

Ce processus de moyennage est toutefois à éviter pour les mesures sur signaux pulsés. Les impulsions se caractérisent par des valeurs crête élevées et des valeurs moyennes basses (en fonction du rapport cyclique). Afin d'éviter l'affichage de niveaux trop faibles, la bande passante vidéo doit être choisie beaucoup plus large que la bande passante de résolution (fig. 4-20). Concernant ce point, se reporter également au chapitre 6.2.

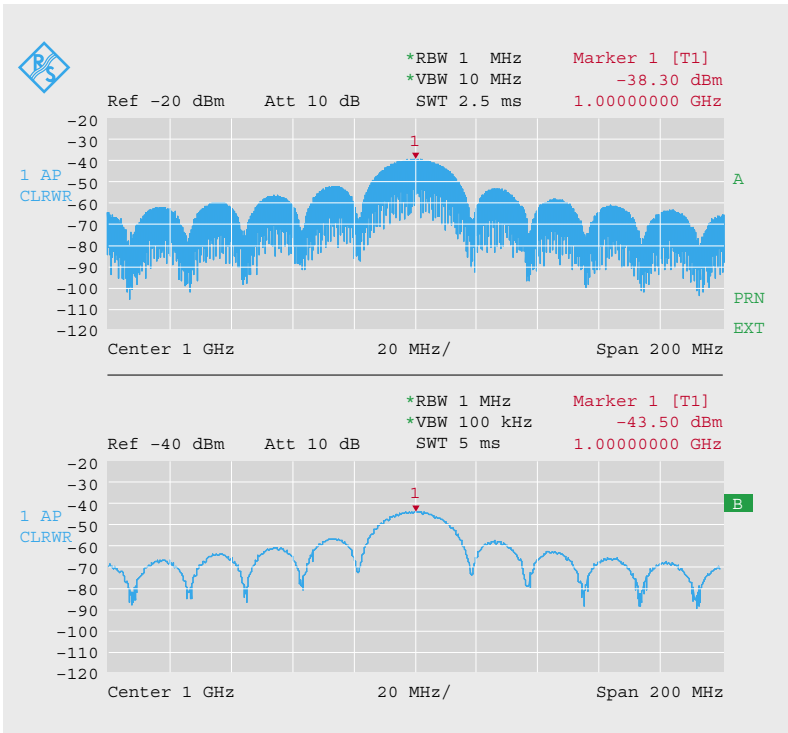


Fig. 4-20 Signal pulsé enregistré avec deux bandes passantes vidéo différentes (large en haut et étroite en bas de l'écran); à noter la position du marqueur indiquant la perte d'amplitude induite par la bande passante vidéo étroite

4.4 Détecteurs

Sur les analyseurs modernes, l'affichage des spectres enregistrés s'effectue, non plus sur des tubes cathodiques, mais sur des écrans LCD, limitant ainsi la résolution de l'affichage du niveau et de la fréquence.

Les fonctions marqueur (voir chapitre 4.5: Traitement de traces) permettent de contourner les difficultés liées à la limitation de la plage d'affichage du niveau. Les résultats peuvent alors être lus avec une résolution nettement meilleure.

L'information spectrale contenue dans un pixel correspond à une plage de fréquence relativement large, notamment lorsqu'il s'agit de représenter des spans étendus. Comme cela a été précisé au chapitre 4.1, le pas d'accord du 1^{er} oscillateur local est fonction de la bande passante de résolution de sorte que plusieurs valeurs de mesure, appelées « échantillons » ou souvent « bins » correspondent à un seul et même pixel. L'échantillon représenté par ce pixel est fonction de l'évaluation choisie, elle-même déterminée par le détecteur sélectionné. La plupart des analyseurs de spectre sont dotés de détecteurs Min Peak, Max Peak, Auto Peak et Sample dont le principe de fonctionnement est représenté en fig. 4-21.

