



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

**UIT-T**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

**J.240**

(06/2004)

SÉRIE J: RÉSEAUX CÂBLÉS ET TRANSMISSION DES  
SIGNAUX RADIOPHONIQUES, TÉLÉVISUELS ET  
AUTRES SIGNAUX MULTIMÉDIAS

Mesure de la qualité de service

---

**Cadre général de surveillance à distance du  
rapport signal/bruit de l'image émise par  
étalement du spectre et transformée  
orthogonale**

Recommandation UIT-T J.240

---



## Recommandation UIT-T J.240

### Cadre général de surveillance à distance du rapport signal/bruit de l'image émise par étalement du spectre et transformée orthogonale

#### Résumé

La présente Recommandation décrit un cadre efficace de surveillance à distance de la qualité vidéo, destinée aux applications de contribution et de distribution primaire des émissions de télévision numérique. Dans ce cadre, les caractéristiques des images sont extraites en chaque point de liaison de la chaîne de transmission par étalement du spectre et transformée orthogonale. Les caractéristiques extraites, à savoir les coefficients, sont transmises vers une salle de contrôle centrale au moyen d'un circuit de données qui est distinct du circuit de transmission vidéo, et la qualité de l'image est évaluée en comparant les coefficients.

Un cadre d'extraction des coefficients est présenté ci-après. A l'Appendice I est donné un exemple d'extraction des coefficients permettant d'évaluer le rapport signal/bruit de pointe (PSNR, *peak signal-to-noise ratio*). Y sont aussi données les bases théoriques de l'évaluation du rapport PSNR et les résultats d'une simulation montrant l'efficacité de ce cadre.

#### Source

La Recommandation UIT-T J.240 a été approuvée le 29 juin 2004 par la Commission d'études 9 (2001-2004) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

## AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

## NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

## DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un Membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT avait été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 2005

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

## TABLE DES MATIÈRES

	<b>Page</b>
1	Domaine d'application ..... 1
2	Références..... 1
2.1	Référence normative..... 1
2.2	Références informatives ..... 1
3	Définitions ..... 1
4	Abréviations..... 1
5	Surveillance de la qualité de l'image fondée sur l'extraction des coefficients de la transformée ..... 2
5.1	Configuration de la chaîne de transmission..... 2
5.2	Extraction d'une caractéristique de l'image ..... 3
5.3	Ecrêtage, arrondi et codage ..... 4
5.4	Informations supplémentaires ..... 4
5.5	Evaluation du rapport signal/bruit de pointe ..... 4
Appendice I – Exemple d'implémentation..... 6	
I.1	Extraction des caractéristiques ..... 6
I.2	Codage coefficients ..... 6
I.3	Calcul de l'erreur quadratique moyenne ..... 7
I.4	Fondements théoriques ..... 7
I.5	Qualité de transmission ..... 8



## Recommandation UIT-T J.240

### Cadre général de surveillance à distance du rapport signal/bruit de l'image émise par étalement du spectre et transformée orthogonale

#### 1 Domaine d'application

Dans la présente Recommandation est décrit un cadre de surveillance automatique à distance de la qualité de l'image. Dans le cadre proposé, les coefficients de la transformée sont extraits de l'image émise et transmis à l'opérateur de contrôle au moyen d'un circuit de données distinct. Comme l'extraction et la transmission des coefficients se font indépendamment de la transmission vidéo principale, ce cadre n'affecte pas la qualité de l'image vidéo émise. Ceci peut donc s'appliquer à la surveillance des émissions vidéo qui nécessitent une haute qualité, telles que les applications de contribution et de distribution primaire.

#### 2 Références

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et texte suivant qui, de ce fait, en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations UIT-T en vigueur est régulièrement publiée. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document en tant que tel le statut d'une Recommandation.

##### 2.1 Référence normative

- Recommandation UIT-T J.143 (2000), *Prescriptions d'utilisateur relatives aux mesures objectives de la qualité vidéo perçue en télévision numérique par câble.*

##### 2.2 Références informatives

- Recommandation UIT-T J.144 (2004), *Techniques de mesure objective de la qualité vidéo perçue pour la télévision numérique par câble en présence d'un signal de référence complet.*
- Recommandation UIT-T J.147 (2002), *Méthode de mesure objective de la qualité d'image par utilisation des signaux de test en service.*
- Recommandation UIT-R BT.656-4 (1998), *Interfaces pour les signaux vidéo numériques en composantes dans les systèmes de télévision à 525 lignes et à 625 lignes fonctionnant au niveau 4:2:2 de la Recommandation UIT-R BT.601 (Partie A).*

#### 3 Définitions

La présente Recommandation définit le terme suivant:

- 3.1 nœud:** point de liaison de la chaîne de transmission.

