratique à prendre en compte est celle qui correspond au niveau de bruit plancher (Bp) d'une réception sans antenne. En comparant ce niveau de référence à celui d'un générateur étalonné injectant un signal S calibré sur la connexion antenne, la valeur absolue de Bp dans la configuration de réception utilisée pour la mesure peut être directement déduite de la mesure du rapport S/Bp.

Le mode BLU est celui qui permet d'obtenir la meilleure précision sur les résultats. A cet effet, la bande passante de réception y correspondant est à vérifier finement non seulement pour mettre en évidence toutes les irrégularités de filtrage et apporter les corrections nécessaires aux mesures BF mais également pour définir l'énergie d'agitation thermique à prendre en compte. Cette opération faisant partie du processus d'étalonnage nécessaire est à effectuer une fois pour toutes.

La mesure complète d'une perturbation se fait ainsi en deux étapes :

- Détermination du niveau de perturbation reçu par l'antenne (en dB) relativement au Bruit plancher en réception sur charge fictive.
- Détermination du niveau absolu de la perturbation analysée (en dBm) à partir des résultats de l'étalonnage du récepteur.

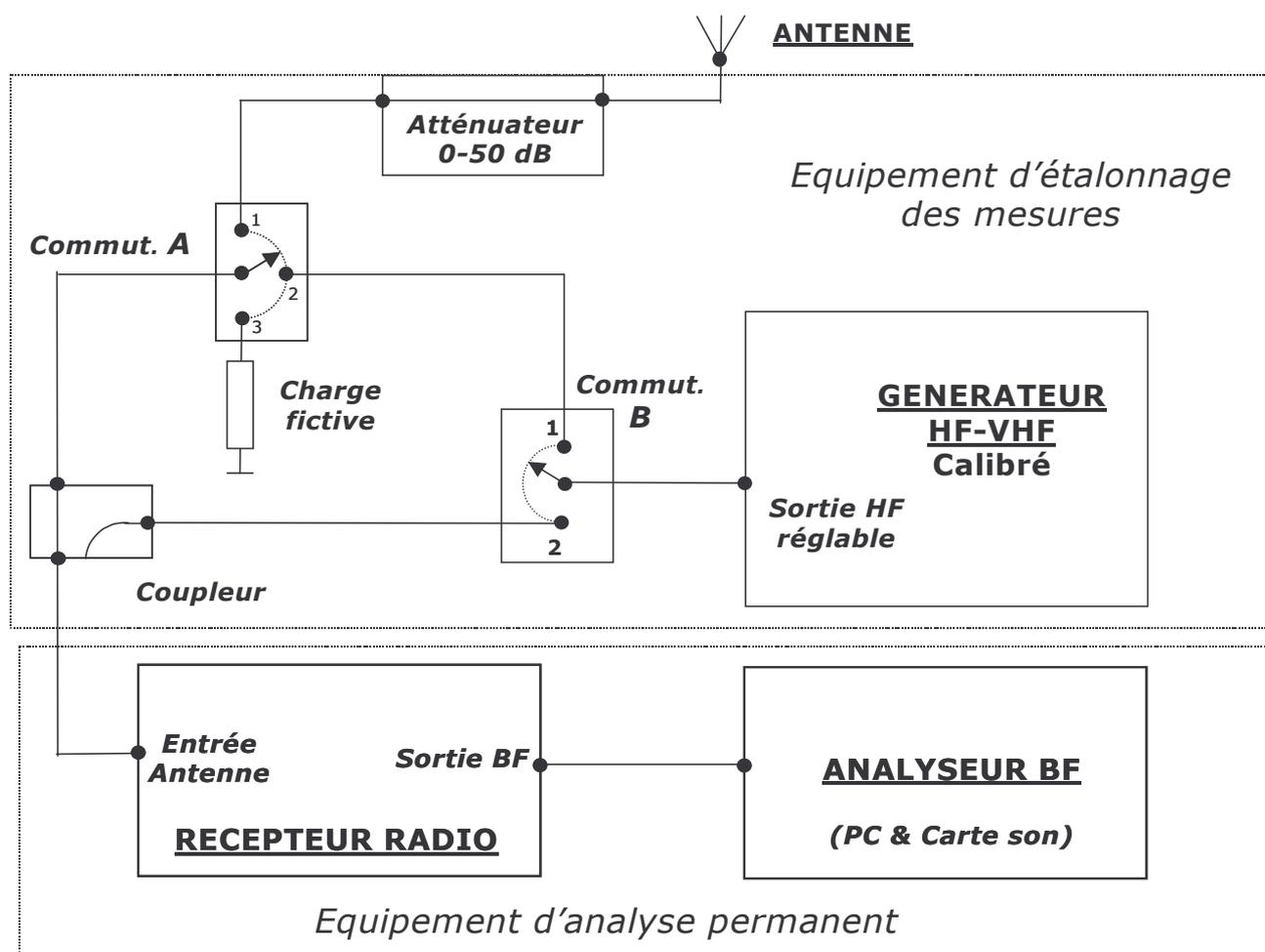
## 2- Réalisation pratique :

Les mesures à effectuer sont basées sur des analyses d'amplitude de signaux BF provenant du récepteur à l'aide d'instruments externes et dans une configuration précise.

### 2-1 Configuration du banc de mesure :

Le schéma de principe du banc de mesure permettant d'effectuer l'ensemble des essais nécessaires est représenté sur la *figure 1*. Les connexions HF à réaliser au cours de chacune des étapes de mesure sont symbolisées par des commutateurs coaxiaux. Ces connexions peuvent bien entendu se réaliser directement sans passer par ces commutateurs, en application du schéma correspondant, ce qui peut éviter des couplages parasites par les fuites qui pourraient se présenter à des fréquences élevées.

Figure 1 : Schéma de principe du banc de mesure et d'étalonnage



Les 2 parties du Schéma représentent les configurations permanentes et provisoires pour permettre l'étalonnage préliminaire. En mesure courante la partie provisoire est limitée à une simple commutation permettant de remplacer l'antenne par une charge fictive.

### 2-2 Liste des accessoires utiles :

Ces accessoires servent surtout à effectuer l'étalonnage des mesures à effectuer ensuite à l'aide de l'équipement d'analyse permanent constitué du récepteur radio et d'un analyseur permettant de relever les paramètres BF importants :

- **L'analyseur BF** peut être un millivoltmètre précis associé à un oscilloscope. Il est cependant préférable d'utiliser un PC équipé d'une carte son de bonne qualité et exploitée à partir d'un programme d'analyse spectrale permettant un calage de fréquence précis dans la bande passante audio de réception (généralement limitée à 5 kHz). Divers programmes d'analyse sont téléchargeables par Internet. Il convient seulement de s'assurer que les fonctions d'analyse nécessaires aux mesures y sont disponibles. Les exemples expliquant les méthodes à appliquer sont illustrés à partir de sorties d'écran du PC utilisant le programme Analyzer 2000 disponible pour téléchargement sur de nombreux sites.

- **Le Générateur HF** doit pouvoir couvrir toutes les gammes de fréquence HF, VHF et UHF sur lesquelles les mesures doivent s'effectuer. Son niveau de sortie doit être ajustable, avec une précision confirmée par un étalonnage préalable, de façon à pouvoir atteindre des valeurs suffisamment basses pour rendre le signal généré à peine perceptible en réception BLU.

- **Le Coupleur** permet de superposer un signal calibré par la qualité (S/B) de réception et provenant du générateur à d'autres signaux plus ou moins atténués captés par l'antenne. Il ne doit pas présenter de pertes notables à la fréquence de mesure sur sa voie de transmission directe du signal reçu même si la valeur de couplage du signal de référence n'est pas critique. En VHF, la branche couplée peut être constituée de quelques spires de fil isolé autour du câble coaxial relié au connecteur d'antenne. En HF, une simple résistance de 1500 Ohms entre la connexion d'antenne et la sortie du générateur donnera un couplage d'environ 30 dB.

- **L'atténuateur** permet de diminuer le niveau des signaux captés par l'antenne pour les ramener à des valeurs mesurables dans la dynamique appropriée du récepteur. Il doit avoir une position 0 dB pour permettre de mesurer des perturbations de faible amplitude et être programmable avec la meilleure précision possible (meilleure que 1 dB si possible) sur une dynamique importante (40 à 50 dB souhaitable).

- **Les commutateurs A et B** sont de type coaxial avec un bon isolement entre voies, à 3 positions pour le A et à 2 pour le B. Une des positions (3) du A ne servant qu'à connecter la charge fictive, on peut utiliser éventuellement un 2 positions en assimilant l'atténuateur en position d'affaiblissement maximum, isolé de l'antenne, à l'équivalent d'une charge fictive.

- **La charge fictive** ne sert que de référence d'adaptation de l'entrée antenne du récepteur sur son impédance nominale (50 Ohms) pour déterminer le facteur de bruit aux fréquences utilisées.

A noter que le générateur peut être remplacé par un émetteur de faible puissance associé à des atténuateurs importants (150 dB au moins pour une émission de 100 milliwatts) les câbles coaxiaux assurant les connexions nécessaires devant être dans ce cas d'un très haut niveau de qualité pour éviter de fausser les résultats de mesure par les rayonnements indésirables de structures résultants d'une insuffisance de blindage. Une vérification d'isolement préalable à toutes les mesures doit montrer que l'antenne ne capte le signal émis que de façon quasiment imperceptible.

### **3- Mesure de dégradation moyenne**

Une dégradation de réception est une réduction notoire de la qualité du signal à la fréquence exploitée. Elle correspond à la différence entre les rapports S/B obtenus en réception d'un signal étalon délivré par le générateur dans 2 configurations de mesure. La première sert de référence en reliant l'entrée antenne du récepteur à une charge fictive (Position 3 du commutateur A), la seconde correspondant à la réception de la perturbation par l'antenne (position 1 du commutateur A).

Deux types de mesure sont proposées :

- Une mesure directe de la variation du bruit de fond sans superposer de signal calibré à l'aide uniquement de l'analyseur de spectre (PC) en disposant correctement les repères verticaux et horizontaux, tout en s'assurant que le récepteur conserve ses caractéristiques de réception optimales dans les deux cas.

- Une mesure SINAD à partir d'un signal injecté sur l'entrée du récepteur à travers le coupleur (position 2 du commutateur B)

**Nota : L'analyseur doit être configuré pour mesurer la valeur moyennes des signaux qui lui sont présentés tout au long de la mesure.**

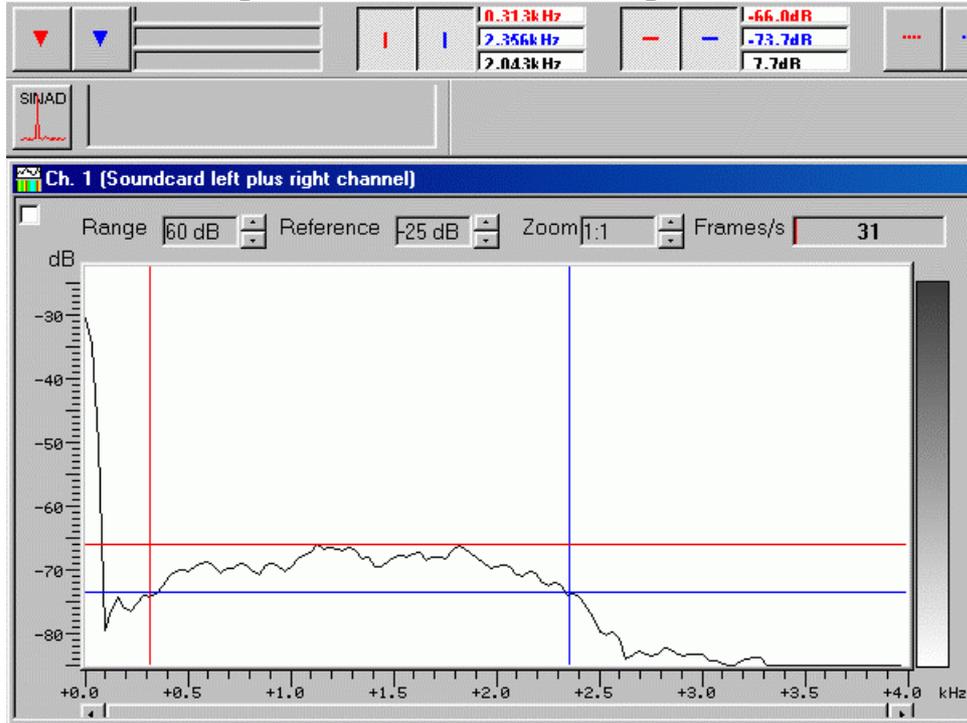
#### ***3-1 Remontées du bruit de fond***

Cette mesure directe sans signal de référence se fait en comparant les courbes spectrales de bruit reçu entre les positions 3 (référence en réception calme) et 1 (réception sur antenne) du commutateur A par déplacement d'un trait de repère horizontal sur l'écran de l'analyseur et en relevant l'écart final avec celui qui est resté fixe. Le générateur n'étant pas nécessaire, le commutateur B est en position 1 tout au long de la mesure.