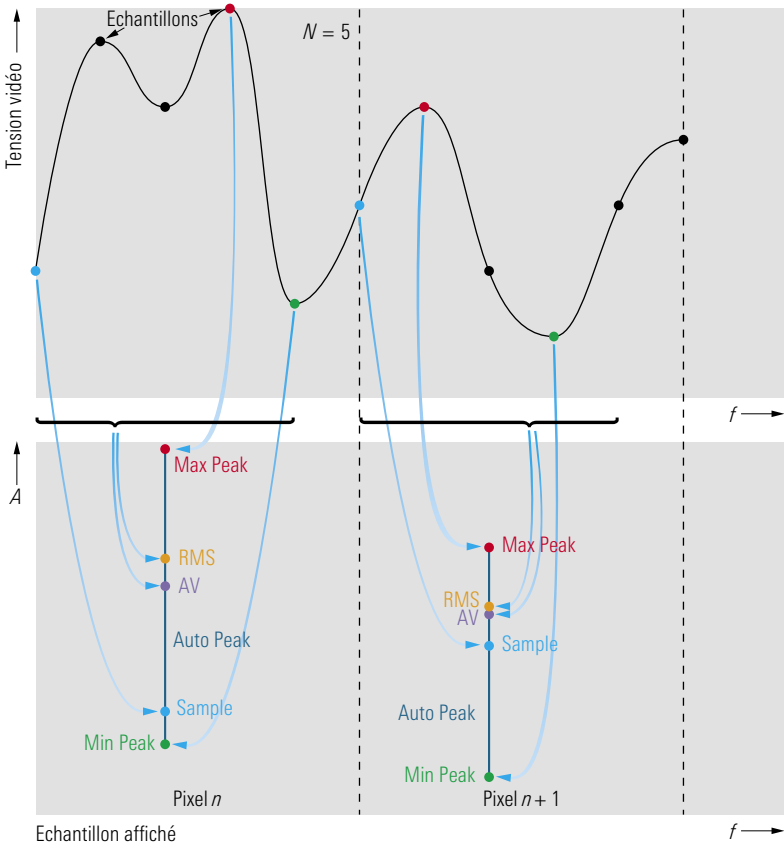


Fig. 4-21 Sélection de l'échantillon à afficher en fonction du détecteur utilisé

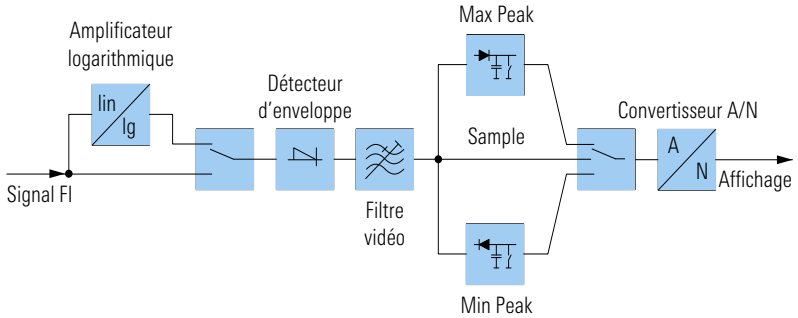


Fig. 4-22 Détecteurs réalisés en technologie analogique

Ces détecteurs peuvent être réalisés au moyen de circuits analogiques, comme à la fig. 4-22 où l'on peut voir que le signal vidéo évalué est échantillonné à la sortie du détecteur. L'analyseur de spectre décrit dans cet ouvrage est doté de détecteurs (36-39) réalisés en technologie numérique de sorte que le signal vidéo est échantillonné avant la détection (et même en amont du filtre vidéo dans le cas présent). Outre les détecteurs mentionnés ci-dessus, cela permet de réaliser aisément des détecteurs Average et RMS. La détection quasi-crête utilisée pour les mesures de perturbations électromagnétiques s'implémente également de cette manière.

Détecteur Max Peak

Le détecteur Max Peak affiche la valeur maximum. Parmi les échantillons affectés à un pixel, il sélectionne et affiche celui dont le niveau est le plus haut. Aucun signal d'entrée ne sera perdu, y compris en cas de spans larges représentés avec une bande passante de résolution très étroite ($\text{Span/RBW} \gg \text{nombre de pixels sur l'axe de fréquence}$). C'est la raison pour laquelle ce type de détecteur présente un intérêt particulier pour les mesures CEM.