#### 4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

- DEC    décodeur (*decoder*)  
ENC    codeur (*encoder*)

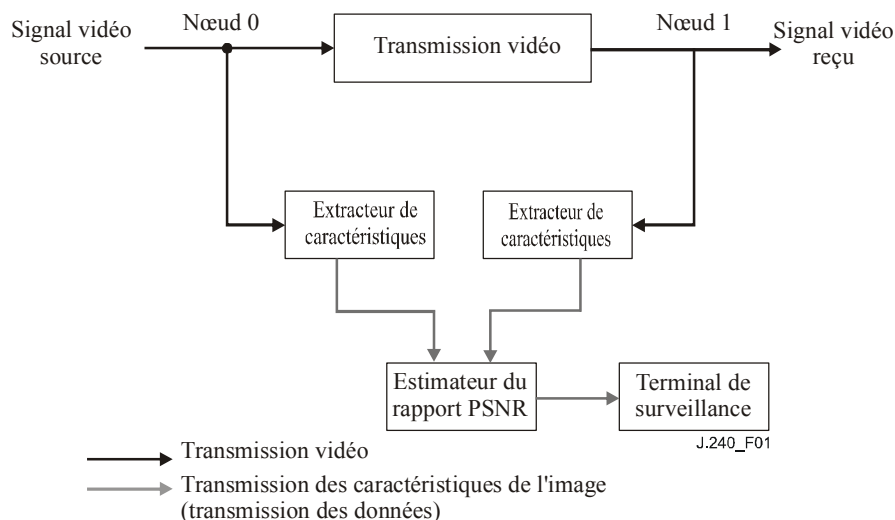
- OT transformée orthogonale (*orthogonal transform*)
- PSNR rapport signal/bruit de pointe (*peak signal-to-noise ratio*)
- SS étalement du spectre (*spread spectrum*)
- WHT transformée de Walsh-Hadamard (*Walsh-Hadamard transform*)

## 5 Surveillance de la qualité de l'image fondée sur l'extraction des coefficients de la transformée

### 5.1 Configuration de la chaîne de transmission

La configuration d'une chaîne de transmission donnée est représentée dans la Figure 1. On suppose que le signal en bande de base est présent à chaque extrémité (nœuds 0 et 1) du circuit de transmission vidéo, qui incorpore des équipements de codage et de décodage.

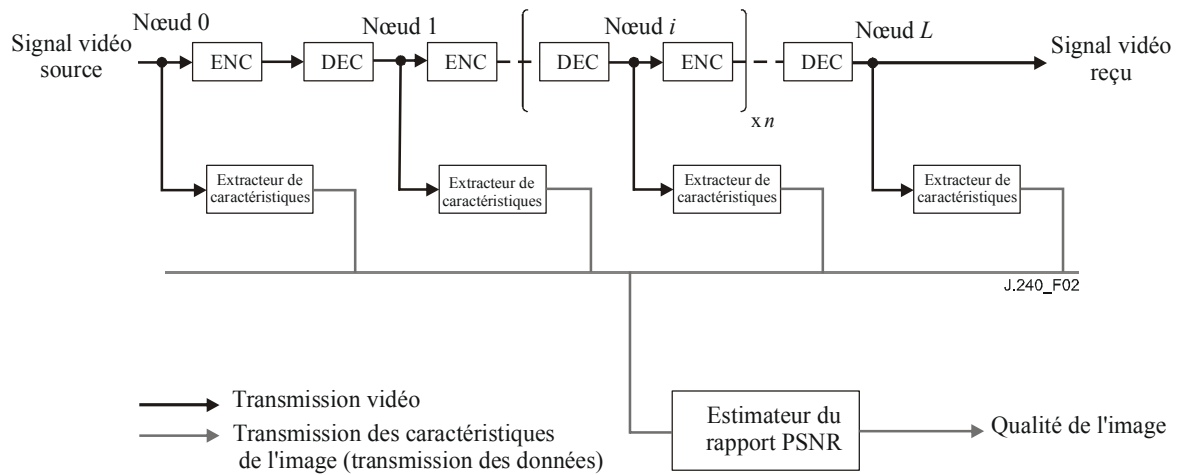
Le signal vidéo est subdivisé aux nœuds 0 et 1 en un signal de transmission principal et des signaux qui aboutissent dans un extracteur de caractéristiques. Les informations sur les caractéristiques extraites sont transmises à un estimateur du rapport signal/bruit de pointe (PSNR, *peak signal-to-noise ratio*) au moyen d'un circuit de données qui est distinct du circuit de transmission vidéo. L'estimateur du rapport PSNR mesure la qualité de transmission en employant les informations sur les caractéristiques obtenues en chaque nœud.