*Nota : Dans le cas où on ne s'intéresserait qu'à ce paramètre, le générateur, le coupleur et le commutateur B peuvent être supprimés.*

La procédure est illustrée par les graphiques spectraux (copies d'écran de PC) sur les figures 2 et 3 ci après :

**Figure 2 : Bruit de bande sur charge fictive**

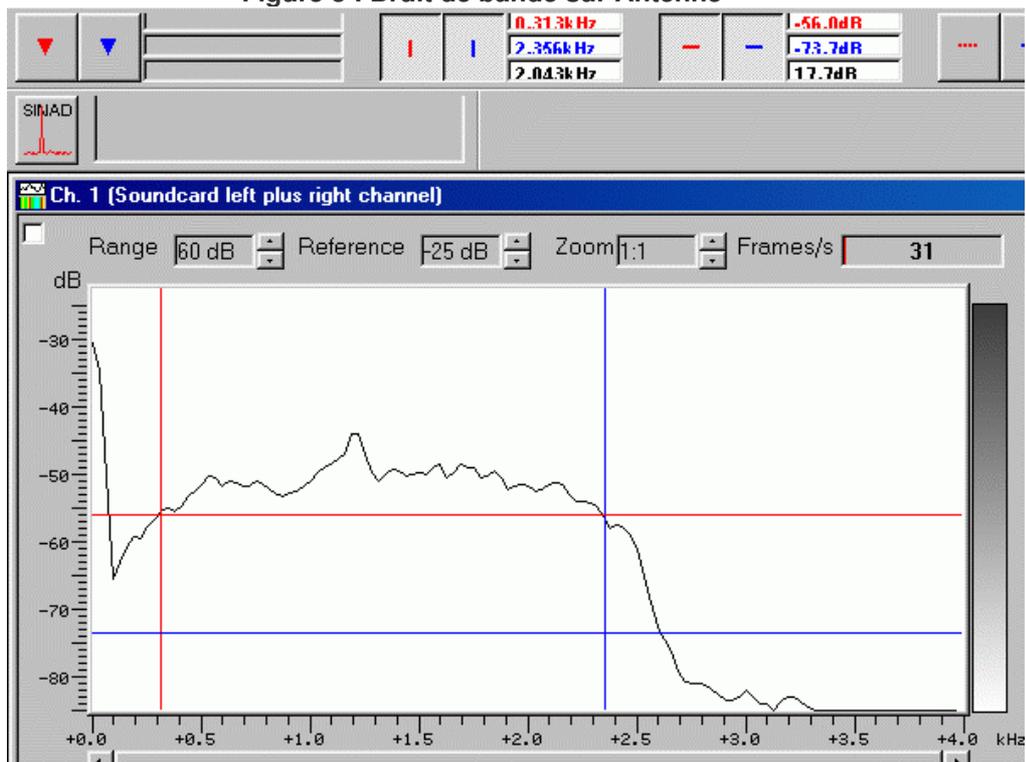


1<sup>ère</sup> étape : Repérage sur l'écran de la bande de bruit utile (*voir figure 2*) en réception calme. Le Commutateur A est en position 3 (Charge fictive reliée à l'entrée du récepteur)

- Placer le trait horizontal rouge sur l'écran de telle façon qu'il tangente les crêtes de la courbe de bruit relevée (Il peut y avoir quelques fluctuations dépassant légèrement occasionnellement).
- Placer le trait horizontal bleu au-dessous du rouge à environ -7 dB à -8 dB (peu critique)
- Placer les 2 traits verticaux rouges et bleus aux points de croisement de la courbe de bruit avec le trait de repère bleu (le plus bas) afin de déterminer les fréquences délimitant la bande passante utile.

A noter dans l'exemple de la figure 313 Hz et 2,356 kHz pour un écart de 7,7 dB entre les traits horizontaux

**Figure 3 : Bruit de bande sur Antenne**



2<sup>ème</sup> étape : Mesure du niveau de bruit moyen reçu par l'antenne (voir figure 3) en réception normale sans signal utile sur une fréquence inoccupée. Le commutateur A est en position 1 et l'atténuateur réglé à 0 dB. Les performances optimales du récepteur n'étant garanties d'être conservées que si le S-mètre ne dévie pas, il est nécessaire de s'assurer que c'est effectivement le cas. Si la perturbation analysée est importante au point de faire dévier le S-mètre, l'atténuateur doit être ajusté pour la réduire de façon à annuler cette déviation. La valeur de l'atténuation correspondante sera notée pour être ajoutée au résultat de la mesure.

- Déplacer le trait horizontal rouge qui repérait initialement les crêtes de bruit au point de croisement de la nouvelle courbe de bruit avec les traits de repère verticaux rouge et bleus.

- Relever la différence de niveau entre les 2 traits de repère horizontaux. Cette différence faisant intervenir l'addition de 2 bruits indépendants, l'écart relevé doit être corrigé au moyen de l'équation 1 pour correspondre à leur différence réelle. A ce résultat corrigé sera ajoutée la valeur d'atténuation relevée.

L'exemple illustré par *les figures 2 et 3* montre une remontée de bruit de 17,7 dB. Compte tenu des fluctuations du bruit, la précision de mesure est d'environ 0,5 dB cette valeur n'a pas à être corrigée et exprime directement le rapport des bruits. L'atténuateur a du être ajusté à 6 dB pour que le S-mètre ne dévie pas ce qui situe le niveau de perturbation reçu par l'antenne à  $17,7 + 6 = 23,7$  dB du plancher de bruit du récepteur à la fréquence analysée.

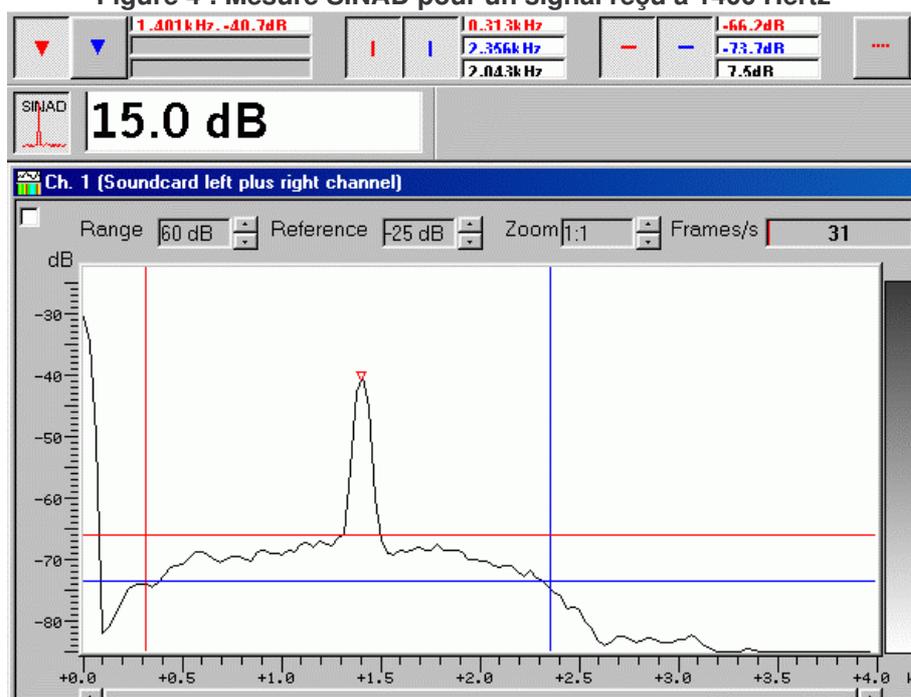
### 3-2 Mesures SINAD

Le principe de cette mesure est de déterminer le niveau de dégradation à partir de la démodulation d'un signal délivré par le générateur relié par l'intermédiaire du coupleur au récepteur ( Position 2 du commutateur B). La qualité SINAD est indiquée par l'analyseur directement en dB (voir figure 4). La dégradation peut être mesurée de 2 façons différentes sur le passage d'une réception calme sur antenne fictive (Position3 du commutateur A) à une réception sur antenne réelle (Position 1 du commutateur A) par repérage d'une valeur SINAD déterminée en réception calme. Dans l'exemple illustré par la copie d'écran d'analyseur de la *figure 4*, une valeur de 15dB a été choisie pour un niveau de sortie de -42 dBm au générateur en réception calme.

1<sup>er</sup> cas : En passant de la position 3 à la position 1 avec le commutateur A, la valeur SINAD affichée est fortement réduite. Le niveau du générateur est alors augmenté jusqu'à retrouver la valeur SINAD choisie. L'augmentation correspondante est relevée par son expression en dB et sa valeur est corrigée, si nécessaire, à l'aide de l'équation 1 pour déterminer l'écart entre le niveau de la perturbation et le plancher de bruit de réception. Dans l'exemple retenu le niveau a été relevé à -24 dBm soit de 18dB (valeur ne nécessitant pas de correction). L'atténuateur d'antenne a du être réglé à 7 dB pour n'avoir qu'une faible déviation de S-mètre (S-3) ce qui correspond à un écart réel de  $18+7= 25$  dB.

2<sup>ème</sup> cas : Après avoir effectué la même commutation que dans le cas précédent, le niveau de perturbation capté par l'antenne est atténué jusqu'à ce que la valeur SINAD affichée soit de 3 dB inférieure à celle qui avait été choisie (12 dB dans l'exemple retenu). On se trouve ainsi dans une configuration où le bruit reçu est au même niveau que le plancher bruit de réception. La valeur en dB affichée par l'atténuateur indique ainsi directement l'écart recherché. Dans l'exemple retenu l'atténuateur a du être ajusté à 24 dB pour obtenir les 12 dB requis.

Figure 4 : Mesure SINAD pour un signal reçu à 1400 Hertz



### 3-3 Comparaison des méthodes

Les 3 méthodes présentées ayant pour but de quantifier le même paramètre, les résultats obtenus doivent être identiques. Les exemples illustrés par les figures représentant les sorties d'écran d'une mesure de perturbation à 7 MHz vérifient cette hypothèse avec une dispersion ne dépassant pas 1,3 dB.

La méthode ne nécessitant pas de générateur est la plus délicate à mettre en œuvre par le positionnement des repères sur l'écran de l'analyseur de spectre. Compte tenu de la précision avec laquelle les relevés de mesure sont effectués, les résultats obtenus n'ont besoin d'être corrigés en rapport de bruits que pour des valeurs inférieures à 10 dB. Dans l'exemple choisi le résultat est donc exploité directement

La méthode SINAD basée sur l'augmentation de niveau d'un générateur couplé est simple en pouvant éviter l'emploi d'un atténuateur. Pour la même raison que la mesure précédente son résultat en rapport S/B n'a pas à être corrigé. Par contre, compte tenu des niveaux de signal à injecter plus importants que dans les autres cas, les caractéristiques de réception peuvent être modifiées, ce qui peut être une source d'erreur. Une déviation du S-mètre du récepteur peut confirmer l'existence d'un doute éventuel. Des corrections additionnelles peuvent alors être apportées par interprétation des résultats d'un étalonnage complémentaire à effectuer sur le récepteur.