Détecteur Min Peak

Parmi les échantillons affectés à un pixel, le détecteur Min Peak sélectionne et affiche celui correspondant au niveau minimum.

Détecteur Auto Peak

Le détecteur Auto Peak fait s'afficher simultanément la valeur maximum et la valeur minimum. Les deux niveaux sont mesurés et représentés, reliés entre eux par une ligne verticale (voir fig. 4-21).

Détecteur Sample

En détection Sample, l'enveloppe FI n'est échantillonnée qu'une seule fois pour chaque pixel de la trace à afficher, c'est-à-dire qu'à un instant donné, toujours le même, le détecteur ne retient, parmi les échantillons affectés à un pixel, qu'une seule valeur à afficher (voir fig. 4-21. Si le span à afficher est beaucoup plus large que la bande passante de résolution ($\text{Span/RBW} \gg \text{nombre de pixels sur l'axe de fréquence}$), certains signaux d'entrée risquent de ne pas être détectés. De même, lorsque le pas d'accord de l'oscillateur local est trop important (voir fig. 4-5), il peut arriver que des signaux n'apparaissent pas du tout à l'affichage ou tout au plus avec un niveau erroné.

Détecteur RMS (Root Mean Square = valeur efficace)

Pour chacun des pixels de la trace affichée, le détecteur RMS calcule la puissance à partir des échantillons affectés à un pixel. Le résultat correspond à la puissance du signal dans la plage de fréquence représentée par le pixel. Pour ce calcul, les échantillons de l'enveloppe doivent être prélevés selon une échelle de niveau linéaire. La valeur efficace se calcule comme suit :

$$U_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N u_i^2} \quad (\text{Equation 4-11})$$

- où
- U_{RMS} Valeur efficace de la tension
 - N Nombre d'échantillons affectés au pixel concerné
 - u_i Echantillons de l'enveloppe

La puissance se calcule à partir de la résistance de référence R :

$$P = \frac{U_{\text{RMS}}^2}{R} \quad (\text{Equation 4-12})$$

Détecteur AV (Average = valeur moyenne)

Pour chacun des pixels de la trace affichée, le détecteur AV calcule la moyenne linéaire à partir des échantillons affectés à un pixel. Pour ce calcul, les échantillons de l'enveloppe doivent être prélevés selon une échelle de niveau linéaire. La valeur moyenne se calcule comme suit :

$$U_{AV} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N u_i \quad (\text{Equation 4-13})$$

où U_{AV} Valeur moyenne de la tension
 N Nombre d'échantillons affectés au pixel concerné
 u_i Echantillons de l'enveloppe

Comme pour le détecteur RMS, la puissance se calcule à partir de la résistance de référence R (voir Equation 4-12).

Détecteur Quasi-Peak (quasi-crête)

Le détecteur Quasi-Peak est un détecteur crête spécifié pour les mesures de perturbations électromagnétiques. Il présente des temps de charge et de décharge définis par la spécification CISPR 16-1 [4-4] applicable aux appareils de mesure d'émissivité électromagnétique. On se reportera au chapitre 6.2.5.1. pour une description détaillée de ce type de détecteur.

Si le taux d'échantillonnage du convertisseur A/N est constant, le nombre d'échantillons affectés à un pixel déterminé augmente lorsque le temps de balayage s'allonge. La trace affichée à l'écran est fonction de la nature du signal d'entrée et du mode de détection utilisé.

Influence du détecteur sur l'affichage de différents types de signaux d'entrée

Les différents détecteurs fournissent des résultats de mesure pouvant différer quelque peu selon la nature du signal d'entrée. En supposant que l'analyseur de spectre soit accordé sur la fréquence du signal d'entrée (span = 0 Hz), un signal d'entrée sinusoïdal ayant un rapport signal/bruit suffisamment élevé fournira une enveloppe de signal FI et, par conséquent, une tension vidéo constantes. Dans ce cas, le niveau du signal affiché est indépendant du détecteur choisi, étant donné que tous les échantillons présentent le même niveau et que la valeur moyenne (détecteur AV) et la valeur efficace (détecteur RMS) calculées à partir de ces échantillons correspondent au niveau de chacun d'eux.