**Figure 1/J.240 – Configuration de base**

Bien que la configuration de la Figure 1 convienne à la surveillance d'une liaison unique, elle peut être étendue de manière à permettre la surveillance d'une chaîne de transmission en reproduisant en cascade la liaison unique comme indiqué dans la Figure 2. Dans la Figure 2, les extracteurs sont reliés à chacun des nœuds de la chaîne de transmission et des informations sur les caractéristiques sont transmises à l'estimateur du rapport PSNR. Au niveau de l'estimateur du rapport PSNR, des informations sont choisies sur les caractéristiques de deux nœuds entre lesquels la qualité de transmission est surveillée et le rapport PSNR est évalué en employant les informations choisies sur les caractéristiques.





**Figure 2/J.240 – Surveillance d'une chaîne de transmission**

## 5.2 Extraction d'une caractéristique de l'image

La caractéristique de l'image est extraite de chaque bloc de pixels après la division de l'image d'entrée en blocs de dimension  $N_x \times N_y$ . Lorsque le nombre de pixels dans les directions horizontale et verticale n'est pas égal à un multiple de  $N_x$  et  $N_y$ , respectivement, des pixels supplémentaires de valeur moyenne sont ajoutés en guise de remplissage pour que le nombre de pixels soit égal à  $N_x$  et  $N_y$ .

Dans la Figure 3 est illustrée l'opération d'extraction d'une caractéristique de l'image. La caractéristique de l'image est obtenue en combinant l'étalement du spectre et la transformée orthogonale. Soit  $x_f^{(b)}(n)$  et  $s_{PN}^{(b)}(n)$  le signal d'entrée du bloc  $b$  dans la trame  $f$  et la séquence de pseudo-bruit (PN, *pseudo-noise*) du bloc  $b$  respectivement, où  $n$  est l'indice de pixel. La caractéristique de l'image  $R_f[b]$  est alors obtenue comme suit en employant la transformée orthogonale (*OT*, *orthogonal transform*):

$$R_f[b] = \text{Amp} \left\{ X_f^{(b)}[k_0] \right\} \quad (1)$$

$$X_f^{(b)}[k] = (SSOT) \left\{ x_f^{(b)}(n) \right\} \equiv OT \left\{ x_f^{(b)}(n) s_{PN}^{(b)}(n) \right\} \quad (2)$$

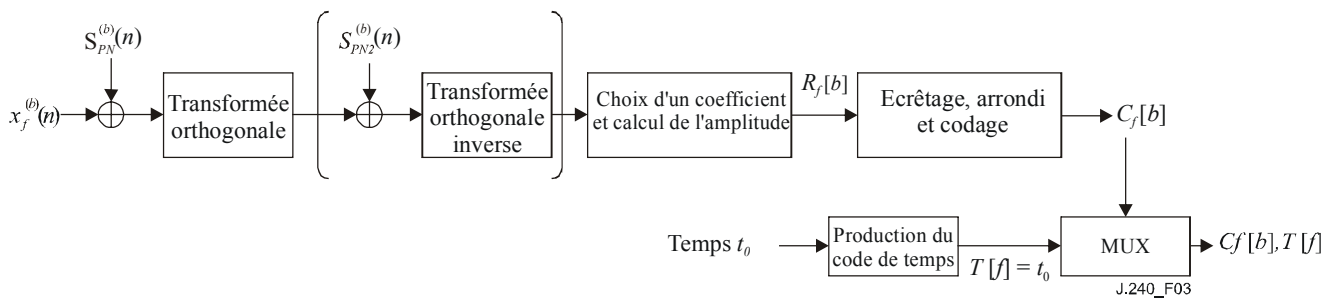
où *SSOT* désigne l'étalement du spectre et la transformée orthogonale (*SSOT*, *spread spectrum and orthogonal transform*),  $\text{Amp}[Z]$  la composante amplitude de  $Z$  et  $k_0$  la position du coefficient extrait.

La caractéristique  $R_f[b]$  peut aussi être définie comme suit en appliquant la transformée orthogonale inverse  $OT^{-1}$  après multiplication par une autre séquence de pseudo-bruit  $s_{PN2}$  :

$$R_f[b] = \text{Amp} \left\{ y_f^{(b)}[n_0] \right\} \quad (3)$$

$$y_f^{(b)}[n] = (SSOT_2) \left\{ x_f^{(b)}(n) \right\} \equiv OT^{-1} \left\{ X_f^{(b)}(k) s_{PN2}^{(b)}(k) \right\} \quad (4)$$

où  $n_0$  est la position du coefficient extrait (dans ce cas, celle d'un pixel). Cette deuxième implémentation accroît l'efficacité de l'étalement du spectre en rendant aléatoire, outre le domaine des fréquences, le domaine spatial.