La méthode SINAD basée sur une dégradation réduite à 3 dB est la plus simple à mettre en œuvre tout en nécessitant un générateur pas nécessairement calibré. Sa précision est celle de l'atténuateur, le récepteur ne subissant aucune variation de sensibilité due à la connexion de l'antenne.

## 4- Influence de la CAG

La Commande Automatique de Gain (CAG) est une fonction de compression de la dynamique de réception des signaux sur la gamme de fréquence utilisée. Le signal BF après démodulation n'est en effet exploitable que sur une dynamique de 30 à 40 dB pour assurer un confort d'écoute correct alors que les signaux HF à recevoir peuvent varier sur une dynamique beaucoup plus importante de l'ordre de 100 à 120 dB. La CAG agit ainsi en maintenant un niveau BF constant par réduction du gain de réception sur les étages HF particulièrement en fréquence intermédiaire sur les 80 dB de dynamique complémentaire.

La connaissance du comportement de la CAG d'un récepteur peut être d'une grande utilité pour affiner les mesures effectuées. Son aspect dynamique est qualifiable à l'aide du générateur sur observation du comportement BF en injectant, à niveau variable, le signal HF à l'entrée du récepteur. On constate généralement qu'en partant d'un rapport S/B faible (quelques dB) le niveau BF varie rigoureusement dans les mêmes proportions que celui du signal injecté sur environ 30 à 40 dB alors qu'il ne change plus au-delà, sur les 80 dB restant encore exploitables. L'action de la CAG commence ainsi à partir d'un seuil correspondant généralement au décollage du S-mètre qui interprète directement la tension de contrôle de cette commande.

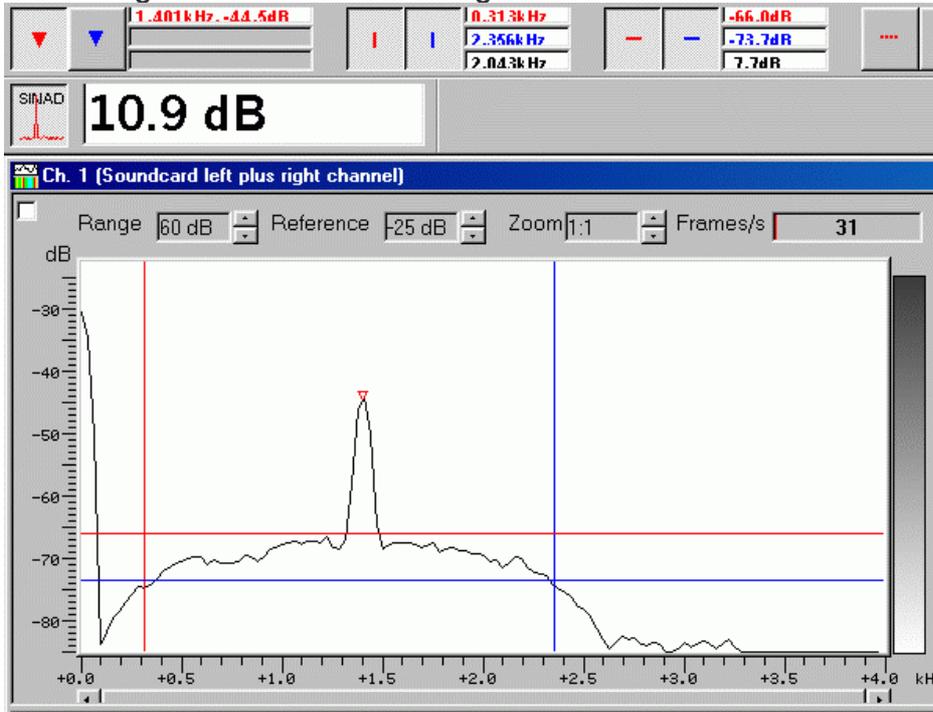
En réception dans les bandes HF avec une antenne bien dégagée, on constate que la dynamique effective est bien moindre que les 30 ou 40 dB du récepteur seul et que le S-mètre peut même dévier sur la seule présence de bruit à une fréquence non utilisée. Cette situation est normale car le niveau de perturbation naturelle existant dans ces bandes peut être très élevé à certaines heures comme par exemple la nuit sur 3,5 ou 7 MHz en absence de toute autre perturbation indésirable.

### 4-1 Le gain de réception

Ce gain est sous contrôle direct de la CAG et son effet est visible à l'analyseur de spectre BF. En augmentant le niveau du signal à l'entrée du récepteur, le rapport S/B augmente proportionnellement jusqu'à atteindre une valeur maximale. Dès que le niveau BF est régulé, le rapport S/B continue à varier par la réduction du bruit dans la bande BF autour du signal. Les relevés de spectre des figures 5 à 7 illustrent cette variation progressive sur la démodulation en BLU du signal continu provenant du générateur à des niveaux fixés.

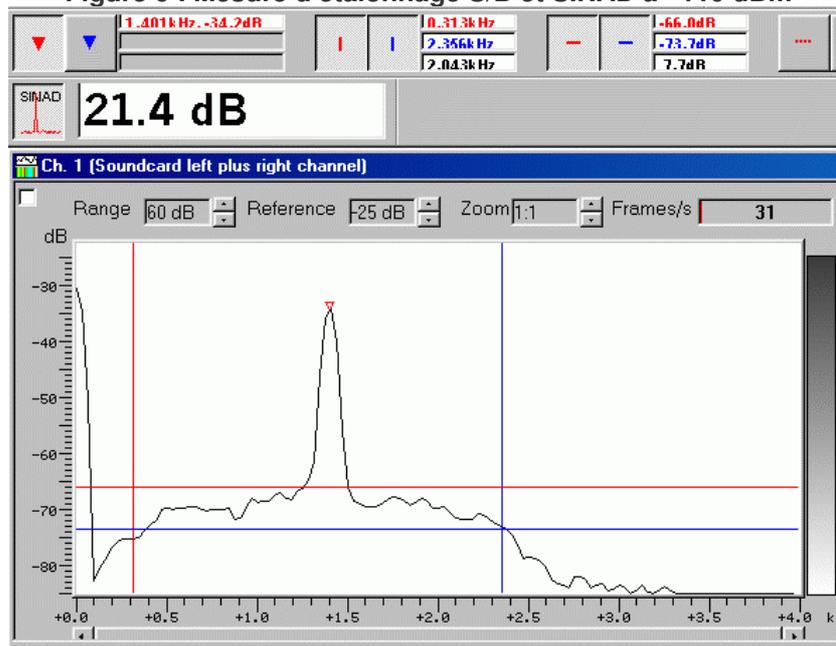
- La figure 5 correspond à la réception d'un signal faible (-120 dBm). Les traits de repère sont placés comme préconisé dans la procédure de mesure de bruit seul. Le trait horizontal bleu sert de référence. Un marqueur indique l'amplitude du signal BF à 1400 Hertz (-44,5 dB)

Figure 5 : Mesure d'étalonnage S/B et SINAD à -120 dBm



- La figure 6 correspond à la réception d'un signal de -110 dBm. On constate que les traits de repère correspondent toujours aux mêmes indications de bruit et que l'amplitude du signal BF est augmentée à -34,2 dB soit de 10,3 dB comme le niveau signal HF injecté aux imprécisions de mesure près. Le S-mètre reste au repos.

Figure 6 : Mesure d'étalonnage S/B et SINAD à -110 dBm

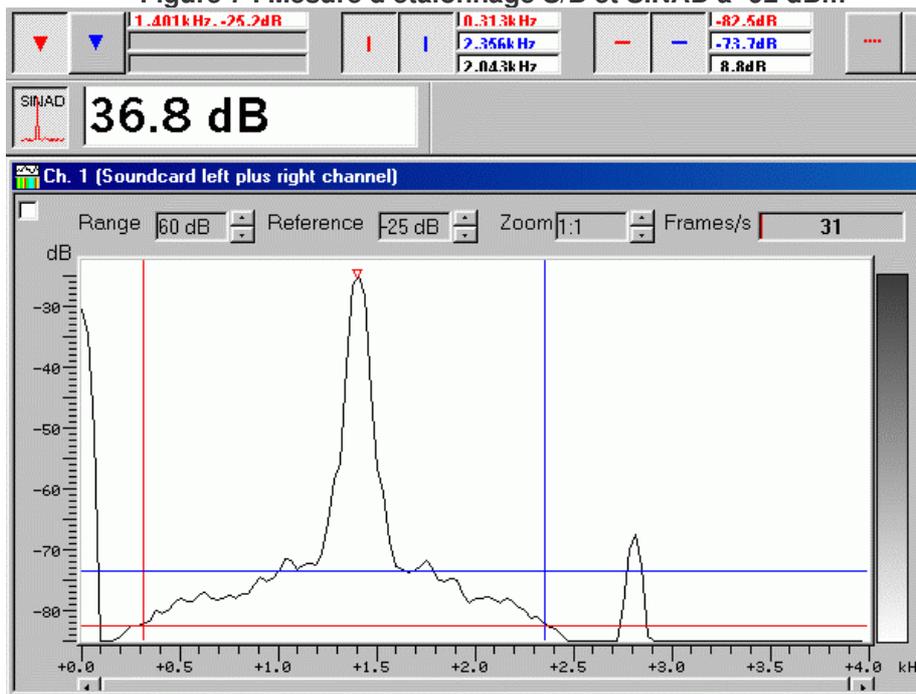


- la figure 7 correspond à la réception d'un signal de - 92 dBm qui aurait du faire varier le niveau BF de 28 dB par rapport au cas de la figure 5. En pratique, le niveau BF relevé est 25,2 dB ce qui montre une variation effective de  $44,4 - 25,2 = 19,3$  dB. La compression de gain par la CAG est donc de  $28 - 19,3 = 8,7$  dB. Le bruit de bande est diminué et le trait de repère a du être déplacé de 8,8 dB ce qui veut dire que le rapport S/B est augmenté de 19,3 dB (niveau BF) + 8,8 dB (bruit) = 28,1 dB. Le S-mètre indique S-5. Il est intéressant de noter que les rapports SINAD affichés montrent une variation de 25,9 dB un peu inférieure à celle attendue ce qui s'explique par l'apparition d'une distorsion harmonique plus élevée dans le dernier cas de figure.

L'analyse de l'action de la CAG, à partir de la représentation spectrale du rapport S/B des figures 4 à 7, montre que la réduction de gain qu'elle procure n'impacte pratiquement pas le facteur de bruit de réception. En effet, dans l'exemple présenté la réduction mesurée de S/B est identique aux fluctuations de mesure près à la

variation attendue pour un facteur de bruit constant. Ce maintien confirme qu'une faible déviation S-Mètre a peu d'influence sur ce paramètre.

Figure 7 : Mesure d'étalonnage S/B et SINAD à -92 dBm



#### 4-2 Relation avec le S-mètre

Les récepteurs radio sont équipés d'un indicateur de niveau du signal reçu à la fréquence sur laquelle ils sont accordés et dans la largeur de bande permettant une démodulation correcte des informations utiles. Cet indicateur appelé S-mètre (le « S » étant lié au mot anglais « strength » signifiant « force ») est étalonné en points de 0 à 9 et directement en dB au-dessus. Ces indications proviennent généralement d'une combinaison des tensions de contrôle du gain des divers étages de la chaîne de réception. Ainsi, sauf circuit particulier indépendant de ce contrôle, le seuil d'enclenchement de la CAG est celui à partir duquel le S-mètre indique la présence d'un signal.

Compte tenu des 30 à 40 dB de dynamique sur laquelle la CAG n'agit pas, le S-mètre ne peut pas indiquer l'amplitude de certains signaux faibles parfaitement décodables. Dans les bandes HF ce handicap n'est pas trop critique compte tenu de l'existence naturelle de bruits atmosphériques et industriels très importants. En VHF et UHF il est à l'origine de sérieuses erreurs d'indication par rapport à la définition physique des points affichés.