Il en va tout autrement pour les signaux aléatoires tels que le bruit ou des signaux similaires au bruit pour lesquels la puissance instantanée varie dans le temps. Dans ce cas, les valeurs instantanées maximum et minimum ainsi que la valeur moyenne et la valeur RMS de l'enveloppe du signal FI sont différentes les unes des autres.

La puissance d'un signal aléatoire se calcule selon :

$$P = \frac{1}{R} \cdot \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \cdot \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} u^2(t) dt \right) \quad \text{(Equation 4-14)}$$

ou si l'observation est limitée pendant un temps déterminé T

$$P = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{T} \cdot \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} u^2(t) dt \quad \text{(Equation 4-15)}$$

Pendant le temps d'observation T , il peut aussi arriver que la puissance instantanée prenne une valeur crête. Le rapport entre cette puissance crête et la puissance est exprimé par le facteur de crête :

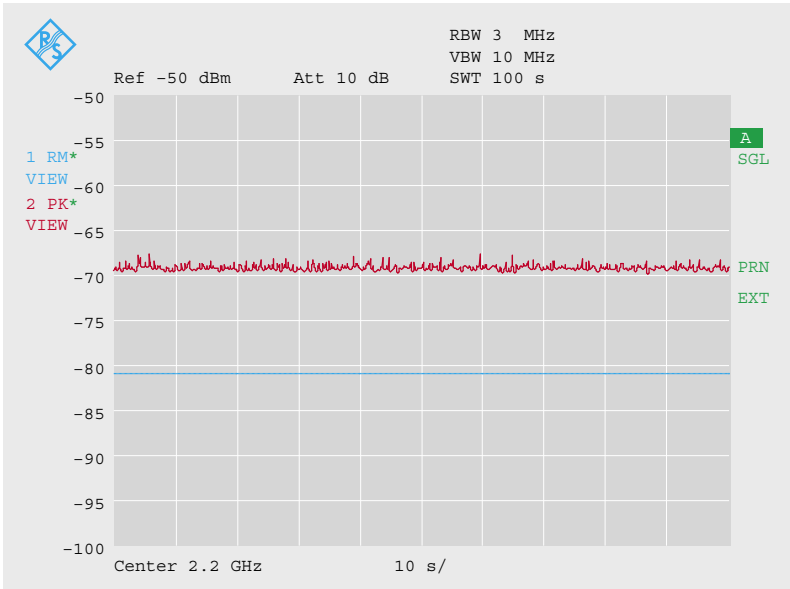
$$CF = 10 \text{ dB} \cdot \lg \left(\frac{P_c}{P} \right) \quad \text{(Equation 4-16)}$$

- où
- CF Facteur de crête
 - P_c Valeur crête de la puissance instantanée pendant le temps d'observation
 - P Puissance

En cas de bruit, la tension peut en théorie prendre n'importe quelle valeur de sorte que le facteur de crête pourrait être arbitrairement élevé. Etant donné la faible probabilité d'avoir des valeurs de tension très hautes ou très basses, un bruit gaussien observé sur une période suffisamment longue donne habituellement un facteur de crête d'environ 12 dB.

Les signaux modulés en numérique présentent souvent un spectre semblable à celui du bruit mais le facteur de crête diffère en général de celui observé pour un bruit gaussien. La fig. 4-23 représente les valeurs crête et RMS correspondant à du bruit gaussien et à un signal IS-95 CDMA (liaison descendante).