**Figure 3/J.240 – Fonctionnement de l'extracteur de caractéristiques**

Quant aux séquences de pseudo-bruit, on peut employer différentes séquences pour les différents blocs. Mais on doit employer la même séquence de pseudo-bruit en tous les nœuds de la chaîne de transmission pour un bloc de l'image. Ceci est une condition nécessaire pour que les nœuds soient synchronisés, comme décrit au § 5.3.

### 5.3 Ecrêtage, arrondi et codage

Le coefficient extrait  $R_f[b]$  est transféré vers le circuit de données. Comme il est généralement réel, il fait l'objet d'un écrêtage et d'un arrondi afin de limiter sa longueur en bits. Un codage de compression peut accessoirement lui être appliqué afin de comprimer les données, lorsque la distribution de probabilité du coefficient  $R_f[b]$  est biaisée et que la quantité d'informations devrait donc en principe être réduite. Tous les coefficients codés dans une trame ou dans un champ sont regroupés et les données sont produites.

### 5.4 Informations supplémentaires

Des informations supplémentaires concernant le temps  $T[f]$  peuvent être produites au niveau de l'extracteur de caractéristiques, à destination de l'estimateur du rapport PSNR. Ces informations décrivent la correspondance du numéro de trame ou de champ avec le temps de sortie des coefficients, qui est multiplexé avec les coefficients codés  $C_f[b]$  au stade final de l'extraction des caractéristiques. Lorsqu'un code de temps tel que le code LTC ou VITC est disponible, il peut être transmis au lieu du temps de sortie. Ceci est employé pour corriger le décalage des caractéristiques de l'image au niveau de l'estimateur du rapport PSNR.

### 5.5 Evaluation du rapport signal/bruit de pointe

Le fonctionnement de l'estimateur du rapport PSNR est illustré dans la Figure 4. Tout d'abord, les informations multiplexées provenant des deux nœuds situés aux extrémités de la liaison surveillée sont démultiplexées et on obtient les coefficients codés  $C_{0f}[b]$  et  $C_{1f}[b]$  et les informations concernant le temps  $T_{0f}[f]$  et  $T_{1f}[f]$ . Lorsque l'ordre d'arrivée des coefficients et des informations concernant le temps ne coïncide pas avec l'ordre de sortie de l'extracteur de caractéristiques, les informations reçues doivent être triées de manière que les coefficients et les informations concernant le temps soient rangés suivant le numéro de trame.

Puis, lorsque les coefficients sont codés, on les décode et on obtient les coefficients  $D_{0f}[b]$  et  $D_{1f}[b]$ . On effectue ensuite la correction pour le décalage entre deux nœuds en employant les coefficients et les informations concernant le temps  $T_{0f}[f]$  et  $T_{1f}[f]$ .

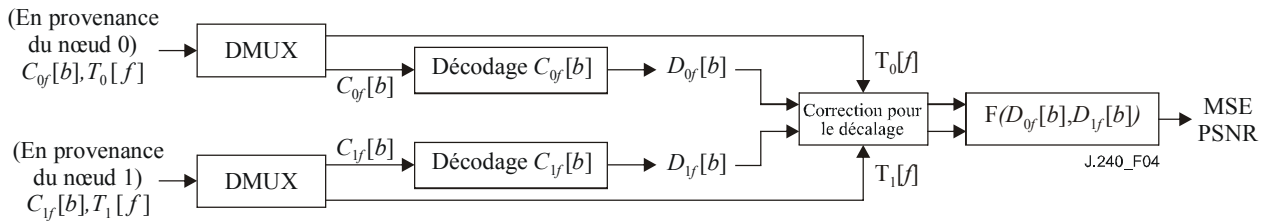


Figure 4/J.240 – Fonctionnement de l'estimateur du rapport PSNR

De la Figure 5 ressort la nécessité d'effectuer la correction pour le décalage. Il existe un décalage de transmission vidéo  $d_V$  entre deux nœuds et des décalages de transmission des données  $d_{C0}$  et  $d_{C1}$  entre chacun des nœuds et l'estimateur du rapport PSNR. Les coefficients de la trame "F1" qui est affichée au temps  $t_1$  du côté transmission arrivent au niveau de l'estimateur du rapport PSNR, en provenance du nœud 0, au temps  $t_1 + d_{C0}$  et, en provenance du nœud 1, au temps  $t_1 + d_V + d_{C1}$ , respectivement. Les temps d'arrivée des coefficients provenant de deux nœuds différents sont généralement différents, et il n'est donc pas sûr que les coefficients d'une même trame provenant de deux nœuds différents arrivent simultanément au niveau de l'estimateur du rapport PSNR. En outre, certaines procédures de transmission du circuit de données ne garantissent pas que l'ordre de réception des coefficients soit le même que l'ordre de transmission (c'est-à-dire, l'ordre des numéros de trame). Il est donc vain de comparer les coefficients provenant de deux nœuds qui arrivent en même temps au niveau de l'estimateur du rapport PSNR. L'estimateur du rapport PSNR devrait synchroniser les coefficients provenant de deux nœuds au niveau du bloc "correction pour le décalage" après avoir trié les coefficients suivant l'ordre de transmission au niveau de la sortie du démultiplexeur. Les informations concernant le temps  $T_0[f]$  et  $T_1[f]$  peuvent être employées à ces fins.