En étant directement lié à l'action de la CAG, le S-mètre d'un récepteur ne peut être un instrument de mesure précis et il ne peut être utilisé que pour sa fonction de repérage. Seul un étalonnage de ses indications peut lui permettre de délivrer une information fiable. Pour en exploiter les indications dans un processus de mesure, il est préférable de se limiter aux déviations faibles (en dessous de S-8) compte tenu de la dynamique de variation réduite imposée au signal pour passer de 0 à 9 au-dessus du seuil de CAG et d'un impact moins critique sur le facteur de bruit de réception que pour des déviations plus importantes. L'atténuateur préconisé dans la configuration de test permet de réduire le niveau de signal reçu pour respecter cette recommandation.

La CAG du récepteur devant se comporter différemment suivant les modes de transmission, ses performances de temps de réponse sur les gains à contrôler à l'apparition et à la disparition de signaux forts, sont critiques. En télégraphie, il doit être possible d'entendre entre les signes pour bien les différencier alors qu'en phonie, les remontées de bruit dans les blancs de parole rendent la réception inconfortable. Dans les 2 cas la réaction à l'apparition du signal à recevoir doit être la plus rapide possible. En réception BLU traditionnelle, les temps de réponse obtenus permettent d'assimiler le S-mètre à un indicateur de la puissance « quasi-crête » du signal reçu telle qu'elle est définie dans les recommandations de mesure.

Le S-mètre exploité dans ces conditions apporte ainsi une information complémentaire à l'analyse du signal BF. Il est alors possible de connaître les caractéristiques quasi instantanées et moyennes du signal mesuré. Cet avantage permet d'effectuer une vérification plus précise du respect des normes de rayonnement compte tenu de leur définition. L'étalonnage du S-mètre par injection de signaux HF provenant du générateur calibré est le seul moyen de garantir les résultats obtenus.

## 5- Mesures de bande passante

La connaissance de la bande passante du récepteur est indispensable pour déterminer les valeurs absolues des niveaux de perturbations analysées à partir des mesures effectuées précédemment. Il s'agit d'une opération de qualification préliminaire du récepteur applicable à n'importe quelle fréquence de réception et effectuée une fois pour toute. Elle est inévitable pour prétendre donner des résultats précis compte tenu des degrés d'ondulation importants que la plupart des filtres de réception possèdent. A cet effet, la configuration du banc d'essai est celle de l'étalonnage, le commutateur A étant en position 2 et le B en position 1.

### 5-1 Principe de mesure

Il s'agit d'obtenir par démodulation un signal BF à analyser dont la fréquence peut varier. Pour cela, le mode BLU étant recommandé pour les mesures, le signal BF à mesurer provient du générateur HF dont la fréquence est légèrement décalée par rapport à celle du récepteur, l'amplitude étant directement proportionnelle au niveau HF. L'écart entre les 2 fréquences correspond alors à la fréquence BF analysée. Elle sera directement confirmée sur l'écran de l'analyseur de spectre comme présenté dans les figures 4 à 7.

La mesure est considérée comme suffisamment précise lorsqu'elle est effectuée tous les 100 Hertz à partir de 200 Hertz jusqu'à 3500 Hertz, compte tenu des sélectivités courantes en réception BLU, ce qui correspond à un maximum de 34 points de mesure. Le niveau de sortie du générateur doit être réglé de telle façon que la mesure reste possible sans fluctuation notable sur une dynamique d'au moins 20 dB et sans que la CAG n'agisse ce qui peut se vérifier par l'absence d'indication au S-mètre (S-0).

Les relevés de niveau de chacune des mesures peuvent se faire à partir des indications d'un marqueur de l'analyseur de spectre qui suit l'évolution du signal pas à pas par détection du maximum. Ces niveaux étant exprimés en dB, la méthode consiste à remplir un tableau de résultats sur chacun des points de mesure. Un tableur Excel contenant les formules de traitement des résultats est fortement recommandé pour en simplifier leur exploitation.

Le calcul de la bande passante consiste à déterminer les limites de fréquence BF au-delà desquelles les résultats de mesure n'ont plus d'influence significative sur l'expression du S/B. Pour cela il s'agit d'effectuer l'addition des contributions élémentaires de la puissance de chacun des signaux mesurés en prenant pour référence (0 dB) celle qui correspond au maximum relevé et en lui affectant la valeur 100. Les résultats exprimés en dB relativement à cette référence (différence entre les relevés de chaque mesure et le maximum) peuvent être ainsi convertis en pourcentage de contribution à la puissance totale du signal reçu. La conversion se fait à partir de l'équation suivante :

$$P_i = 10^{(X_i - X_{\max})} \quad (\text{équation 2})$$

dans laquelle  $X_i$  est le résultat du  $i^{\text{ème}}$  point de mesure ( $i$  variant de 1 à 34) en dB et  $X_{\max}$  le maximum des 34 relevés.

Le résultat de l'addition des 34 puissances élémentaires donne une indication du maximum obtenu qui sert de référence. Chacune des mesures contribuant à hauteur du 1/34 de la puissance totale, celles qui sont identifiées en dessous d'un seuil à déterminer ne doivent avoir qu'un impact marginal sur le résultat global. Ce seuil définit les limites de fréquence BF définissant la bande passante recherchée.

### 5-2 Relevés pratiques

A partir de la configuration d'essai définie précédemment, des mesures ont pu être effectuées sur l'équipement commercial déjà qualifié en performances de bruit pour un signal HF d'environ -105 dBm. Les valeurs obtenues sont présentées (en rouge sur fond jaune) dans le tableau de la figure 8 pour un relevé tous les 100 Hertz en ne retenant que 26 valeurs supérieures à -30 dB, définissant ainsi une bande passante utile de 2,6 kHz. La contribution de puissance relative de chaque relevé a été calculée en appliquant l'équation 2 et en se référant à l'écart par rapport à la référence pour le maximum trouvé (à 1200 Hz dans l'exemple). Le total de chacune de ces contributions relatives (% du maximum) fixe une référence de puissance (1278,43) pour le maximum significatif de bande passante. Ce chiffre de puissance divisé par la bande passante définit une densité moyenne à partir de laquelle les écarts de chacune des mesures peuvent être calculés. En bas de tableau l'écart affiché (-3,1 dB) est celui de la moyenne par rapport au maximum ce qui définit l'ondulation maximale du filtre dans sa bande passante.

Une analyse de l'influence d'un filtrage plus sévère est effectuée à partir de ce tableau par comparaison aux résultats les plus précis (largeur de bande maximum) avec ceux obtenus en éliminant tous les relevés situés en dessous de -5 dB, -7 dB et -10 dB. En fixant une erreur admissible de 0,1 dB on constate que le seuil optimum est compris entre -7 dB et -10 dB pour une bande passante utile dans cet exemple de l'ordre de 2,1 kHz. La valeur moyenne étant modifiée par la réduction de bande passante, les écarts de mesure le sont également mais une correction de ces écarts par le rapport des largeurs de bande montre des résultats très proches.

Ces écarts sont importants à connaître pour corriger les mesures de SINAD effectuées à la fréquence BF choisie. Dans l'exemple présenté le choix s'étant porté au centre de bande à 1400 Hertz les valeurs SINAD mesurées doivent être corrigées, d'après le tableau, de -1,9 dB (soit par exemple 21,4 - 1,9 = 19,5 dB à -110

dBm) en prenant en compte la bande passante de 2,6 kHz pour le maximum de précision définissant ainsi un niveau de bruit moyen de  $-110 - 19,5 = -129,5$  dBm.

Dans le cas d'une mesure à 2 kHz de bande passante (seuil à  $-7$  dB), la correction à appliquer ne serait plus que de  $-1,2$  dB (soit  $21,4 - 0,9 = 20,5$  dBm) signifiant que le niveau de bruit moyen est à  $-110 - 20,5 = -130,5$  dBm. Le rapport des bandes passantes donnerait un écart théorique de  $10 \cdot \text{Log}(2600/2100) = 0,93$  dB très proche du résultat mesuré (1 dB).

En résumé, cette méthode d'analyse permet de déterminer le seuil applicable aux relevés BF à effectuer et d'en déduire la valeur utile de bande passante ainsi que les corrections à appliquer aux mesures SINAD. L'existence d'ondulations importantes sur les filtrages de bande BLU montre qu'il est raisonnable de fixer les seuils de mesure aux environs de  $-8$  dB pour obtenir des résultats suffisamment précis.

**Figure 8 : Tableau de mesure pour déterminer la bande passante BF et les corrections**

Fréquence BF en Hz	Relevé (dB)	Ecart/ Max (dB)	Puiss. (%)	Contribution (%) avec filtrage des valeurs			Ecart / Moyenne (dB) à Bp =				
				à -5 dB	à -7 dB	à -10 dB	2,6 KHz	1,8 KHz	2 KHz	2,2 KHz	
200	-11,5	-11,2	7,59	1	0	0	0	-8,1	-9,4	-9,1	-8,8
300	-8,5	-8,2	15,14	1	0	0	15,14	-5,1	-6,4	-6,1	-5,8
400	-6,3	-6,0	25,12	1	0	25,12	1	-2,9	-4,2	-3,9	-3,6
500	-3,5	-3,2	47,86	1	47,86	1	47,86	-0,1	-1,4	-1,1	-0,8
600	-3,3	-3,0	50,12	1	50,12	1	50,12	0,1	-1,2	-0,9	-0,6
700	-3,5	-3,2	47,86	1	47,86	1	47,86	-0,1	-1,4	-1,1	-0,8
800	-3,8	-3,5	44,67	1	44,67	1	44,67	-0,4	-1,7	-1,4	-1,1
900	-3,0	-2,7	53,70	1	53,70	1	53,70	0,4	-0,9	-0,6	-0,3
1000	-1,5	-1,2	75,86	1	75,86	1	75,86	1,9	0,6	0,9	1,2
1100	-0,8	-0,5	89,13	1	89,13	1	89,13	2,6	1,3	1,6	1,9
1200	-0,3	0,0	100,00	1	100,00	1	100,00	3,1	1,8	2,1	2,4
1300	-0,5	-0,2	95,50	1	95,50	1	95,50	2,9	1,6	1,9	2,2
1400	-1,5	-1,2	75,86	1	75,86	1	75,86	1,9	0,6	0,9	1,2
1500	-1,8	-1,5	70,79	1	70,79	1	70,79	1,6	0,3	0,6	0,9
1600	-1,5	-1,2	75,86	1	75,86	1	75,86	1,9	0,6	0,9	1,2
1700	-1,3	-1,0	79,43	1	79,43	1	79,43	2,1	0,8	1,1	1,4
1800	-1,3	-1,0	79,43	1	79,43	1	79,43	2,1	0,8	1,1	1,4
1900	-2,0	-1,7	67,61	1	67,61	1	67,61	1,4	0,1	0,4	0,7
2000	-3,3	-3,0	50,12	1	50,12	1	50,12	0,1	-1,2	-0,9	-0,6
2100	-4,0	-3,7	42,66	1	42,66	1	42,66	-0,6	-1,9	-1,6	-1,3
2200	-4,8	-4,5	35,48	1	35,48	1	35,48	-1,4	-2,7	-2,4	-2,1
2300	-6,0	-5,7	26,92	1	0	26,92	1	-2,6	-3,9	-3,6	-3,3
2400	-8,3	-8,0	15,85	1	0	0	15,85	-4,9	-6,2	-5,9	-5,6
2500	-13,3	-13,0	5,01	1	0	0	0	-9,9	-11,2	-10,9	-10,6
2600	-21,8	-21,5	0,71	1	0	0	0	-18,4	-19,7	-19,4	-19,1
2700	-28,0	-27,7	0,17	1	0	0	0	-24,6	-25,9	-25,6	-25,3
2800			0		0	0	0				
2900			0		0	0	0				
3000			0		0	0	0				
3100			0		0	0	0				
3200			0		0	0	0				
3300			0		0	0	0				
3400			0		0	0	0				
3500			0		0	0	0				
<b>Max =&gt;</b>	<b>-0,3</b>	<b>Total =&gt;</b>	<b>1278,43</b>		<b>1181,94</b>	<b>1233,97</b>	<b>1264,96</b>				
<b>Impact du filtrage =&gt;</b>			<b>0,00 dB</b>		<b>-0,34 dB</b>	<b>-0,15 dB</b>	<b>-0,05 dB</b>				
<b>Nbre de relevés =&gt;</b>			<b>26</b>		<b>18</b>	<b>20</b>	<b>22</b>				
<b>Bande passante eff. =&gt;</b>			<b>2,6 KHz</b>		<b>1,8 KHz</b>	<b>2 KHz</b>	<b>2,2 KHz</b>				
<b>Moyenne / Max =&gt;</b>			<b>-3,1 dB</b>		<b>-1,8 dB</b>	<b>-2,1 dB</b>	<b>-2,4 dB</b>				
<b>Moyenne corrigée (B.p) / Max =&gt;</b>					<b>-3,4 dB</b>	<b>-3,2 dB</b>	<b>-3,1 dB</b>				

Pour faciliter les tâches de calcul un tableur Excel appliquant cette méthode pour des seuils à choisir peut être avantageusement employé. Dans le cas présenté en exemple, on constate qu'il suffit d'effectuer une vingtaine de relevé pour obtenir automatiquement les paramètres BF utiles à affecter au récepteur utilisé quelle que soit la fréquence HF analysée.