a) Facteur de crête de 12 dB



b) Facteur de crête de 13,8 dB

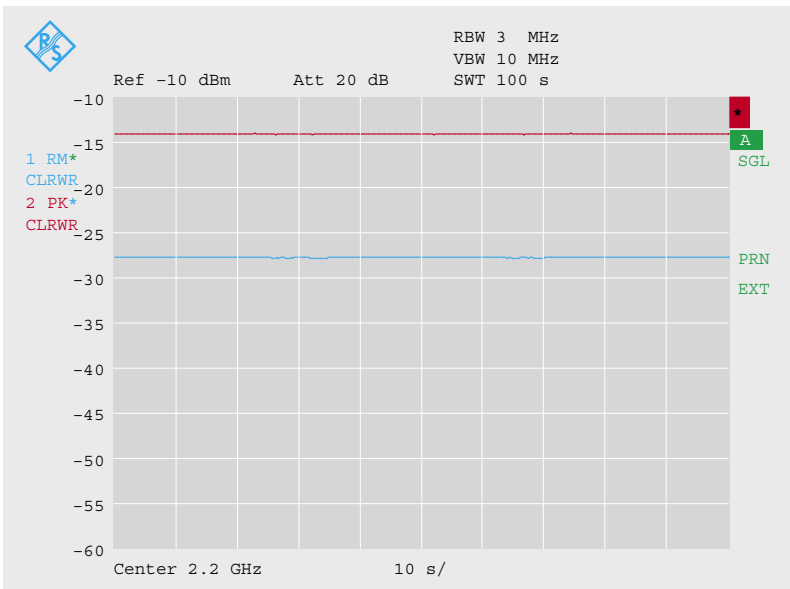


Fig. 4-23 Valeurs crête (en rouge) et RMS (en bleu) correspondant à un bruit gaussien (a) et à un signal IS-95 CDMA (b), enregistrées avec les détecteurs Max Peak et RMS

Nous allons maintenant voir comment le choix du détecteur et le temps de balayage influe sur les résultats des mesures sur signaux stochastiques.

Détecteur Max Peak

Le détecteur Max Peak entraîne une surévaluation des signaux stochastiques de sorte que l'affichage indique la valeur du niveau maximum. Si le temps de balayage s'allonge, le temps d'observation de la plage de fréquence affectée à un pixel augmente aussi. Avec un bruit gaussien, la probabilité d'avoir des valeurs instantanées assez élevées augmente également. Par conséquent, le niveau des pixels affichés s'élève aussi (voir fig 4-24a).

Avec un rapport span/bande passante de résolution et un temps de balayage tous deux réduits, l'affichage du bruit est identique à celui obtenu avec un détecteur Sample car, dans ce cas, il n'y a plus qu'un seul échantillon prélevé par pixel.

Détecteur Min Peak

Le détecteur Min Peak opère une sousévaluation des signaux stochastiques de sorte que l'affichage indique la valeur du niveau minimum. Le bruit affiché par l'analyseur de spectre est alors fortement atténué. Avec un bruit gaussien, la probabilité d'avoir des valeurs instantanées assez basses augmente avec l'allongement du temps de balayage et le niveau des pixels affichés baisse au fur et à mesure (voir fig. 4-24a).

Avec des signaux sinusoïdaux présentant un mauvais rapport signal/bruit, l'affichage indiquera également la valeur minimum du bruit superposé au signal utile et les mesures de niveau fourniront par conséquent des résultats de trop faible valeur.

Avec un rapport span/bande passante de résolution et un temps de balayage tous deux réduits, l'affichage du bruit est identique à celui obtenu avec un détecteur Sample car, dans ce cas, il n'y a plus qu'un seul échantillon prélevé par pixel.

Détecteur Auto Peak

Avec le détecteur Auto Peak, l'affichage présente simultanément les résultats de mesure fournis par les détecteurs Max Peak et Min Peak, les deux valeurs étant reliées l'une à l'autre par une ligne. L'augmentation du temps de balayage se traduit par un net élargissement de la plage de bruit affichée.

Avec un rapport span/bande passante de résolution et un temps de balayage tous deux réduits, l'affichage du bruit est identique à celui obtenu avec un détecteur Sample car, dans ce cas, il n'y a plus qu'un seul échantillon prélevé par pixel.

a)



b)