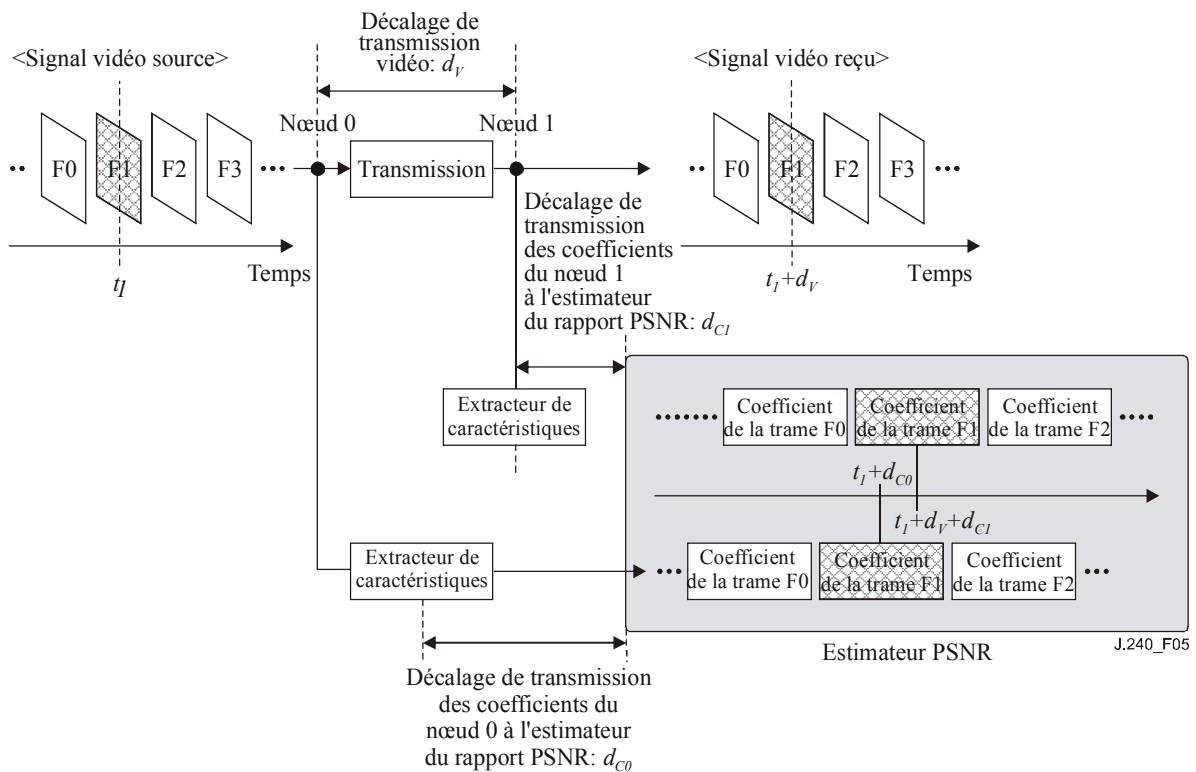


Figure 5/J.240 – Correction pour le décalage entre deux nœuds

Après la synchronisation des coefficients, on calcule la dégradation de la qualité de l'image due à la transmission vidéo en employant les coefficients  $D_{0f}[b]$  et  $D_{1f}[b]$ . Soit la dégradation donnée par l'erreur quadratique moyenne (MSE, *mean squared error*). Elle s'exprime comme suit:

$$MSE = Moyenne(D_{0f}[b] - D_{1f}[b])^2 \quad (5)$$

Le rapport PSNR qui en est déduit est donné par la formule suivante:

$$PSNR = 20 \log_{10} \sqrt{\frac{255^2}{MSE}} \quad (6)$$

En répétant la procédure décrite ci-dessus pour toutes les trames, on obtient la qualité de l'image pour la liaison entre les nœuds 0 et 1. Lorsque le rapport PSNR doit servir aux évaluations subjectives de la qualité, il est important d'employer un rapport PSNR recadré, à savoir un rapport PSNR calculé au moyen des régions vidéo actives tant dans les signaux vidéo source que dans les signaux vidéo traités. Ce rapport PSNR recadré correspondra mieux avec les évaluations subjectives de la qualité.