## 6- Etalonnage du récepteur

Cette opération est indispensable pour déterminer les valeurs absolues des paramètres HF de la perturbation mesurée. Effectuée en préalable aux mesures effectives, elle définit les paramètres utiles avec la précision des appareils qui en ont permis le déroulement. Dans le schéma de mesure de la figure 1, elle s'effectue à partir de la position 2 du commutateur A et de la position 1 du commutateur B. Le coupleur et l'atténuateur d'antenne n'étant pas utilisés dans ce cas, ils peuvent être supprimés. La mesure de bande passante BF effectuée précédemment

fait partie du processus d'étalonnage. Ses résultats sont pris en compte dans cette nouvelle étape indispensable pour attribuer les valeurs appropriées aux paramètres HF du récepteur.

### 6-1 Estimation du facteur de bruit

Les mesures effectuées à partir d'un générateur HF peuvent servir à déterminer le niveau du bruit de fond reçu tant sur antenne que sur l'agitation thermique de la résistance qui la représente. Le facteur de bruit du récepteur étant, par définition, un multiplicateur de cette agitation on sait en estimer la valeur à partir de la connaissance du rapport S/B réel dans une largeur de bande de réception fixée.

A température ambiante  $T_0$  proche de 27°C (300°K) l'agitation thermique  $KT_0$  vaut  $4 \cdot 10^{-21}$  Watts /Hertz de bande passante, ce qui peut s'exprimer en unité logarithmique comme le dBm par  $KT_0 = -174$  dBm/Hz. Pour une bande passante de réception  $\Delta F$  (en Hertz) le minimum d'agitation thermique vaut  $Kt_0 \cdot \Delta F$  et le facteur de bruit  $F$  d'un récepteur attribue au bruit de fond reçu de la charge fictive une valeur plancher  $B_p = F \cdot Kt_0 \cdot \Delta F$  dont la puissance en dBm équivaut à  $B_p$  (dBm) =  $F$ (dB) - 174 +  $10 \cdot \text{Log}(\Delta F)$ .

Ainsi, à tout rapport SINAD mesuré à partir d'un signal de puissance connue  $S$  correspond un rapport (S/Bp) exprimé en dB permettant de calculer la valeur de  $F$  avec :

$$F \text{ (dB)} = S \text{ (dBm)} - (S/B_p) \text{ dB} - 10 \cdot \text{Log}(\Delta F) + 174 \quad (\text{Equation 3})$$

L'exemple précédent illustré sur la *figure 6* montrant un SINAD de 21,4 dB pour un signal de -110 dBm à l'entrée du récepteur fait correspondre un rapport S/Bp ne nécessitant pas d'être corrigé autrement que pour tenir compte des performances BF à 1,4 kHz (0,9 dB) soit  $S/B_p = 20,5$  dB pour  $\Delta F = 2$  kHz. L'équation 3 donne :

$$F = -110 - 20,5 - 10 \cdot \text{Log}(2000) + 174 = 43,5 - 33 = 10,5 \text{ dB}$$

En partant d'une référence SINAD plus faible comme celle correspondant à -120 dBm affichant 10,9 dB (voir *figure 5*) correspondant à  $S/B_p = 9,5$  dB (correction du SINAD en S/B et de la fréquence 1400 Hz), donnerait  $F = 11,5$  dB. La différence de 1 dB avec l'estimation précédente montre le degré de précision qu'on peut obtenir avec cette méthode compte tenu des fluctuations des mesures. Pour en limiter l'influence, il est recommandé de se fier plus aux valeurs SINAD élevées tant que la CAG de réception n'est pas active (S-mètre à zéro) ou de faire une moyenne des résultats obtenus sur plusieurs relevés à des niveaux différents au-dessous de cette limite.

### 6-2 Résultats de mesure

S'agissant de mesures de perturbations reçues par une antenne les 2 paramètres de niveau (valeur moyenne et quasi-crête) sont à relever et la bande passante est à noter pour effectuer la conversion des résultats aux valeurs préconisées par la norme, si nécessaire et si la nature large bande du signal correspondant est avérée.

**L'analyse de spectre permet de déterminer la valeur moyenne d'un signal et la correspondance en dBm obtenue par étalonnage des indications du S-mètre permet d'en déterminer la valeur quasi-crête.**

Suivant la nature du signal large bande analysé, les rapports entre ces 2 valeurs peuvent varier couramment de 6 dB à 15 dB. Un rapport plus faible serait signe d'une largeur de bande plutôt étroite pouvant nécessiter une analyse plus fine.

Le récepteur utilisé pour traiter les exemples précédents a montré que la CAG commence à agir pour des rapports S/B de l'ordre de 25 dB ce qui signifie que le S-mètre ne donnera aucune indication de valeur quasi-crête pour des perturbations de faible amplitude. Ce cas de figure est fréquent au-dessus de 15 MHz pour la plupart des récepteurs commerciaux, même avec de très bonnes antennes. Dans ce cas, s'il s'avère nécessaire de connaître la valeur quasi-crête (comparaison à une norme par exemple) on peut attribuer une valeur par défaut de 10 dB au-dessus des valeurs moyennes tout en sachant que l'imprécision correspondant à cette estimation peut être de plusieurs dB.

Dans l'exemple de mesure à 7 MHz auquel toutes les figures précédentes se réfèrent, une déviation de S-mètre à S1 était notée pour la seule réception du bruit capté par l'antenne atténuateur à 0 dB. L'étalonnage du S mètre indiquait S1 pour - 97 dBm. La mesure à l'analyseur de spectre a par ailleurs montré une dégradation de 24 dB par rapport au bruit plancher. Pour le facteur de bruit mesuré aux environs de 11 dB et dans une bande de 2 kHz on a  $B_p = -174 + 10 \cdot \text{Log}(2000) + 11 = -130$  dBm.

La perturbation mesurée, étant en valeur moyenne à 24 dB au-dessus de  $B_p$ , correspond à un niveau de signal de -106 dBm. La différence entre les valeurs crête et moyenne est dans ce cas de  $106 - 97 = 9$  dB.

Si la norme de rayonnement applicable à une source de perturbation est définie dans une bande passante différente de celle qui a permis d'en déterminer le niveau, la correction à appliquer est (en dB) de :

$$10 \cdot \text{Log}(\text{Bande passante normalisée/Bande passante de mesure})$$

Dans l'exemple utilisé à 7 MHz, la bande passante normalisée étant de 9 kHz pour une mesure effectuée dans 2 kHz, la correction de niveau à appliquer est de  $10 \cdot \text{Log}(4,5) = 6,5$  dB. Les résultats normalisés seront donc ainsi de - 99,5 dBm en moyenne et - 90,5 dBm en quasi-crête.

*Remarque* : Les mesures effectuées dans l'exemple se rapportent plus au bruit naturel de la bande 7 MHz sans perturbation notable qu'à de véritables perturbations proches du lieu de réception. Celles-ci seraient encore plus facilement qualifiables à des niveaux plus importants. L'objectif de l'exemple est seulement d'expliquer le raisonnement applicable dans tous les cas de figure.

## 7- Conversion en champ électrique

La plupart des normes de rayonnements définissent des limites exprimées en terme de champs électriques ou magnétiques à des distances de séparation avec l'appareil ou le système à contrôler relativement courtes. Ces champs correspondent effectivement à des grandeurs physiques stables, en un lieu précisé, directement liées à la puissance rayonnée. Leur mesure est effectuée par un récepteur associé à une antenne. Si le récepteur utilisé est calibré comme indiqué précédemment, l'antenne doit l'être également. Cette qualification supplémentaire faisant appel à des outils plus complexes, il n'en sera donné que des estimations approchées à partir d'une description de leur grandeur physique.

### 7-1 Relations Puissance-Champ électromagnétique

L'antenne à partir de laquelle les perturbations sont mesurées effectue une transformation du champ électrique  $E$  disponible, à l'endroit où elle est installée, en signal HF dont les caractéristiques sont mesurées par le récepteur auquel elle est reliée. Sa disposition géographique relativement à l'emplacement de la source de perturbation ne permet pas toujours de savoir avec quelle efficacité cette transformation s'effectue. Il est cependant possible d'estimer l'ordre de grandeur des rayonnements en cause en supposant le cas d'un couplage optimal avec la source d'émission parasite définissant ainsi un champ électrique au moins égal à la valeur calculée. Le résultat obtenu par cette transformation ne fait ainsi aucun doute s'il montre un dépassement des limites ou s'il reste au-dessous avec un écart important (d'au moins 10dB). Les valeurs intermédiaires (entre 0 et 10 dB) imposent des mesures complémentaires à l'aide d'antenne calibrées et dans les conditions exactes préconisées par la norme à laquelle on se réfère.

Le facteur de transformation à prendre en compte est directement lié au gain maximum que l'antenne possède à l'endroit où elle est installée. La proximité de la source de perturbation relativement à la longueur d'onde correspondant à la fréquence de mesure pose un problème de choix de valeur du gain. Par principe on retient le gain isotropique ( $G_i$ ) en espace libre dans l'axe le plus privilégié. L'effet de réflexion du sol est effectivement plus sensible sur le gain apparent à de grandes distances (centaines de mètres en bande HF et plusieurs dizaines de mètres en VHF). On peut raisonnablement retenir les valeurs de gain suivantes (à titre indicatif) pour divers type d'antennes courantes accordées aux fréquences exploitées :

- Antennes horizontales de dimensions comprises entre 1/3 et 2/3 d'onde : 2 dBi
- Antenne horizontale longue ( plus que la longueur d'onde ) : 5 dBi
- Antennes verticales de dimensions comprises entre 1/6 et 1/3 d'onde : 0 dBi
- Antennes verticales de dimensions supérieures à 1/2 d'onde : Gain annoncé en dBi
- Antennes mobiles de 2m à 2m50 au-dessus de 21 MHz : -4dBi à -2 dBi (suivant la qualité)
- Antennes mobiles de 2m à 2m50 entre 10 et 21 MHz : -6 dBi à -4 dBi (suivant la qualité)
- Antennes mobiles de 2m à 2m50 entre 7 et 10 MHz : -6 dBi à -4 dBi (suivant la qualité)
- Antennes mobiles à 3,7 MHz : -12 dBi à -15 dBi (suivant la qualité)
- Antenne Yagi HF à distance inférieure à 50m : Gain annoncé en dBi - 2 dB
- Antenne Yagi VHF à plus de 20m et HF à plus de 50m : Gain annoncé en dBi

La référence à l'isotropie pour le rayonnement d'une antenne est justifiée par l'hypothèse qui lui associe le même champ électrique au rayonnement d'un signal de puissance ( $P_e$ ) à une distance ( $d$ ) entre le lieu d'émission et celui de réception. Le champ électrique dans cette hypothèse s'exprime par :

$$E = (30 \cdot P_e)^{1/2} / d \quad \text{avec } E \text{ en V/m, } P_e \text{ en Watts et } d \text{ en mètres}$$

A partir d'une distance ( $d_m$ ) suffisante (de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde) pour que l'onde soit formée, le champ magnétique  $H$  est associé au champ électrique  $E$  par la relation  $H = E/120\pi$  (en A/m).