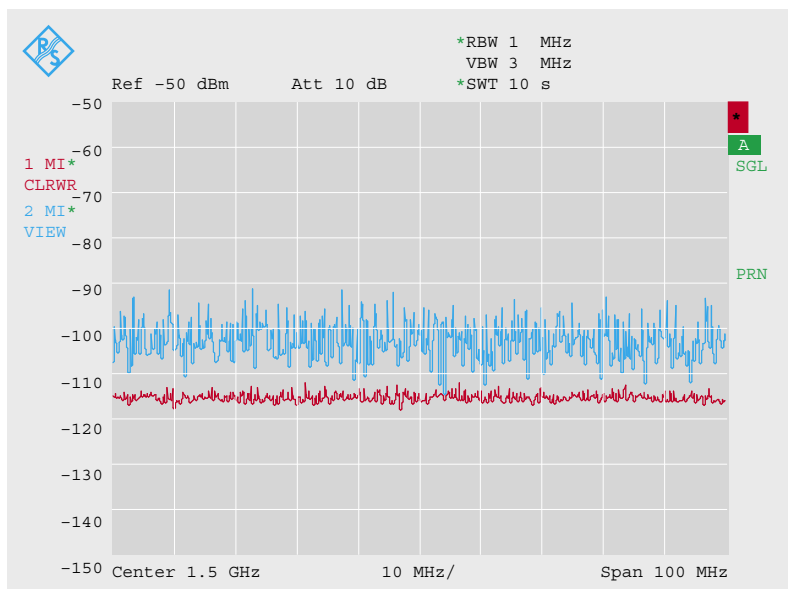


Fig. 4-24 Variation de l'affichage du bruit en fonction du temps de balayage, avec le détecteur Max Peak (a) et le détecteur Min Peak (b), temps de balayage de 2,5 ms (en bleu) et 10 s (en rouge)

Détecteur Sample

Comme l'indique la fig. 4-21, le détecteur Sample affiche toujours un échantillon prélevé à un instant défini. En raison de la distribution des valeurs instantanées, la trace affichée pour un bruit gaussien varie autour de la valeur moyenne de l'enveloppe du signal FI correspondant au bruit. Cette valeur moyenne se situe à 1,05 dB au-dessous de la valeur RMS. En utilisant une bande passante vidéo étroite ($VBW < RBW$ pour moyenner le bruit selon une échelle logarithmique, on abaisse encore de 1,45 dB la valeur moyenne affichée. Le bruit affiché se situe alors à 2,5 dB au-dessous de la valeur RMS.

Contrairement à ce qui se passe avec les autres détecteurs, le temps de balayage n'a ici aucun effet sur la trace affichée car le nombre d'échantillons prélevés est indépendant de sa valeur.

Détecteur RMS

Le détecteur RMS permet la mesure de la puissance effective d'un signal d'entrée indépendamment de sa caractéristique temporelle. Avec un détecteur Sample ou Max Peak, le calcul de la puissance de signaux à

valeur instantanée aléatoire nécessite de connaître précisément le rapport entre la valeur RMS et la valeur crête, ce qui n'est pas le cas avec le détecteur RMS.

La valeur RMS affichée par un pixel donné est calculée à partir de l'ensemble des échantillons affectés à ce pixel. En allongeant le temps de balayage, on augmente le nombre d'échantillons disponibles pour le calcul, ce qui permet de lisser la trace affichée. En détection RMS, il n'est ni autorisé ni nécessaire d'opérer un tel lissage par une réduction de la bande passante vidéo ou formation de moyenne à partir de plusieurs traces (voir chapitre 4.5). Cela fausserait les résultats de mesure du fait de l'abaissement (de 2,51 dB max.) des valeurs affichées. Afin d'éviter toute erreur, le détecteur RMS nécessite une bande passante vidéo au moins trois fois plus large que la bande passante de résolution.

Détecteur AV

Le détecteur AV calcule la moyenne arithmétique à partir des échantillons prélevés selon une échelle de niveau linéaire. La valeur moyenne effective ainsi obtenue est indépendante du type de signal d'entrée. Si la valeur moyenne était calculée à partir d'échantillons logarithmiques (moyenne log), les résultats retourneraient des valeurs trop faibles car les niveaux de signal assez élevés pourraient, du fait de la logarithmisation, connaître une compression assez importante. En allongeant le temps de balayage, on augmente le nombre d'échantillons disponibles pour le calcul de la valeur moyenne affichée par un pixel donné, ce qui permet de lisser la trace affichée.