## Appendice I

### Exemple d'implémentation

#### I.1 Extraction des caractéristiques

La transformée de Walsh-Hadamard (WHT, *Walsh-Hadamard transform*) s'emploie comme une transformée orthogonale destinée à l'extraction des caractéristiques d'une image. Les paramètres pour l'extracteur de caractéristiques sont  $N_x = N_y = 8$  et la transformée inverse est comprise. Le coefficient  $R[b]$  est extrait au moyen des formules suivantes:

$$R[b] = x_{SSS}^{(b)}(n_0) \quad (I-1)$$

$$x_{SSS}^{(b)}(n) = WHT^{-1} \left[ WHT \left\{ x^{(b)}(n) s_{PN}^{(b)}(n) \right\} s_{PN2}^{(b)}(n) \right] \quad (I-2)$$

#### I.2 Codage coefficients

Le codage des coefficients est présenté ci-après en détail. Lorsque la méthode d'extraction des caractéristiques décrite ci-dessus est appliquée à un signal d'entrée à 8 bits par pixel, le coefficient  $R[b]$  a finalement une longueur de 15 bits comme indiqué dans la Figure I.1 (la longueur en bits augmente théoriquement de  $\log_2 \sqrt{N_x N_y}$  pour la transformée WHT  $N_x \times N_y$  parce les coefficients transformés sont multipliés par un facteur d'échelle  $\sqrt{N_x N_y}$  lorsque la transformée WHT  $N_x \times N_y$  est appliquée).

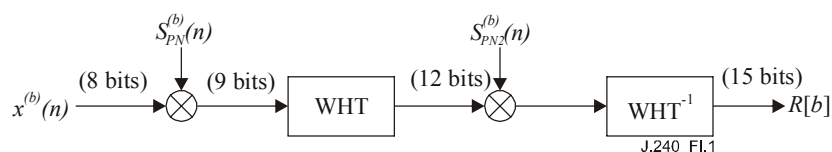


Figure I.1/J.240 – Augmentation de la longueur en bits dans l'extracteur de caractéristiques

En supposant que le format du signal vidéo est  $720 \times 480$ , 30 fps, la largeur de bande nécessaire pour le trajet de référence sera égale à  $\frac{720 \times 480}{8 \times 8} \times 15 \times 30 = 2430000$  [bit/s]. Ce débit binaire n'est toutefois pas commode et on effectue une quantification afin de réduire la longueur en bits du coefficient  $R[b]$ . Par exemple, lorsque le coefficient  $R[b]$  est quantifié à 8 bits, le débit binaire des coefficients est égal à  $\frac{720 \times 480}{8 \times 8} \times 8 \times 30 = 1296000$  [bit/s], débit qui est environ égal à la moitié de celui obtenu en employant 15 bits. Si, en outre, une réduction supplémentaire du débit binaire est nécessaire, on peut agrandir la dimension des blocs pour l'extraction des caractéristiques (c'est-à-dire  $N_x$  et  $N_y$ ) et appliquer une décimation spatiale des coefficients.

### I.3 Calcul de l'erreur quadratique moyenne

L'équation I-4 ne s'applique qu'à l'emploi d'une fonction donnée où interviennent les coefficients provenant de deux nœuds. Dans les applications courantes, l'erreur MSE est obtenue au moyen de l'équation suivante:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} (D_i[b] - D_j[b])^2 / N_b / \text{fact. d'échelle} \quad (I-3)$$

où  $N_b$  et *fact. d'échelle* désignent le nombre de blocs dans la trame et le facteur d'échelle qui dépend de la dimension des blocs pour l'extraction des caractéristiques et du nombre de bits de quantification pour le coefficient  $R_j[b]$ .

### I.4 Fondements théoriques

Le présent paragraphe décrit le modèle théorique d'évaluation du rapport PSNR fondé sur la comparaison des coefficients. Il faut noter que, pour simplifier la présentation, la transformée orthogonale inverse n'a pas été incorporée dans le présent paragraphe.