Ces équations de champ montrent qu'au-delà de  $d_m$  et dans des conditions de dégagement d'antenne permettant d'appliquer l'hypothèse d'espace libre (vue directe), la décroissance de champ est inversement proportionnelle à la distance.

En réception sur une antenne isotropique, la relation entre le champ existant sur une fréquence définie et la puissance disponible  $P_r$  du signal radioélectrique  $y$  correspondant est :

$$P_r = (\lambda^2/4\pi) \cdot (E^2/120\pi) \quad \text{avec } \lambda \text{ (en m)} = 300/F_r \text{ ou } F_r = \text{Fréquence en MHz}$$

En pratique le gain effectif des antennes est à prendre en compte en multipliant  $P_r$  par le facteur d'amplification  $G_i$  qui en traduit l'expression. On introduit ainsi une notion de directivité favorisant la réception sur un ou plusieurs axes privilégiés dans un espace à 3 dimensions. Le même raisonnement s'applique également en émission.

L'ensemble de ces expressions qualifiant des phénomènes physiques associés aux antennes radio, peut s'appliquer à des calculs logarithmiques en dB et se résumer ainsi par les relations suivantes :

$$E = Pe - 20 \cdot \text{Log}(d) + 104,77 + Gi, H = Pe - 20 \cdot \text{Log}(d) + 53,24 + Gi \text{ et } Pr = E - 20 \cdot \text{Log}(Fr) - 77,21 + Gi$$

Avec  $Pe$  et  $Pr$  en dBm,  $d$  en mètres,  $E$  en dB $\mu$ V/m,  $H$  en dB $\mu$ A/m,  $Fr$  en MHz et  $Gi$  en dBi

## 7-2 Corrections distance-hauteur

S'il est possible à partir des relations précédentes de quantifier les champs électriques ( $E$ ) ou magnétiques ( $H$ ) disponibles à l'emplacement physique de l'antenne de réception, il est quasiment improbable que celle-ci se trouve exactement à l'endroit préconisé pour effectuer les mesures de rayonnement normalisées ( $E_n$  ou  $H_n$ ). Quantifier les valeurs de champ que ces mesures fourniraient à partir des relevés effectués consiste à convertir les résultats en appliquant la loi de propagation appropriée. Pour cela il est possible d'appliquer l'hypothèse de variation des champs en espace libre, corrigée pour tenir compte de l'environnement des antennes utilisées.

Ces corrections, principalement attribuables à des effets de distance, sont beaucoup plus critiques en HF qu'en VHF compte tenu du principe de formation des ondes électromagnétiques au-delà d'une limite à partir de laquelle la théorie d'espace libre peut s'appliquer. Les formules simples exprimant ces corrections d'environnement ne sont malheureusement qu'approximatives en s'appuyant plus sur l'expérience du terrain que sur des équations physiques. Elles doivent également vérifier des conditions de validité bien définies et compatibles avec l'installation effective de l'antenne par rapport à la source perturbatrice. Ces contraintes imposent de connaître la localisation de cette source ce qui n'est malheureusement pas toujours possible. Dans ce cas on doit se contenter d'en supposer la localisation dans l'environnement immédiat et à la distance la plus probable pour aviser ensuite en fonction des résultats obtenus.

Toute correction de distance implique également une correction de hauteur d'antenne au-dessus du sol tant pour celle utilisée en réception que pour celle servant à effectuer les mesures de qualification des produits mis en cause. La combinaison de ces corrections pouvant aboutir à des formules de correction complexes, seuls quelques cas typiques sont pris en compte :

- Les antennes de réception étant supposées être suffisamment dégagées en installation fixe, la correction de hauteur ( $Cha$ ) n'est à appliquer qu'en installation mobile sur un toit de véhicule avec  $Cha = 3$  dB en HF ou  $Cha = 6$  dB en VHF
- La mesure de qualification est supposée être effectuée avec une recherche du maximum de champ à une distance normalisée sur variation de hauteur de l'antenne de mesure, la correction spécifique  $Chn$  (identique à  $Cha$ ) n'est à appliquer si elle reste à moins de 2m du sol.
- La distance au-delà de laquelle les formules utilisées ne sont plus applicables est fixée à 200m en HF ou 100m en VHF pour des antennes de station fixe et à 100m pour toute antenne mobile en visibilité avec l'emplacement présumé de la source de perturbation.
- Dans tous les cas on considère que l'antenne de réception est à plus de 10m de la source.

La définition pour les fréquences étant d'être en HF au-dessous de 30 MHz et en VHF au-dessus de 100 MHz, les corrections applicables à toute fréquence située entre 30 et 100 MHz se déduisent par interpolation des résultats obtenus dans les 2 cas de figures,

La formule de calcul des corrections à appliquer en fonction de la distance, dans les limites définies et en tenant compte des hauteurs d'antennes est la suivante :

$$E_n(\text{ou } H_n) = E(\text{ou } H)_{\text{mesuré}} + 20 \cdot \text{Log}(d/d_n) + Cha + Cda - Chn + Cdn \quad (\text{équation 4}) \text{ avec :}$$

- ⇒  $E_n$  (ou  $H_n$ ) = Champ électrique (ou magnétique) mesuré suivant la norme applicable.
- ⇒  $E$  (ou  $H$ ) = Champ électrique (ou magnétique) mesuré par l'antenne de réception.
- ⇒  $d$  = distance séparant l'antenne de réception de la source rayonnante.
- ⇒  $d_n$  = distance normalisée à laquelle les mesures de rayonnement doivent se faire.
- ⇒  $Cda$  = Correction de distance applicable à l'antenne de réception avec  $Cda = 4 \cdot \text{Log}(d/30)$  pour  $d$  compris entre 10m et 30m en HF ou  $Cda = 0$  en VHF ou pour  $d$  supérieur à 30m quelle que soit la fréquence.
- ⇒  $Cha$  = Correction de hauteur applicable à l'antenne de réception avec  $Cha = 3$  en HF (ou  $Cha = 6$  en VHF) sur antenne mobile ou  $Cha = 0$  sur antenne de station fixe quelle que soit la fréquence.
- ⇒  $Cdn$  = Correction de distance applicable à l'antenne normalisée avec  $Cdn = 4 \cdot \text{Log}(d_n/30)$  pour  $d_n$  compris entre 10m et 30m (ou  $Cdn = 8 \cdot \text{Log}(d_n/30) - 1,91$  pour  $d_n$  compris entre 3m et 10m) en HF ou  $Cdn = 0$  en VHF ou pour  $d_n$  supérieur à 30m quelle que soit la fréquence.
- ⇒  $Chn$  = Correction de hauteur applicable à l'antenne normalisée avec  $Chn = 3$  en HF (ou  $Chn = 6$  en VHF) pour une qualification sur antenne basse (à moins de 2m du sol) ou  $Chn = 0$  pour une qualification avec recherche de maximum quelle que soit la fréquence.

### 7-3 Exemples pratiques

La transformation des mesures effectuées sur la réception d'une perturbation en données de champs électriques ou magnétiques ayant pour but de comparer son rayonnement avec des limites normalisées, un procédé de calcul rigoureux et d'apparence complexe est nécessaire. Les 3 exemples présentés à diverses fréquences permettent d'en illustrer les étapes et d'expliquer les résultats pratiques obtenus. Un tableur Excel appliquant les diverses équations et les conditions d'environnement de chaque cas facilite le calcul.

Dans ces 3 cas la référence normalisée est la NB30 allemande à laquelle beaucoup d'autorités de régulation s'intéressent aujourd'hui. Les limites qu'elle fixe sont définies à 3m de distance de la source mesurée en appliquant une méthode de recherche du maximum par variation de hauteur d'antenne ( $d_n=3$ ,  $Ch_n=0$  et  $Cd_n$  dépend de la fréquence). Les limites étant définies en valeurs quasi-crête, les valeurs moyennes applicables sont considérées être à -10 dB.

- En HF la bande passante de mesure est fixée à 9 kHz, l'expression des limites applicables est définie en  $dB\mu V/m$  par  $40 - 8,8 * \text{Log}(\text{Fréquence})$
- En VHF la bande passante de mesure est fixée à 120 kHz, la limite applicable est de  $40 dB\mu V/m$

1<sup>er</sup> exemple : Mesure effectuée sur le terrain à 23 mètres d'une source de bruit à 7 MHz à l'aide d'un récepteur installé sur un véhicule de mesure avec antenne accordée ( $G_i = -5$  dBi) reliée au récepteur par un câble ayant une perte de 0,5 dB à cette fréquence.

- Facteur de bruit du récepteur = 11 dB
- Mesure de dégradation en réception dans 2,1 kHz de bande passante = 33 dB

Les résultats de calcul et les paramètres pris en compte sont résumés dans le tableau (Excel) suivant :

<b>Fréquence = 7,0 MHz</b>	
Part HF à	100,00 %
Part VHF à	0,00 %
<b>A partir des paramètres du récepteur :</b>	
Facteur de bruit :	11,0 dB
Bande passante :	2,10 kHz
Dégradation mesurée :	33,0 dB
Plancher de bruit :	-129,8 dBm
<b>Niveau de perturbation :</b>	<b>-96,8 dBm</b>
<b>Champ électrique sur antenne de réception :</b>	
Antenne Mobile (M) ou Fixe (F) :	M Cha = 3,0 dB
Antenne retenue :	Mobile
Distance antenne :	23 m ; Cda = -0,5 dB
Gain isotropique estimé :	-5,0 dBi
Pertes du câble d'antenne :	0,5 dB
<b>Champ moyen mesuré :</b>	<b>2,8 dB<math>\mu</math>V/m</b>
<b>Conversion aux conditions normalisées :</b>	
Mesure fixe a h<2m ?	N O (Oui) ou N (Non)
Réponse retenue :	Non
Mesure par recherche du maximum :	Chn = 0,0 dB
Distance normalisée :	3 m ; Cdn = -6,1 dB
<b>Champ moyen normalisé :</b>	<b>17,9 dB<math>\mu</math>V/m</b>
<b>Comparaison à la norme NB30 :</b>	
Bande passante de mesure :	9,0 KHz
<b>Champ E dans Bp normalisée :</b>	<b>24,2 dB<math>\mu</math>V/m</b>
<b>Limite quasi crête :</b>	<b>32,6 dB<math>\mu</math>V/m</b>
<b>Limite moyenne :</b>	<b>22,6 dB<math>\mu</math>V/m</b>
<b>Ecart mesure - limite :</b>	<b>1,7 dB</b>

La conclusion de cette mesure est qu'il y a une très forte suspicion de dépassement des limites de rayonnement parasite par la source mesurée.

2<sup>ème</sup> exemple : Mesure effectuée sur une installation fixe à 40 mètres d'une source de bruit à 145 MHz et à l'aide d'un récepteur fixe relié à une antenne Yagi 9 éléments ayant un gain de 13 dBi par un câble ayant une perte de 2 dB à cette fréquence.