Une bande passante vidéo étroite se traduit par un lissage du signal vidéo. Si des échantillons prélevés selon une échelle de niveau linéaire sont appliqués à l'entrée du filtre vidéo, il suffit de réduire la bande passante vidéo pour en obtenir la moyenne linéaire. Ceci correspond à la fonction du détecteur AV. Dans ce cas, le recours à une bande passante vidéo étroite constitue un moyen de lissage parfaitement valide (voir schéma synoptique).

Il en va de même pour l'analyseur décrit ici étant donné qu'en détection AV, le niveau des échantillons appliqués à l'entrée du filtre vidéo correspond à une échelle linéaire (voir schéma synoptique).

En détection Max Peak, Min Peak, Auto Peak et Sample, une réduction de la bande passante vidéo se traduit par un affichage du bruit convergent car les échantillons sont moyennés par le filtre vidéo avant d'être

évalués par le détecteur. Si l'enveloppe du signal FI est déterminée à partir d'un détecteur d'enveloppe linéaire, les échantillons sont moyennés par le filtre vidéo selon une échelle linéaire. L'affichage qui en résulte correspond à la véritable valeur moyenne et, par conséquent, au bruit affiché en cas de détection AV. Si le signal FI logarithmique est amplifié avant que la tension vidéo ne soit formée, la valeur moyenne des échantillons est inférieure à la véritable valeur moyenne. Pour un bruit gaussien, cette différence est de 1,45 dB (voir fig. 4-25a). Étant donné que la moyenne linéaire de la tension vidéo résultant du bruit gaussien se situe déjà à 1,05 dB au dessous de la valeur RMS, chacun des échantillons obtenus est à 2,5 dB au dessous de ceux fournis par le détecteur RMS (voir fig. 4-25a). Ce rapport étant connu, il n'est pas nécessaire de recourir au détecteur RMS pour déterminer la puissance du bruit gaussien. Celle-ci peut se calculer en appliquant un facteur de correction de 2,5 dB aux échantillons fournis par le détecteur Sample.

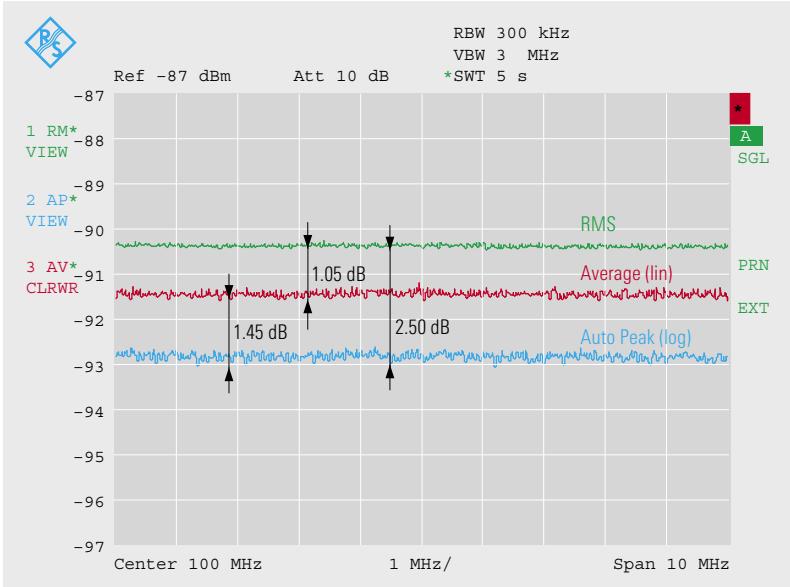
Ce rapport ne s'applique cependant pas à d'autres signaux aléatoires dont les valeurs instantanées ne correspondent pas à une distribution gaussienne (par exemple aux signaux à modulation numérique, voir fig. 4-25b). En effet, lorsque le facteur de crête n'est pas connu, seul le détecteur RMS permet de déterminer la puissance de ce type de signaux.

Formation de moyenne à partir de plusieurs mesures

Comme décrit au chapitre suivant, les analyseurs modernes peuvent calculer la moyenne des traces correspondant à plusieurs mesures (Trace average). Cette méthode de moyennage fournit parfois des résultats différents de ceux obtenus avec des filtres vidéo à bande étroite.

Le calcul de la valeur moyenne s'effectue à partir d'échantillons linéaires ou logarithmiques selon que la trace enregistrée s'affiche sur une échelle de niveau linéaire ou logarithmique. La question de savoir si le moyennage fausse ou non la courbe de résultats dépend par conséquent du mode de représentation utilisé pour l'affichage.

a)



b)

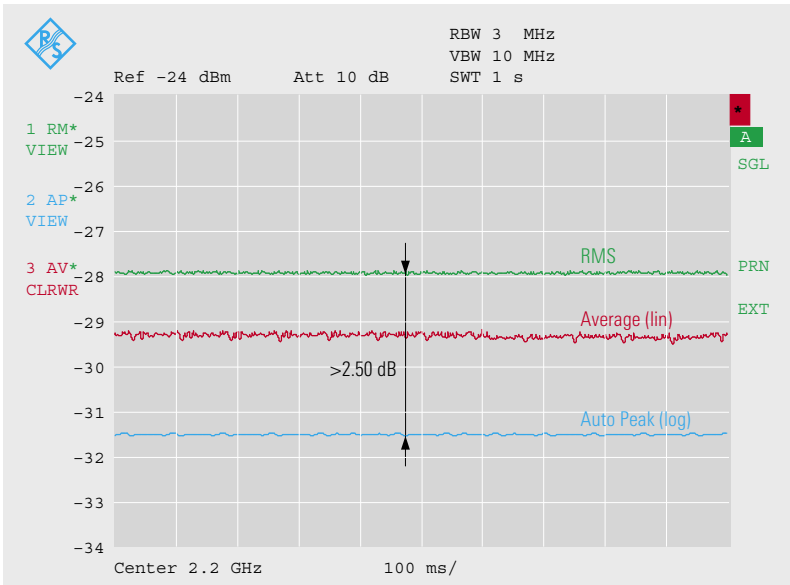


Fig. 4-25 Bruit gaussien (a) et signal IS-95 CDMA (b) mesurés avec un détecteur RMS (tracé vert) et AV (tracé rouge) ainsi qu'avec un détecteur Auto-Peak (tracé bleu), le moyennage étant assuré par une réduction de la bande passante vidéo.

En détection Max Peak, Min Peak et Sample, les niveaux de bruit affichés ne convergent pas si les valeurs moyennes affichées sont établies sur la base de plusieurs mesures. La moyenne est formée à partir des valeurs maximum et minimum. En revanche, si le moyennage s'effectue par réduction de la bande passante vidéo, les échantillons sont moyennés avant d'être évalués de sorte que leurs valeurs se rejoignent.

En détection Sample, on obtient le niveau de bruit moyen. Comme cela a été expliqué plus haut, l'affichage en mode logarithmique retourne une valeur moyenne abaissée de 1,45 dB. Avec un affichage linéaire et une bande passante vidéo large ($VBW \geq 10 \cdot RBW$), la moyenne obtenue correspond à la vraie valeur - de la même façon qu'avec le détecteur AV.

En détection Auto-Peak, le moyennage sur plusieurs traces n'est pas judicieux puisque, par définition, l'affichage indique la valeur maximum et la valeur minimum. C'est la raison pour laquelle le détecteur Sample s'enclenche souvent automatiquement lorsque le mode Trace average est activé.

En détection RMS, le mode Trace average n'est pas possible quel que soit le mode de représentation, linéaire ou logarithmique, utilisé pour l'affichage du niveau.

4.5 Traitement des traces

Comme cela a été exposé au chapitre 4.4, les détecteurs AV et RMS utilisent des échantillons prélevés selon une échelle linéaire. Pour permettre l'affichage de traces sur une échelle de niveau logarithmique, ces détecteurs doivent être complétés en aval par un amplificateur logarithmique (40) que l'utilisateur choisit d'activer si nécessaire.

Sur les analyseurs de spectre modernes, les résultats de mesure étant numérisés avant l'affichage, l'évaluation des traces peut s'effectuer selon de nombreuses manières (41).

Mémoire de données de mesure

Les analyseurs modernes permettent d'enregistrer plusieurs traces afin de les afficher ensuite simultanément. Cette fonction est particulièrement utile pour comparer des valeurs de mesure.