Soit  $x^{(b)}(n)$  et  $x'^{(b)}(n)$  désignant les valeurs de l'image source et de l'image reçue du bloc  $b$  en un pixel, respectivement. L'erreur MSE d'un champ dans l'image reçue peut s'exprimer au moyen de la formule suivante:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \sum_{n=0}^{N_p-1} [x^{(b)}(n) - x'^{(b)}(n)]^2 / (N_p N_b) \quad (I-4)$$

où  $N_b$  est le nombre de blocs dans le champ et  $N_p$  est le nombre de pixels dans un bloc, respectivement. Soit aussi  $s_{PN}^{(b)}(n)$  désignant la séquence de pseudo-bruit du bloc. Après étalement du spectre de  $x^{(b)}(n)$  et  $x'^{(b)}(n)$ , comme  $[S_{PN}^{(b)}(n)]^2 = 1$ , l'erreur MSE peut s'écrire comme suit:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \sum_{n=0}^{N_p-1} [x^{(b)}(n) \cdot s_{PN}^{(b)}(n) - x'^{(b)}(n) \cdot s_{PN}^{(b)}(n)]^2 / (N_p N_b) \quad (I-5)$$

Employant l'équation de Parseval, on peut modifier l'équation I-5 de la manière suivante:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \sum_{k=0}^{N_p-1} |X_{SS}^{(b)}[k] - X'_{SS}{}^{(b)}[k]|^2 / (N_p N_b) = \sum_{b=0}^{N_b-1} \sum_{k=0}^{N_p-1} |E_{SS}^{(b)}[k]|^2 / (N_p N_b) \quad (I-6)$$

où  $X_{SS}^{(b)}[k]$  et  $X'_{SS}{}^{(b)}[k]$  désignent l'étalement du spectre de  $x^{(b)}(n)$  et  $x'^{(b)}(n)$  respectivement et  $E_{SS}^{(b)}[k]$  peut s'exprimer comme suit:  $E_{SS}^{(b)}[k] = X_{SS}^{(b)}[k] - X'_{SS}{}^{(b)}[k]$ .

L'équation I-6 indique bien que, puisque  $X'_{SS}{}^{(b)}[k]$  peut être obtenu à partir de l'image reçue, l'on peut calculer l'erreur MSE en transmettant les composantes fréquence de l'étalement du spectre des images. Toutefois, dans cette méthode de transmission des coefficients, toutes les composantes fréquence ne peuvent être transmises en raison de la limitation de la largeur de bande de la liaison de données de référence. En conséquence, on suppose qu'une seule composante par bloc est transmise. Si nous désignons par  $k_0$  la composante fréquence à transmettre, la puissance de cette composante fréquence  $k_0$  peut s'exprimer comme suit:

$$\left| E_{SS}{}^{(b)}[k_0] \right|^2 = \sum_{k=0}^{N_p-1} \left| E_{SS}{}^{(b)}[k] \right|^2 / N_p + D^{(b)}[k_0] \quad (I-7)$$

Dans l'équation ci-dessus, si l'étalement du spectre de l'image source est uniforme, nous avons l'égalité  $D^{(b)}[k] = 0$ . Toutefois, la dispersion la distribution réelle de  $|E_{SS}{}^{(b)}[k]|^2$  autour de la puissance moyenne dans le bloc a une valeur non nulle puisque les composantes fréquence de l'étalement du spectre ont un caractère aléatoire. On déduit alors l'équation suivante en employant l'équation I-7 dans l'équation I-6:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \left( \left| E_{SS}{}^{(b)}[k_0] \right|^2 - D^{(b)}[k_0] \right) / N_b = \sum_{b=0}^{N_b-1} \left| E_{SS}{}^{(b)}[k_0] \right|^2 / N_b - \sum_{b=0}^{N_b-1} D^{(b)}[k_0] / N_b \quad (I-8)$$

Par ailleurs, afin de caractériser l'étalement du spectre, nous supposons que les dispersions  $D^{(b)}[k_0]$  s'équilibrent pour l'ensemble des blocs de la trame, c'est-à-dire que  $\sum_b D^{(b)}[k_0] \approx 0$ . Alors,

l'erreur MSE peut s'écrire approximativement comme suit:

$$MSE \cong \sum_{b=0}^{N_b-1} \left| E_{SS}{}^{(b)}[k_0] \right|^2 / N_b \quad (I-9)$$

L'équation I.9 montre que l'erreur MSE peut être évaluée en employant les caractéristiques de l'étalement du spectre et en ne transmettant qu'une seule composante fréquence. Finalement, en appliquant  $X_{SS}{}^{(b)}[k] = A^{(b)}[k]e^{j\theta[k]}$  et  $X'_{SS}{}^{(b)}[k] = A'{}^{(b)}[k]e^{j\theta'[k]}$ , où on suppose que  $\theta \approx \theta'$  (la composante phase est peu affectée par la dégradation de la transmission), l'équation I-9 peut s'exprimer comme suit:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \left| (A^{(b)}[k_0] - A'{}^{(b)}[k_0])e^{j\theta[k_0]} \right|^2 / N_b = \sum_{b=0}^{N_b-1} \left| A^{(b)}[k_0] - A'{}^{(b)}[k_0] \right|^2 / N_b \quad (I-10)$$

L'équation I-10 implique que l'erreur MSE évaluée peut finalement s'écrire comme une différence des composantes amplitude des coefficients. Dans le cas de la transformée WHT, aucun nombre complexe n'intervient de sorte que la théorie est beaucoup plus simple.