- Facteur de bruit du récepteur = 5 dB
- Mesure de dégradation en réception dans 2,1 kHz de bande passante = 9 dB

Les résultats de calcul et les paramètres pris en compte sont résumés dans le tableau (Excel) suivant :

<b>Fréquence = 145,0 MHz</b>	
Part HF à	0,00 %
Part VHF à	100,00 %
<b>A partir des paramètres du récepteur :</b>	
Facteur de bruit :	5,0 dB
Bande passante :	2,10 kHz
Dégradation mesurée :	9,0 dB
Plancher de bruit :	-135,8 dBm
<b>Niveau de perturbation :</b>	<b>-126,8 dBm</b>
<b>Champ électrique sur antenne de réception :</b>	
Antenne Mobile (M) ou Fixe (F) :	<b>F</b> Cha = 0,0 dB
Antenne retenue :	<b>Fixe</b>
Distance antenne :	<b>40</b> m ; Cda = 0,0 dB
Gain isotropique estimé :	<b>13,0</b> dBi
Pertes du câble d'antenne :	<b>2,0</b> dB
<b>Champ moyen mesuré :</b>	<b>-17,3 dB<math>\mu</math>V/m</b>
<b>Conversion aux conditions normalisées :</b>	
Mesure fixe a h<2m ?	<b>N</b> O (Oui) ou N (Non)
Réponse retenue :	<b>Non</b>
Mesure par recherche du maximum :	Chn = 0,0 dB
Distance normalisée :	<b>3</b> m ; Cdn = 0,0 dB
<b>Champ moyen normalisé :</b>	<b>5,2 dB<math>\mu</math>V/m</b>
<b>Comparaison à la norme NB30 :</b>	
Bande passante de mesure :	120,0 KHz
<b>Champ E dans Bp normalisée :</b>	<b>22,7 dB<math>\mu</math>V/m</b>
<b>Limite quasi crête :</b>	<b>40,0 dB<math>\mu</math>V/m</b>
<b>Limite moyenne :</b>	<b>30,0 dB<math>\mu</math>V/m</b>
<b>Ecart mesure - limite :</b>	<b>-7,3 dB</b>

La conclusion de cette mesure est que, malgré une désensibilisation notable en réception sur cette installation fixe, la probabilité d'identifier un rayonnement parasite dépassant les limites autorisées par la norme est très faible.

3<sup>ème</sup> exemple : Mesure effectuée sur sur une installation fixe à 25 m d'une source de bruit à 50,2 MHz et à l'aide d'un récepteur relié à une antenne Yagi 3 éléments ayant un gain de 7,5 dBi par un câble ayant une perte de 1,3 dB à cette fréquence :

- Facteur de bruit du récepteur = 5 dB
- Mesure de dégradation en réception dans 2,1 kHz de bande passante = 12 dB

L'intérêt de cet exemple est que la fréquence est située entre 30 et 100 MHz et qu'il s'agit d'appliquer une interpolation sur les paramètres de correction qui en tiennent compte. Cette interpolation est basée sur une notion de poids relatif au rapport entre la limite supérieure HF (30MHz) et la limite inférieure VHF (100 MHz). Les pourcentages appliqués aux formules de correction appropriées apparaissent dans le tableau. Cette estimation assurant une transition raisonnable entre les limites donne des résultats satisfaisants.

Les résultats de calcul et les paramètres pris en compte sont résumés dans le tableau (Excel) suivant :

<b>Fréquence = 50,2 MHz</b>	
Part HF à	71,14 %
Part VHF à	28,86 %
<b>A partir des paramètres du récepteur :</b>	
Facteur de bruit :	5,0 dB
Bande passante :	2,10 kHz
Dégradation mesurée :	12,0 dB
Plancher de bruit :	-135,8 dBm
<b>Niveau de perturbation :</b>	<b>-123,8 dBm</b>
<b>Champ électrique sur antenne de réception :</b>	
Antenne Mobile (M) ou Fixe (F) :	<b>F</b> Cha = 0,0 dB
Antenne retenue :	<b>Fixe</b>
Distance antenne :	<b>25</b> m ; Cda = -0,2 dB
Gain isotropique estimé :	<b>7,5</b> dBi
Pertes du câble d'antenne :	<b>1,3</b> dB
<b>Champ moyen mesuré :</b>	<b>-18,8 dBμV/m</b>
<b>Conversion aux conditions normalisées :</b>	
Mesure fixe a h<2m ?	<b>N</b> O (Oui) ou N (Non)
Réponse retenue :	<b>Non</b>
Mesure par recherche du maximum :	Chn = 0,0 dB
Distance normalisée :	<b>3</b> m ; Cdn = -4,3 dB
<b>Champ moyen normalisé :</b>	<b>-4,4 dBμV/m</b>
<b>Comparaison à la norme NB30 :</b>	
Bande passante de mesure :	120,0 KHz
<b>Champ E dans Bp normalisée :</b>	<b>13,1 dBμV/m</b>
<b>Limite quasi crête :</b>	<b>40,0 dBμV/m</b>
<b>Limite moyenne :</b>	<b>30,0 dBμV/m</b>
<b>Ecart mesure - limite :</b>	<b>-16,9 dB</b>

La conclusion de cette mesure est que, malgré une désensibilisation notable en réception sur cette installation fixe, le rayonnement parasite mesuré ne dépasse les limites autorisées compte tenu de l'écart très important existant entre le résultat et la norme.

## **8 - Conclusion**

La méthode de mesure présentée dans ce document permet de déterminer s'il est nécessaire de s'alarmer sur la présence d'une perturbation dans l'environnement immédiat d'une installation radioélectrique à l'aide de moyens simples mais correctement calibrés. Les résultats obtenus dans la première phase de calcul pour déterminer le niveau reçu à l'antenne ont pu être comparés à ceux effectués par des appareils professionnels possédant des filtres de meilleure qualité que ceux du récepteur utilisé et répondant rigoureusement aux normes d'usage dans les laboratoires agréés. Les écarts observés dans cette comparaison ne dépassaient jamais 1 à 1,5 dB dans les pires cas.

La deuxième phase de calcul est donnée à titre indicatif pour aider l'opérateur intéressé à comprendre de quelle façon interpréter les résultats précédents en se référant à des normes applicables aux produits susceptibles de perturber la réception. Si cette aide ne prétend pas donner des résultats aussi précis que les précédents, elle peut servir à orienter les plaintes qui devraient pouvoir être déposées soit sur un aspect technique relativement à une norme, soit sur un aspect du respect du bon droit de chacun.

Il est fortement recommandé d'utiliser les tableurs de calcul (Excel) permettant de résoudre toutes les équations d'interprétation des mesures sans risque d'erreurs à partir d'un nombre limité d'information de réception. Un exemple d'utilisation est présenté en annexe. La page de résultats est simplifiée pour ne nécessiter que les 3 données de réception du signal sur la fréquence d'essai choisie, les informations relatives aux antennes étant estimées. Les pages d'étalonnage du récepteur utilisé s'appuient sur un grand nombre de mesures à effectuer une fois pour toutes sur l'ensemble des fréquences auxquelles des mesures peuvent être effectuées.

## ANNEXE : Exemple d'utilisation du tableur de calcul

La page de résultats du tableur regroupe les relevés de mesure à la fréquence d'essai (3 valeurs à introduire en rouge sur fond jaune). Les performances de réception à la fréquence la plus proche sur laquelle l'étalonnage a été effectué sont rappelés automatiquement en bleu.

Les paramètres d'antenne de l'exemple sont ceux d'une antenne de station fixe de type dipôle demi-onde.

La norme de référence applicable au produit rayonnant mesuré est supposée être la NB30

Les résultats sur les valeurs de champ électrique sont donnés à l'antenne et à la distance normalisée en valeur quasi-crête et en valeur moyenne.

Les résultats de comparaison par rapport aux limites normalisées apparaissent en vert surlignés en bleu clair

### CALCUL DES CHAMPS ELECTRIQUES A partir des relevés étalonnés en réception

<b>Fréquence de mesure =</b>	<b>14,00</b>	<b>MHz</b>
Part HF à	100,00	%
Part VHF à	0,00	%

<b>A partir des paramètres du récepteur :</b>		
Calibration de la fréquence :	<b>14,15</b>	
Facteur de bruit :	<b>8,0</b>	dB
Bande passante :	<b>2,10</b>	kHz
Relevé indication du S-mètre	<b>7</b>	entre 0 et 8
Indication S retenue :	7	Reduct. Bruit = -5,9 dB
Atténuation externe / Antenne :	<b>5,0</b>	dB
Niveau quasi-crête de perturb:	-97,5	dBm
Dégradation moyenne / analyseur :	<b>17,0</b>	dB
<b>Dégradation moyenne réelle :</b>	<b>27,9</b>	<b>dB</b>
Plancher de bruit :	-132,8	dBm
<b>Niveau moyen de perturb. :</b>	<b>-104,9</b>	<b>dBm</b>
<b>Ecart quasi-crête-moyenne :</b>	<b>7,4</b>	<b>dB</b>

#### **Etalonnage S-mètre**

S :	Niveau HF
1	<b>-102,5</b> dBm
2	<b>-101,5</b> dBm
3	<b>-100,5</b> dBm
4	<b>-100</b> dBm
5	<b>-99,5</b> dBm
6	<b>-98,5</b> dBm
7	<b>-97,5</b> dBm
8	<b>-95</b> dBm

<b>Champ électrique sur antenne de réception :</b>		
Antenne Mobile (M) ou Fixe (F) :	<b>F</b>	Cha = 0,0 dB
Antenne retenue :	<b>Fixe</b>	
Distance antenne :	<b>45</b>	m ; Cda = 0,0 dB
Gain isotropique estimé :	<b>2,0</b>	dBi
Pertes du câble d'antenne :	<b>1,0</b>	dB
<b>Champ moyen mesuré :</b>	<b>-5,8</b>	<b>dBµV/m</b>

<b>Conversion aux conditions normalisées :</b>		
Mesure fixe à h<2m ?	<b>N</b>	O (Oui) ou N (Non)
Réponse retenue :	<b>Non</b>	
Mesure par recherche du maximum :	Chn =	0,0 dB
Distance normalisée :	<b>3</b>	m ; Cdn = -6,1 dB
<b>Champ moyen normalisé :</b>	<b>11,7</b>	<b>dBµV/m</b>

<b>Comparaison à la norme NB30 :</b>		
Bande passante normalisée :	9,0	kHz
<b>E quasi-crête dans BP normalisée :</b>	<b>25,4</b>	<b>dBµV/m</b>
<b>E moyen dans Bp normalisée :</b>	<b>18,0</b>	<b>dBµV/m</b>
<b>Limite quasi-crête précisée:</b>	<b>29,9</b>	<b>dBµV/m</b>
<b>Limite moyenne estimée :</b>	<b>19,9</b>	<b>dBµV/m</b>
<b>Ecart mesure- limite (quasi-crête) :</b>	<b>-4,5</b>	<b>dB</b>
<b>Ecart mesure- limite (moyenne) :</b>	<b>-1,9</b>	<b>dB</b>

La page d'étalonnage BF contient 26 relevés BF de 200 à 2700 Hertz. Le choix du filtrage à -8 dB indique un écart de 0,1 dB par rapport au maximum mesurable pour une ondulation de 2,3 dB dans la bande passante de 2,1 kHz.

Les corrections à appliquer aux 8 fréquences proposées pour effectuer les mesures de réception sont indiquées en bleu.

### Calcul des paramètres de réception utiles

#### A partir de relevés d'étalonnage BF

Seuil de filtrage choisi : **-8,0** dB <= (Recommandé de -6 à -12 dB)

Valeur de seuil retenue : **-8,0** dB

Fréquence BF en Hz	Relevé (dB)	Ecart/Max (dB)	Puissance (%)		Contribution Filtrée (%)		Correction retenue
200	<b>-11,5</b>	-11,2	7,59	1		0	
300	<b>-8,5</b>	-8,2	15,14	1		0	
400	<b>-6,3</b>	-6,0	25,12	1	25,12	1	
500	<b>-3,5</b>	-3,2	47,86	1	47,86	1	
600	<b>-3,3</b>	-3,0	50,12	1	50,12	1	
700	<b>-3,5</b>	-3,2	47,86	1	47,86	1	
800	<b>-3,8</b>	-3,5	44,67	1	44,67	1	
900	<b>-3,0</b>	-2,7	53,70	1	53,70	1	
1000	<b>-1,5</b>	-1,2	75,86	1	75,86	1	
1100	<b>-0,8</b>	-0,5	89,13	1	89,13	1	
1200	<b>-0,3</b>	<b>0,0</b>	<b>100,00</b>	1	100,00	1	<b>-2,3 dB</b>
1300	<b>-0,5</b>	<b>-0,2</b>	<b>95,50</b>	1	95,50	1	<b>-2,1 dB</b>
1400	<b>-1,5</b>	<b>-1,2</b>	<b>75,86</b>	1	75,86	1	<b>-1,1 dB</b>
1500	<b>-1,8</b>	<b>-1,5</b>	<b>70,79</b>	1	70,79	1	<b>-0,8 dB</b>
1600	<b>-1,5</b>	<b>-1,2</b>	<b>75,86</b>	1	75,86	1	<b>-1,1 dB</b>
1700	<b>-1,3</b>	<b>-1,0</b>	<b>79,43</b>	1	79,43	1	<b>-1,3 dB</b>
1800	<b>-1,3</b>	<b>-1,0</b>	<b>79,43</b>	1	79,43	1	<b>-1,3 dB</b>
1900	<b>-2,0</b>	<b>-1,7</b>	<b>67,61</b>	1	67,61	1	<b>-0,6 dB</b>
2000	<b>-3,3</b>	-3,0	50,12	1	50,12	1	
2100	<b>-4,0</b>	-3,7	42,66	1	42,66	1	
2200	<b>-4,8</b>	-4,5	35,48	1	35,48	1	
2300	<b>-6,0</b>	-5,7	26,92	1	26,92	1	
2400	<b>-8,3</b>	-8,0	15,85	1	15,85	1	
2500	<b>-13,3</b>	-13,0	5,01	1		0	
2600	<b>-21,8</b>	-21,5	0,71	1		0	
2700	<b>-28,0</b>	-27,7	0,17	1		0	
2800				0		0	
2900				0		0	
3000				0		0	
3100				0		0	
3200				0		0	
3300				0		0	
3400				0		0	
<b>Max =&gt;</b>	<b>-0,3 dB</b>	<b>Total =&gt;</b>	<b>1278,43</b>		<b>1249,82</b>		
<b>Impact du filtrage à -8 dB=&gt;</b>			<b>(Ref. 0dB)</b>		<b>-0,10 dB</b>		
<b>Nombre de relevés utiles =&gt;</b>			<b>26</b>		<b>21</b>		
<b>Bande passante effective =&gt;</b>			<b>2,6 kHz</b>		<b>2,1 kHz</b>		
<b>Ondulation maximum =&gt;</b>			<b>3,1 dB</b>		<b>2,3 dB</b>		

**La page d'étalonnage HF** détermine tous les paramètres applicables en mode BLU au récepteur utilisé sur 8 fréquences choisies dans différentes bandes amateur HF. A chacune de ces fréquences un étalonnage précis est effectué permettant de calculer le facteur de bruit à partir d'un relevé de niveau HF pour obtenir un rapport SINAD choisi (16 dB dans l'exemple) à la fréquence BF de test (1400 Hz dans l'exemple) compte tenu des paramètres de sélectivité et de corrections déterminés par l'étalonnage BF précédent.

Un étalonnage du S-mètre est également effectué sur les 8 fréquences HF pour permettre de mesurer les valeurs quasi-crêtes et déterminer la réduction de bruit que la CAG du récepteur apporte. Les valeurs utilisées dans le calcul des résultats sont rappelées en bleu pour être directement exploitées sur la page correspondante.

A titre indicatif les valeurs des écarts entre points S sont indiquées... Le résultat variant de 0,8 dB et 2,1 dB sur l'exemple présenté montre qu'elles ne correspondent pas du tout aux recommandations de 6 dB ce qui n'empêche pas de faire les mesures.

## MESURES HF SUR RECEPTEUR

Fréquence du signal choisie pour l'analyse BF : **1400** Hertz <= ( *Entre 1200 et 1900 Hertz !* )

Fréquence retenue : **1400** Hz

Correction retenue : **-1,1** dB Bande passante : **2100** Hz

**Etalonnage :** Les fréquences utilisées pour les mesures sont rangées par ordre croissant

Mesure de sensibilité : SINAD lu = **16 dB** (SINAD vrai = **14,9** dB) ou S/B = **14,8**

Fréquence (MHz)	Relevé (dBm)	Niveau de bruit (dBm)	Facteur de bruit (dB)	Fréquence (MHz)	Relevé (dBm)	Niveau de bruit (dBm)	Facteur de bruit (dB)
<b>3,70</b>	<b>-115,0</b>	-129,8	<b>11,0</b>	<b>18,15</b>	<b>-118,5</b>	-133,3	<b>7,5</b>
<b>7,05</b>	<b>-116,0</b>	-130,8	<b>10,0</b>	<b>21,20</b>	<b>-117,0</b>	-131,8	<b>9,0</b>
<b>10,15</b>	<b>-116,5</b>	-131,3	<b>9,5</b>	<b>24,95</b>	<b>-117,5</b>	-132,3	<b>8,5</b>
<b>14,15</b>	<b>-118,0</b>	-132,8	<b>8,0</b>	<b>28,50</b>	<b>-117,0</b>	-131,8	<b>9,0</b>

Etalonnage du S-mètre :

Correspondance à l'indication S du niveau de **signal HF en dBm** injecté et de la **réduction de bruit en dB** par la CAG mesurée à l'analyseur de spectre BF

Fréquence (MHz)	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	
<b>3,70</b>	<b>-98,5</b>	<b>-98,0</b>	<b>-97,0</b>	<b>-96,0</b>	<b>-95,0</b>	<b>-94,0</b>	<b>-93,0</b>	<b>-91,5</b>	dBm (géné.)
	<b>-3,2</b>	<b>-4,0</b>	<b>-4,2</b>	<b>-5,0</b>	<b>-6,0</b>	<b>-6,5</b>	<b>-7,5</b>	<b>-8,5</b>	dB/Bruit (lu)
	<b>-2,1</b>	<b>-2,9</b>	<b>-3,1</b>	<b>-3,9</b>	<b>-4,9</b>	<b>-5,4</b>	<b>-6,4</b>	<b>-7,4</b>	dB/Bruit reel
<b>7,05</b>	<b>-98,5</b>	<b>-97,5</b>	<b>-97,0</b>	<b>-96,0</b>	<b>-95,5</b>	<b>-94,5</b>	<b>-93,5</b>	<b>-91,5</b>	dBm (géné.)
	<b>-3,2</b>	<b>-4,0</b>	<b>-4,2</b>	<b>-5,0</b>	<b>-6,0</b>	<b>-6,5</b>	<b>-7,5</b>	<b>-8,5</b>	dB/Bruit (lu)
	<b>-2,1</b>	<b>-2,9</b>	<b>-3,1</b>	<b>-3,9</b>	<b>-4,9</b>	<b>-5,4</b>	<b>-6,4</b>	<b>-7,4</b>	dB/Bruit reel
<b>10,15</b>	<b>-99,5</b>	<b>-98,5</b>	<b>-98,0</b>	<b>-97,5</b>	<b>-96,5</b>	<b>-95,5</b>	<b>-94,5</b>	<b>-92,5</b>	dBm (géné.)
	<b>-2,7</b>	<b>-3,3</b>	<b>-4,2</b>	<b>-4,5</b>	<b>-5,7</b>	<b>-6,1</b>	<b>-6,5</b>	<b>-8,2</b>	dB/Bruit (lu)
	<b>-1,6</b>	<b>-2,2</b>	<b>-3,1</b>	<b>-3,4</b>	<b>-4,6</b>	<b>-5,0</b>	<b>-5,4</b>	<b>-7,1</b>	dB/Bruit reel
<b>14,15</b>	<b>-102,5</b>	<b>-101,5</b>	<b>-100,5</b>	<b>-100,0</b>	<b>-99,5</b>	<b>-98,5</b>	<b>-97,5</b>	<b>-95,0</b>	dBm (géné.)
	<b>-3,2</b>	<b>-4,0</b>	<b>-4,5</b>	<b>-4,7</b>	<b>-5,5</b>	<b>-6,2</b>	<b>-7,0</b>	<b>-7,8</b>	dB/Bruit (lu)
	<b>-2,1</b>	<b>-2,9</b>	<b>-3,4</b>	<b>-3,6</b>	<b>-4,4</b>	<b>-5,1</b>	<b>-5,9</b>	<b>-6,7</b>	dB/Bruit reel
<b>18,15</b>	<b>-102,5</b>	<b>-101,5</b>	<b>-100,5</b>	<b>-100,0</b>	<b>-99,0</b>	<b>-98,0</b>	<b>-97,5</b>	<b>-95,0</b>	dBm (géné.)
	<b>-2,7</b>	<b>-3,5</b>	<b>-4,0</b>	<b>-4,5</b>	<b>-5,0</b>	<b>-6,0</b>	<b>-6,7</b>	<b>-8,5</b>	dB/Bruit (lu)
	<b>-1,6</b>	<b>-2,4</b>	<b>-2,9</b>	<b>-3,4</b>	<b>-3,9</b>	<b>-4,9</b>	<b>-5,6</b>	<b>-7,4</b>	dB/Bruit reel
<b>21,20</b>	<b>-101,5</b>	<b>-101,0</b>	<b>-100,0</b>	<b>-99,0</b>	<b>-98,0</b>	<b>-97,0</b>	<b>-96,5</b>	<b>-94,0</b>	dBm (géné.)
	<b>-2,7</b>	<b>-3,7</b>	<b>-4,0</b>	<b>-4,5</b>	<b>-5,6</b>	<b>-6,0</b>	<b>-6,5</b>	<b>-8,0</b>	dB/Bruit (lu)
	<b>-1,6</b>	<b>-2,6</b>	<b>-2,9</b>	<b>-3,4</b>	<b>-4,5</b>	<b>-4,9</b>	<b>-5,4</b>	<b>-6,9</b>	dB/Bruit reel
<b>24,95</b>	<b>-102,5</b>	<b>-102,0</b>	<b>-101,5</b>	<b>-100,5</b>	<b>-100,0</b>	<b>-99,0</b>	<b>-98,0</b>	<b>-96,0</b>	dBm (géné.)
	<b>-3,2</b>	<b>-3,7</b>	<b>-4,2</b>	<b>-5,0</b>	<b>-5,5</b>	<b>-6,1</b>	<b>-7,0</b>	<b>-8,5</b>	dB/Bruit (lu)
	<b>-2,1</b>	<b>-2,6</b>	<b>-3,1</b>	<b>-3,9</b>	<b>-4,4</b>	<b>-5,0</b>	<b>-5,9</b>	<b>-7,4</b>	dB/Bruit reel
<b>28,50</b>	<b>-102,5</b>	<b>-102,0</b>	<b>-101,5</b>	<b>-100,5</b>	<b>-100,0</b>	<b>-99,0</b>	<b>-98,0</b>	<b>-96,0</b>	dBm (géné.)
	<b>-3,2</b>	<b>-3,5</b>	<b>-4,0</b>	<b>-4,7</b>	<b>-5,5</b>	<b>-6,2</b>	<b>-7,0</b>	<b>-8,5</b>	dB/Bruit (lu)
	<b>-2,1</b>	<b>-2,4</b>	<b>-2,9</b>	<b>-3,6</b>	<b>-4,4</b>	<b>-5,1</b>	<b>-5,9</b>	<b>-7,4</b>	dB/Bruit reel
<b>Moyenne du point S =</b>		<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>2,1</b>	<b>dB</b>

Valeur moyenne de la réduction de bruit en fonction de l'indication S-mètre :

dB ( moy.)	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8
	<b>-2,0</b>	<b>-2,7</b>	<b>-3,1</b>	<b>-3,7</b>	<b>-4,5</b>	<b>-5,1</b>	<b>-5,9</b>	<b>-7,3</b>