## I.5 Qualité de transmission

Six séquences d'essai de télévision conventionnelle ont été codées selon la norme MPEG-2 TM5 pour quatre débits binaires, et le rapport PSNR de l'image décodée a été mesuré. On a employé la transformée WHT comme une transformée orthogonale ainsi que la transformée inverse. On a examiné les quatre débits binaires pour la liaison de données de référence. En outre, à titre de comparaison, on a aussi examiné la mesure du rapport PSNR sans étalement du spectre. Les conditions expérimentales sont présentées en détail dans le Tableau I.1.

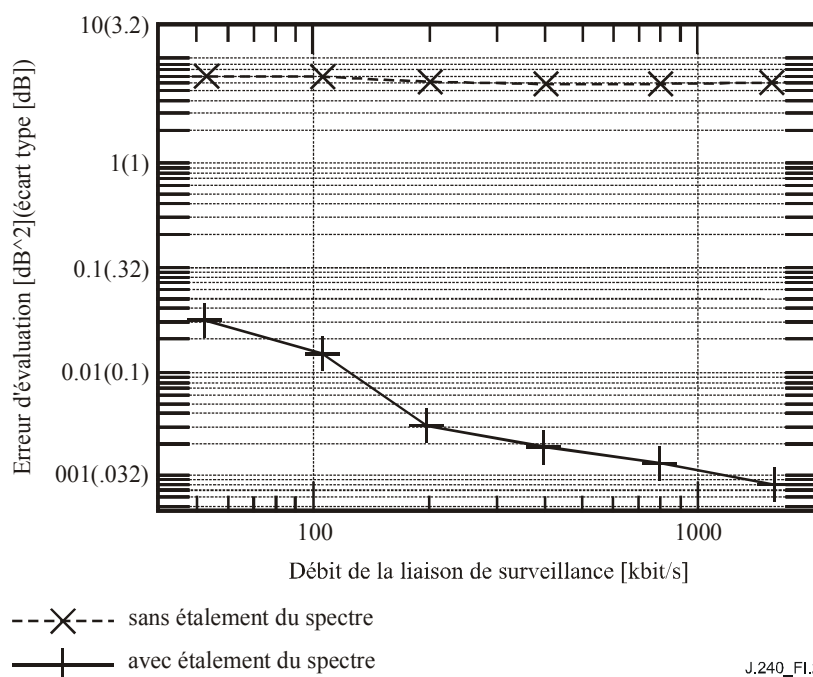
**Tableau I.1/J.240 – Conditions expérimentales**

Séquences d'essai	Majorettes, flamants roses, feuilles vertes, marche, mobile et calendrier, football
Format vidéo	704 × 480, 30 fps, 4:2:2
Codec	MPEG-2 Test Model 5
Longueur en bits pour le coefficient transmis	10 bits/échantillon
Débit binaire du codage	45, 22,5, 11.25, 5,125 Mbit/s
Dimension des blocs (correspondant au débit binaire pour la liaison de données de référence)	8 × 8 (1 584 kbit/s), 16 × 8 (792 kbit/s) 16 × 16 (396 kbit/s), 32 × 16 (198 kbit/s)

Dans la Figure I.2 et dans le Tableau I.2 sont présentés les résultats expérimentaux. L'erreur moyenne d'évaluation du rapport PSNR est de 24 séquences (6 sujets × 4 débits binaires). La méthode avec étalement du spectre donne une erreur d'évaluation qui est plus de 100 fois plus petite que celle obtenue au moyen de la méthode de comparaison, ce qui montre que l'application de l'étalement du spectre est très efficace pour l'évaluation du rapport PSNR.

**Tableau I.2/J.240 – Résultats expérimentaux**

Débit binaire du trajet de référence [kbit/s]	Erreur d'évaluation du rapport PSNR [dB]	
	avec étalement du spectre	sans étalement du spectre
1584	8,33E-04	5,77E+00
792	1,36E-03	5,64E+00
396	1,91E-03	5,70E+00
198	3,05E-03	5,92E+00
106	1,52E-02	6,90E+00
53	3,14E-02	6,96E+00



**Figure I.2/J.240 – Comparaison de la précision de l'évaluation**







## SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
<b>Série J</b>	<b>Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias</b>
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, circuits téléphoniques, télégraphie, télécopie et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de nouvelle génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication