



(12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 34346 B1** (51) Cl. internationale : **H04N 7/50**
(43) Date de publication : **03.07.2013**

-
- (21) N° Dépôt : **34496**
(22) Date de Dépôt : **30.12.2011**
(71) Demandeur(s) : **UNIVERSITE MOHAMMED V-AGDAL, AVENUE DES NATION UNIES , AGDAL, B.P 554 RABAT-CHELLAH (MA)**
(72) Inventeur(s) : **HRARTI Miryem ; ABOUTAJDINE Driss ; SAADANE Abdelhakim ; TAMTAOU Ahmed ; LARABI Mohamed-Chaker**
(74) Mandataire : **MOULOUD EL MOUDDANE**

-
- (54) Titre : **Optimisation du contrôle du débit basée sur une nouvelle modélisation débit-quantification et un ajustement perceptuel du QP**
(57) Abrégé : L'ALGORITHME DU CONTRÔLE DE DÉBIT EST UN ÉLÉMENT CLÉ DES STANDARDS DE CODAGE VIDÉO. SON OBJECTIF EST DE RÉGULER LA QUALITÉ VISUELLE DE LA SÉQUENCE RECONSTRUITE TOUT EN RESPECTANT LES CONTRAINTES IMPOSÉES PAR LE CANAL DE TRANSMISSION. DANS H.264/AVC, CET ALGORITHME SOUFFRE DE CERTAINS DÉFAUTS, PARMIS LESQUELS ON CITE : LA DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES DE QUANTIFICATION (QPS) DES UNITÉS DE BASE (TRAME OU MACROBLOCS) INTRA ET INTER. LE PROCÉDÉ, QUI FAIT L'OBJET DE CE BREVET, PERMET DE CE BREVET, PERMET DE REMÉDIER À CE DÉFAUT. IL SE DÉCLINE EN DEUX PARTIES : D'ABORD UNE NOUVELLE MODÉLISATION DÉBIT-QUANTIFICATION (R-Q) PERMETTANT D'ESTIMER AVEC PRÉCISION LE QP DES TRAMES INTRA (I) ET ENSUITE UN AJUSTEMENT PERCEPTUEL DES QPS DES MACROBLOCS INTER (P) EXPLOITANT LES CARTES DE SAILLANCE. CES APPROCHES SONT IMPLÉMENTÉES DANS LE PROFIL DE BASE DE H.264/AVC ET VISENT LES SÉQUENCES VIDÉO CODÉES À TRÈS BAS DÉBITS. LE MODÈLE DÉBIT-QUANTIFICATION PERMET D'ÉTABLIR UNE RELATION NON LINÉAIRE ENTRE LE DÉBIT GLOBAL POUR CODER LA TOTALITÉ DE LA SÉQUENCE, LE DÉBIT CIBLE ET LA COMPLEXITÉ DE LA TRAME I. CE MODÈLE PERMET D'ESTIMER LE QP INITIAL D'UNE MANIÈRE APPROPRIÉE AFIN D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DES TRAMES INTRA ET CELLE DE LA SÉQUENCE

ENTIÈRE. LA PARTICULARITÉ DE CE MODÈLE, QUI CONSTITUE AUSSI SA FORCE, EST QU'IL INCLUT LA COMPLEXITÉ DE LA TRAME SANS AVOIR À LA DÉFINIR. UNE FOIS DÉTERMINÉS, LES QPS SONT ADAPTÉS AU CONTENU DES UNITÉS DE CODAGE. LE PROCÉDÉ PROPOSÉ PERMET UN AJUSTEMENT QUI S'ADAPTE À LA COMPLEXITÉ PERCEPTUELLE DE L'UNITÉ À CODER. LA COMPLEXITÉ PERCEPTUELLE EST DÉFINIE À PARTIR DES CARTES DE SAILLANCE QUI PERMETTENT DE DÉTECTER LES ZONES IMPORTANTES ET NON IMPORTANTES VISUELLEMENT. LES UNITÉS SAILLANTES SONT ALORS CODÉES FINEMENT TANDIS QUE LES UNITÉS NON SAILLANTES LE SONT GROSSIÈREMENT (AVEC DE LARGES VALEURS DE QPS).

03 JUL 2013

Optimisation du contrôle de débit basée sur une nouvelle modélisation débit-quantification et un ajustement perceptuel du QP

Résumé

L'algorithme du contrôle de débit est un élément clé des standards de codage vidéo. Son objectif est de réguler la qualité visuelle de la séquence reconstruite tout en respectant les contraintes imposées par le canal de transmission. Dans H.264/AVC, cet algorithme souffre de certains défauts, parmi lesquels on cite : la détermination des paramètres de quantification (QPs) des unités de base (Trame ou macroblochs) Intra et Inter. Le procédé, qui fait l'objet de ce brevet, permet de remédier à ce défaut. Il se décline en deux parties : d'abord une nouvelle modélisation Débit-Quantification (R-Q) permettant d'estimer avec précision le QP des trames Intra (I) et ensuite un ajustement perceptuel des QPs des macroblochs Inter (P) exploitant les cartes de saillance. Ces approches sont implémentées dans le profil de base de H.264/AVC et visent les séquences vidéo codées à très bas débits.

Le modèle Débit-Quantification permet d'établir une relation non linéaire entre le débit global pour coder la totalité de la séquence, le débit cible et la complexité de la Trame I. Ce modèle permet d'estimer le QP initial d'une manière appropriée afin d'améliorer la qualité des Trames Intra et celle de la séquence entière. La particularité de ce modèle, qui constitue aussi sa force, est qu'il inclut la complexité de la trame sans avoir à la définir. Une fois déterminés, les QPs sont adaptés au contenu des unités de codage. Le procédé proposé permet un ajustement qui s'adapte à la complexité perceptuelle de l'unité à coder. La complexité perceptuelle est définie à partir des cartes de saillance qui permettent de détecter les zones importantes et non importantes visuellement. Les unités saillantes sont alors codées finement tandis que les unités non saillantes le sont grossièrement (avec de larges valeurs de QPs).

Description

Domaine technique

Les procédés proposés permettent d'améliorer la qualité visuelle des séquences vidéo codées par H.264/AVC tout en réduisant considérablement le débit binaire. Ils peuvent être appliqués dans les applications visées par le profil de base de la norme H.264/AVC telles que la vidéo-téléphonie, la vidéo-mobile.

Etat de la technique

L'explosion des applications multimédias est en grande partie liée à l'efficacité des techniques de compression utilisées. H.264/AVC, également appelée MPEG-4 Part 10, est la dernière née des normes de codage vidéo. Elle est plus efficace que les standards précédents (MPEG1, MPEG2-part 4, H26x..) et permet d'atteindre des gains de compression significatifs tout en sauvegardant une qualité d'images intéressante. Comparée aux normes précédentes, elle offre une qualité visuelle équivalente à un débit deux fois plus faible. Elle possède les mêmes éléments fonctionnels de base que les autres standards : une transformée pour la réduction de la corrélation spatiale, une quantification pour la réduction et le contrôle du débit binaire, une prédiction

compensée en mouvement pour la minimisation de la corrélation temporelle et un codage entropique pour la réduction de la corrélation statistique. Elle se différencie des autres normes dans les détails de chaque élément fonctionnel : une prédiction Intra-image, une nouvelle transformation DCT entière de blocs de taille 4x4, de multiples images de référence, des tailles variables de blocs et une compensation de mouvement jusqu'au quart de pixel, un filtre de déblocage et un codage entropique amélioré. Cette norme permet en outre d'envisager une grande diversité d'applications grâce à la définition de profils intégrant chacun différents éléments. Le profil de base est ainsi plus orienté vers les applications comme la vidéo-téléphonie, la vidéoconférence, la vidéo mobile et les communications sans fil. Le profil principal est destiné à la télévision numérique et le stockage, alors que le profil étendu est plus adapté aux applications de diffusion de média et de vidéo streaming.

Comme pour les autres standards, le contrôle de débit est un élément clé de H.264/AVC car il permet de réguler la qualité visuelle de la séquence reconstruite tout en respectant les contraintes imposées par le canal de transmission. Conformément au débit cible spécifié, le contrôle de débit détermine les paramètres de quantification en utilisant deux étapes : une allocation de bits et une détermination du paramètre de quantification via un modèle Débit-Quantification. Ces deux étapes ont naturellement fait l'objet de plusieurs investigations. Les modèles qui ont été choisis et donc préconisés par le groupe de normalisation restent basiques. L'allocation de bits au niveau trame par exemple, suppose que les caractéristiques des GOPs (Groupes d'images) sont similaires et alloue équitablement le nombre de bits cible aux unités de codage (Trames ou Macroblocs : MBs).

Deux types de contrôle de débit sont supportés par H.264/AVC: Le contrôle à débit variable (VBR : Variable Bit-Rate) qui est apparu avec l'avènement des réseaux ATM et le contrôle à débit constant (CBR : Constant Bit-Rate) souvent appliqué à cause des contraintes imposées par la bande passante du canal de transmission et le buffer du décodeur. Dans le présent brevet, nous nous intéressons au contrôle à débit constant (CBR). Le contrôleur de débit ainsi configuré, commence par une étape d'allocation de bits durant laquelle un nombre de bits cible utilisé pour coder l'unité de base (BU) courante (Trame ou MB) est déterminé. Cette étape est suivie d'une étape de détermination du paramètre de quantification. Cette dernière se base sur une estimation de la complexité de la BU ensuite, le paramètre de quantification est calculé en appliquant un modèle quadratique R-D. Finalement, le paramètre de quantification déterminé est borné à travers un limiteur de QP afin de garantir un lissage de la qualité à travers deux images adjacentes/MBs adjacents. A ces étapes s'ajoute une phase de calcul du paramètre de quantification initial utilisé pour coder la trame I et la première trame P. Dans ce brevet, nous allons remédier au défaut de calcul du paramètre de quantification initial et au réajustement du paramètre de quantification des unités de base Inter.

❖ *Détermination du QP initial de la trame I et la 1ère trame P*

Pour chaque GOP appartenant à une séquence vidéo, un paramètre de quantification doit être initialisé. Ce dernier est utilisé pour coder la trame I et la première trame P. Il est prédéfini en utilisant le nombre de bits par pixel (bpp : bits per pixel). Cette entité est déterminée en fonction du débit total utilisé pour coder la totalité de la séquence (RT), du nombre de pixels par trame (N_{pixel}) et de la fréquence trame (Fr).

$$bpp = \frac{RT}{Fr \times N_{pixel}} \quad (1)$$

Pour le premier GOP, le paramètre de quantification initial QP_I est défini comme suit:

$$QP_I = \begin{cases} 35, & \text{Si } bpp \leq L1 \\ 25, & \text{Si } L1 < bpp \leq L2 \\ 20, & \text{Si } L2 < bpp \leq L3 \\ 10, & \text{Si } bpp > L3 \end{cases} \quad (2)$$

Les constantes $L1$, $L2$ et $L3$ varient en fonction du format de la vidéo d'entrée (QCIF, CIF ou autres). Pour les autres GOPs, le paramètre de quantification initial est déterminé en fonction de la moyenne des QPs des trames P appartenant au GOP précédent. Finalement la valeur du QP_I doit être bornée entre 1 et 51 selon les recommandations de la norme.

❖ *Détermination des QPs des unités de base P*

Pour déterminer le paramètre de quantification d'une unité de base P, on commence par estimer son nombre de bits cible ($T(j)$) qui sera utilisé pour son codage :

$$T(j) = \beta \times \frac{T_r(j)}{N_r} + (1 - \beta) \times T_{buf} \quad (3)$$

$T_r(j)$ est le nombre de bits restants pour coder toutes les trames non codées (N_r). $T_{buf}(j)$ est le nombre de bits cible déterminé à partir de l'état du buffer. β est un facteur de pondération égal à 0.5. Après avoir estimé le nombre de bits d'entête de l'unité de base considérée ($T_h(j)$), une estimation de sa mesure de complexité (MAD : Moyenne des différences absolues) est calculée à travers le modèle linéaire suivant :

$$MAD_j = a_1 \times MAD_{j-1} + a_2 \quad (4)$$

MAD_j et MAD_{j-1} représentent respectivement le MAD de la trame courante (ou du macrobloc courant) et celui de la trame précédente (ou du macrobloc précédent). a_1 et a_2 sont les coefficients du modèle de prédiction linéaire. Leurs valeurs initiales sont respectivement égales à 1 et 0. Ensuite, elles sont mises à jour après le codage de chaque trame (ou macrobloc). Finalement, le pas de quantification ($Qstep_j$) est déterminé via le modèle quadratique suivant :

$$T(j) - T_h(j) = c_1 \times \frac{MAD_j}{Qstep_j} + c_2 \times \frac{MAD_j^2}{Qstep_j^2} \quad (5)$$

Les paramètres du modèle c_1 et c_2 sont mis à jour par une méthode de régression linéaire. Une fois le pas de quantification déterminé, le paramètre de quantification de la trame courante (ou du macrobloc courant) est calculé via une relation non linéaire.

Tel qu'il est préconisé par H.264/AVC, le contrôleur de débit souffre de plusieurs insuffisances liées principalement :

- ❖ **A la détermination des paramètres de quantification de la trame I et de la première trame P :** Le choix d'un paramètre de quantification initial approprié pour la trame I et la première trame P, a un énorme impact sur l'amélioration des performances Débit-Distorsion (R-D) du schéma du contrôle de débit. Les trames P étant prédites directement ou indirectement par compensation de mouvement à partir des trames I, un choix erroné du QP initial générera des erreurs pouvant se propager dans l'ensemble de la séquence vidéo. La détermination du QP initial des deux premières trames (I et P) du 1^{er} GOP, est basée sur le nombre de bits par pixels (*bpp*). Cette grandeur exploite le débit binaire cible, la fréquence trame et le nombre de pixels par trame. Pour les trames I des GOPs suivants, le calcul du QP initial est basé sur la moyenne des paramètres de quantification des trames P du GOP précédent. Cette détermination manque de précision. D'abord parce que le calcul du *bpp* ne prend nullement en compte les caractéristiques de la trame I. L'utilisation du *bpp* ensuite génère des variations importantes des valeurs QP. Les différents tests expérimentaux menés au laboratoire confirment l'inaptitude du *bpp* à déterminer une valeur optimale du QP.
- ❖ **A la détermination des paramètres de quantification des autres unités de base P :** Deux modèles sont utilisés pour estimer les paramètres de quantification du reste des unités de base P à savoir le modèle linéaire (Eq. 4) et le modèle quadratique (Eq. 5). Le modèle linéaire prédit le *MAD* de l'unité de base courante à partir du *MAD* réel de l'unité de base précédente. Le modèle quadratique exploite le *MAD* prédit et le nombre de bits cible de l'unité de base courante pour calculer le pas de quantification. Le modèle linéaire peut constituer une source d'altération de la performance du contrôleur de débit. Ce modèle suppose que la complexité varie graduellement d'une unité de base à une autre. Pour les vidéos non stationnaires où il y a des changements de scènes, l'information collectée à travers les unités de base précédentes est erronée et engendre donc une mauvaise prédiction du *MAD*. A ce manque de précision du modèle linéaire, se rajoute une approximation grossière induite par le modèle quadratique R-Q. Pour un paramètre de quantification fixe, ce modèle stipule que le nombre de bits de texture est directement proportionnel au *MAD*. Cette règle de proportionnalité n'ayant pas été validée par les tests expérimentaux menés, des ajustements sont donc nécessaires pour rendre ce modèle plus précis.

Dans la littérature, plusieurs solutions sont proposées afin d'estimer plus finement le paramètre de quantification initial. Zhou et al. (Y. Zhou, Y. Sun, Z. Freng et S. Sun, Journal of Signal Processing : Image Communication, 2009) proposent un schéma adaptatif de calcul du paramètre de quantification en utilisant des statistiques de la trame I et sa corrélation avec les trames P. Le modèle proposé exprime la relation entre le débit (*R*), le pas de quantification (*QPstep*) et sa variance (σ) via un modèle quadratique R-Q. Le débit *R* est un rapport entre la variance de la trame I et la moyenne des écarts-types des trames P. Le nouveau paramètre de quantification déterminé ainsi, permet d'améliorer la qualité mesurée en PSNR moyen. De plus, les tests d'évaluation subjective montrent un lissage de qualité à travers les séquences traitées. Ces améliorations observées dans le cas d'un codage à bas débits, restent toutefois négligeables lorsque les séquences vidéo sont codées à hauts débits. De plus, cette approche ne peut être envisagée dans le

cas des applications temps réel puisqu'il faut préalablement disposer des trames P pour calculer R. Un modèle exponentiel R-Q, liant le pas de quantification, le débit binaire et le gradient de la trame I a été proposé par Jing et al. (X. Jing, L. P. Chau et W. C. Siu, IEEE Signal Processing Letters, 2008). Lim et al. (S. C. Lim, H. R. Na et Y. L. Lee, Journal of Signal Processing : Image Communication, 2007) exploitent la mesure du PSNR pour déterminer le paramètre de quantification initial. Le but est d'avoir une qualité consistante à travers les trames qui précèdent ou suivent la trame I. Les auteurs montrent, qu'il existe, sauf pour les faibles valeurs de QP, une relation linéaire entre le PSNR de la trame P et celui de la trame I. Le PSNR cible de la trame I dans un GOP peut être déterminé en utilisant une moyenne pondérée des valeurs des PSNRs des trames P appartenant au GOP précédent. Malgré que les résultats de simulation des approches proposées par Jing et Lim montrent une adaptation au changement du contenu des trames I et une estimation précise de leurs débits, mais elles ne sont pas appliquées sur le premier GOP de la séquence vidéo traitée. Le paramètre de quantification de la 1^{ère} trame I du 1^{er} GOP est déterminé classiquement à partir du nombre de bits par pixel (bpp). Cette détermination peut générer des erreurs pouvant se propager à travers les trames P compensées en mouvement à partir de la trame I. Ceci contribue à la dégradation des performances R-D. Le brevet de référence US 2004202247A1 (Yung-Ching Chang, Chia-Chieh Chen et Teng-Kai Wang), propose une allocation de bits incluant une nouvelle estimation du QP initial. Une relation entre l'activité pré-analysée de la trame courante I et la complexité réelle des trames du même type, codées précédemment est établie. Cette relation exploitée dans la détermination du nombre de bits cible pour coder la trame courante va aussi, permettre de calculer une valeur initiale de la moyenne des pas de quantification initiaux. La valeur ainsi estimée, permet d'améliorer la qualité de la séquence traitée.

L'utilisation des deux modèles linéaire et quadratique contribue également au mauvais choix du paramètre de quantification adéquat pour coder une unité de base P. Afin d'améliorer l'efficacité de l'algorithme du contrôle de débit, des changements sont proposés pour les deux modèles exploités. Lim et al. (S. C. Lim, H. R. Na et Y. L. Lee, Journal of Signal Processing : Image Communication, 2007) proposent une modélisation en ρ -domaine pour calculer le paramètre de quantification des trames P. ρ est le pourcentage des zéros obtenu après transformation et quantification des coefficients. Les auteurs exploitent des études montrant qu'il existe une relation linéaire entre le débit binaire R et le facteur ρ . Ces mêmes études montrent également qu'une relation non linéaire est observée entre le facteur ρ et QP, le paramètre de quantification. L'application du modèle R-Q proposé engendre une estimation précise du débit cible puisque le taux d'erreur relatif à la différence entre ce dernier et le débit réel reste légèrement petit. Cette estimation précise de bits, permet de maintenir la stabilité du buffer tout en réduisant sa capacité d'occupation qui peut brusquement augmenter à cause d'un changement de scènes. La qualité est également maintenue consistante à travers les trames (faible variance des valeurs du PSNR) sauf dans le cas d'un changement de scènes, ou une variation des valeurs du PSNR est observée accompagnée d'une légère amélioration du PSNR moyen. Dans l'invention concernant le brevet US 2009257488A1 (Cheung Auyeung), une estimation Débit-Quantification des macroblocs codés en mode Intra est présentée. Elle se base sur le calcul de l'histogramme des coefficients transformés des composantes de luminance et de chrominance. La limitation de cette approche réside dans l'utilisation d'un seul mode de codage Intra qui engendre une complexité calculatoire accrue. De plus le contrôle de débit est appliqué au niveau

de l'étape d'optimisation débit-distorsion (RDO) qui précède l'étape du contrôle de débit. Dans le brevet US6263114B1 (Nicholas Ian Saunders), le débit est maintenu en contrôlant le degré de compression à travers le facteur de quantification. La variance des coefficients transformés par DCT calculée est exploitée dans la détermination de valeurs continues des facteurs de quantification. Si cette approche a permis d'utiliser 97% du débit fixé par l'utilisateur, il n'en demeure pas moins qu'elle contrôle le débit au sein du codeur et non pas durant l'étape d'application du contrôleur de débit qui précède l'étape de codage. Dans le procédé de référence US 2011150076A1 (Limin Wang et Yinqing Zhao), deux étapes de codage et de contrôle sont appliquées pour déterminer le paramètre de quantification. La première étape de codage permet de traiter la séquence vidéo considérée. Le débit cible de chaque trame R ainsi qu'une variable α sont déterminés. La variable α dépend du rang du QP, du type de la trame et de sa complexité. La seconde étape de codage permet de déterminer le QP en se basant sur R et α . Une mise à jour de α est appliquée après le codage de chaque image ou MB. Cette approche est intéressante de par ses performances mais ne peut être implantée en temps réel à cause de ses deux étapes.

Dans ce brevet, nous présentons dans un premier temps, un modèle débit-quantification capable de déterminer avec précision le QP initial. Ce modèle substitue celui utilisé par le contrôleur de débit de H.264/AVC. Ensuite, un ajustement des Qps des unités P est appliqué. Cet ajustement exploite la notion de saillance qui permet de mettre en évidence les zones pertinentes d'un point de vue visuel. La combinaison de ces deux approches améliore les performances de codeur en termes de débit (Réduction jusqu'à 18%) et de qualité.

Objet de l'invention

L'invention concerne un procédé de détermination du paramètre de quantification du codeur H.264/AVC et de son adaptation à l'importance perceptuelle du contenu de la vidéo

Description de l'invention

Dans cette section, nous allons décrire les détails d'élaboration du modèle débit quantification (R-Q) utilisé pour calculer les paramètres de quantification des trames I et l'approche d'ajustement perceptuel des QPs des unités de base P. Les **Figures 1** et **2** illustrent l'ancien et le nouveau schéma (incluant les nouveaux procédés) du contrôleur de débit de H.264/AVC.

❖ *Modèle R-Q de la trame I et la première trame P*

Dans les standards de codage vidéo, chaque groupe d'images est composé au moins d'une seule trame I suivie d'autres trames P et/ou B. Ces dernières sont prédites, directement ou indirectement, par compensation de mouvement à partir de la trame I. Améliorer la qualité de codage de la première trame permet d'améliorer celle des trames suivantes, et augmente par conséquent les performances R-D de la totalité de la séquence. Dans cette optique, nous proposons un nouveau modèle Intra R-Q permettant d'optimiser la sélection du paramètre de quantification initial pour coder la trame I et la première trame P. Pour mettre en œuvre ce modèle, nous avons commencé par subdiviser les séquences vidéo manipulées en deux bases : Une première base nommée

"BaseTr" utilisée dans l'élaboration du modèle Intra proposé. La seconde base appelée "BaseTest" est employée pour tester l'efficacité du modèle. Les séquences vidéo à tester sont choisies à partir des documents vidéo de l'IUT (International Union of Télécommunications) qui sont largement adoptés par les chercheurs et les scientifiques dans le but de couvrir une large gamme contenant le détail, le mouvement des objets et les différents types de fond, ainsi que le mouvement de la caméra. Les formats utilisés des séquences d'images sont QCIF et CIF.

L'élaboration du modèle Intra R-Q est subdivisée en deux principales étapes (**Figure 3**):

- Modéliser la relation entre le débit binaire fixé pour coder la totalité de la séquence (RT) et le débit binaire cible pour coder la trame I (RI).
- Modéliser la relation entre le débit binaire cible pour coder la trame I (RI) et le paramètre de quantification (QP_I).

La combinaison des deux relations détermine le paramètre de quantification initial. Pour atteindre l'objectif de la première étape, nous avons mené des tests expérimentaux sur les séquences appartenant à BaseTr. Ces derniers consistent à coder chaque séquence vidéo à plusieurs débits binaires variant de 10Kbps à 80Kbps. Une collecte des informations suivantes est effectuée :

- Débit binaire réel généré après codage de la trame I,
- La mesure de complexité δ (Moyenne quadratique des gradients).

$$\delta = \sqrt{\left(\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M |Y_{i,j} - Y_{i+1,j}|\right)^2 + \left(\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M |Y_{i,j} - Y_{i,j+1}|\right)^2} \quad (6)$$

M et N représentent les dimensions de la trame. $Y_{i,j}$ est la valeur du pixel de luminance à la position (i,j) .

Dans un premier temps, nous schématisons la relation liant le rapport RI/δ et RT/Fr (Avec Fr est la fréquence trame). Le modèle qui en résulte est non linéaire présenté par cette équation :

$$\frac{RI}{\delta} = a * \left(\frac{RT}{Fr}\right)^b \quad (7)$$

Les paramètres du modèle non linéaire a et b sont déterminés par la méthode des moindres carrés afin d'approximer les données obtenues précédemment. Leurs valeurs sont fixées respectivement à 123.4 et 0.38.

La seconde étape de notre approche de modélisation R-Q, consiste en la génération d'un modèle liant le rapport (RI/δ) et le paramètre (QP_I) . Pour atteindre cet objectif, nous avons codé les mêmes séquences vidéo avec les mêmes débits mentionnés précédemment tout en variant le paramètre de quantification de 10 à 40 avec un pas de 2. La relation qui en résulte est également non linéaire et est modélisée par :

$$\frac{RI}{\delta} = \frac{1}{p_1 \times QP_I^2 + p_2 \times QP_I + p_3} \quad (8)$$

où p_1 , p_2 et p_3 représentent les coefficients du modèle R-Q. Ils sont égaux respectivement à 2.443×10^{-6} , -6.934×10^{-5} et 6.68×10^{-4} .

La combinaison de l'Eq. 7 et l'Eq. 8 permet de calculer le paramètre de quantification initial optimal à partir du débit binaire global fixé au départ pour coder la totalité de la séquence vidéo. La particularité de notre approche de modélisation R-Q réside dans le fait que nous tenons compte de la complexité de la trame I représentée par δ , sans effectuer le calcul de cette dernière contrairement aux travaux proposés dans la littérature. De plus, l'adoption du modèle Intra R-Q aide à mieux contrôler le débit de la trame I et à améliorer sa qualité et celle des trames suivantes dans le GOP. Le **Tableau 1** illustre les résultats de simulation obtenus après avoir appliqué le modèle R-Q proposé en comparaison avec le logiciel de référence JM15.0, l'une des dernières versions du standard H.264/AVC. Notons que dans le **Tableau 1**, une valeur moyenne positive signifie une augmentation et une valeur négative signifie une diminution.

Séquences	Débit Binaire Cible (Kbps)	JM15.0			Modèle R-Q			Gain en PSNR (dB)	Gain en débit (Kbps)
		QP Initial	Débit réel (Kbps)	PSNR (dB)	QP Initial	Débit réel (Kbps)	PSNR (dB)		
Akiyo	25	35	25.18	35.77	27	25.19	37.82	+2.05	-0.01
	35	35	35.22	37.22	26	35.23	39.12	+1.9	-0.01
	45.02	35	45.37	38.40	25	45.37	40.21	+1.81	0
	64	35	64.38	40.08	24	64.35	41.63	+1.55	+0.03
Grandma	25	35	25.18	34.16	27	25.16	35.75	+1.59	+0.02
	35	35	35.21	35.13	26	35.20	37.00	+1.87	+0.01
	45.02	35	45.26	36.14	25	45.38	37.90	+1.76	-0.12
	64	35	64.29	37.50	24	64.35	39.11	+1.61	-0.06
News	25	35	25.23	31.20	27	25.18	32.15	+0.95	+0.05
	35	35	35.31	32.16	26	35.28	34.03	+1.87	+0.03
	45.02	35	45.38	33.21	25	45.39	35.30	+2.09	-0.01
	64	35	64.37	35.30	24	64.58	37.15	+1.85	-0.21
Salesman	25	35	25.15	30.43	27	25.16	31.31	+0.88	-0.01
	35	35	35.20	31.63	26	35.18	33.04	+1.41	+0.02
	45.02	35	45.32	32.62	25	45.20	34.39	+1.77	+0.12
	64	35	64.37	34.27	24	64.22	36.21	+1.94	+0.15
Silent	25	35	25.18	30.51	27	25.19	31.04	+0.53	-0.01
	35	35	35.23	31.63	26	35.20	32.70	+1.07	+0.03
	45.02	35	45.29	32.50	25	45.33	33.96	+1.46	-0.04
	64	35	64.40	33.93	24	64.33	35.74	+1.81	+0.07

Tableau 1 : Comparaison entre le modèle Intra R-Q et JM15.0 en termes du QP initial, des gains en PSNR et débit binaire.

En comparaison avec le logiciel de référence JM15.0 qui fixe toujours le QP initial à une valeur élevée pour les faibles débits, le modèle proposé conduit à différentes valeurs de QP initial en fonction du débit binaire fixé pour coder la totalité de la séquence. On peut noter également, que pour une précision du contrôle de débit (Différence entre le débit cible et réel est approximativement la même), le modèle Intra améliore les performances du codage en atteignant des valeurs élevées de la moyenne du PSNR (+2.05dB pour les séquences "Akiyo" et "News" codées à 25 et 45Kbps respectivement).

❖ **Ajustement perceptuel des QPs des unités P**

Dans cette section, nous présentons le procédé d'ajustement perceptuel des paramètres de quantification des unités P. L'idée de base consiste à quantifier finement les régions saillantes et grossièrement les zones non saillantes.

Notre environnement visuel est constitué d'une quantité considérable d'informations devant être appréhendée et interprétée avec précision par notre système visuel. Ceci dans l'optique de sélectionner les régions d'intérêt de cet environnement. Pour effectuer cette sélection, deux mécanismes attentionnels sont considérés afin de traiter minutieusement l'information pertinente. Le premier mécanisme nommé "Top-down" (Descendant) est piloté par la tâche à accomplir à un instant donné, impliquant un contrôle volontaire et cognitif des mouvements oculaires. Cette lente stratégie nécessitant toutes les ressources attentionnelles est déployée pour effectuer une tâche : reconnaître un paysage sur une photo, chercher une personne portant une veste noire.... Le second mécanisme exogène appelé "Bottom-up" (Ascendant) permet de sélectionner les informations visuelles selon leur degré de saillance. Ce dernier est calculé à partir des caractéristiques spatio-temporelles du flux lumineux visible dans notre champ visuel. Ce type de traitement est très rapide et automatique. Plusieurs modèles d'attention visuelle ont été proposés dans la littérature. Pour des raisons de complexité, le modèle détaillé dans (R. Barland et A. Saadane, Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering, Human vision and electronic imaging XIII, 2008) et proposé par un des co-inventeurs du présent brevet est utilisé dans cette partie. Ce modèle de saillance admet pour entrée les trames de la vidéo et exploite une approche "Bottom-up" dans laquelle l'intensité, la couleur, la sensibilité au contraste et l'orientation sont prises en compte. Il délivre une carte de saillance qui spécifie en chaque position de l'image l'importance visuelle du pixel: 0 signifie aucune importance et 1 le maximum de saillance.

Pour décrire comment l'information collectée à travers la carte de saillance peut être employée dans l'ajustement du paramètre de quantification, le procédé commence par calculer le nombre de pixels saillants (S_Pix) et non saillants (NS_Pix) contenus dans la carte de saillance de chaque unité BU (Trame ou MB) Inter comme suit :

$$\begin{aligned} S_Pix &= S_Pix+1, & \text{Si } IM(m,n) \geq c \\ NS_Pix &= NS_Pix+1, & \text{Autrement} \end{aligned} \tag{9}$$

Pour une trame donnée, $IM(m,n)$ est la valeur du pixel à la position (m,n) dans la carte de saillance IM . S_Pix et NS_Pix sont initialisés à 0 après le traitement de chaque BU. Nous supposons qu'un pixel est visuellement important lorsque sa valeur dans la carte de saillance est supérieure à une constante c initialisée empiriquement à la valeur 0.4 après plusieurs expérimentations. Un facteur de pondération PW basé sur S_Pix et NS_Pix est ensuite déterminé comme suit :

$$PW = \begin{cases} 0, & \text{Si } \left(S_Pix > \frac{\text{NombrePix}}{2} \right) \\ \frac{NS_Pix}{\text{NombrePix}}, & \text{Autrement} \end{cases} \tag{10}$$

Le facteur PW est égal à 0 lorsqu'il s'agit d'une BU visuellement importante (Nombre de ses pixels saillants dépasse la moitié du total de ses pixels). Dans le cas d'une BU non saillante, PW est égal au rapport $N_Pix/NombrePix$. $NombrePix$ représente le nombre de pixels contenus dans une BU. Finalement, le paramètre de quantification est ajusté de manière adaptative en incluant le facteur PW comme suit :

$$QP_{Ajust} = QP_{H264} \times (1 + PW) \tag{11}$$

Ainsi défini, la valeur du paramètre de quantification ajusté (QP_{Ajust}) est toujours supérieure ou égale à la valeur déterminée par l'algorithme du contrôle de débit (QP_{H264}).

Avec une qualité similaire à celle de H.264/AVC, l'ajustement perceptuel de QP réduit en moyenne le débit binaire utilisé pour coder une séquence donnée de 38% (Codage en bas débit). Le **Tableau 2** illustre le débit binaire et les moyennes du PSNR et du SSIM (Structural Similarity Measure) de l'approche d'ajustement du paramètre de quantification au niveau macrobloc et de l'algorithme de référence JM15.0. La technique proposée permet d'avoir des réductions variables du débit binaire allant de 6.87 à 38.8% en comparaison avec JM15.0. Ces réductions qui sont significatives, sont rendues possibles grâce à l'adaptation du paramètre de quantification qui alloue beaucoup moins de bits aux macroblocs non saillants. Cette adaptation, qui est accompagnée d'une légère variation du PSNR, permet également de conserver la même qualité visuelle que JM15.0 puisque les deux algorithmes obtiennent le même score SSIM (connu par sa forte corrélation avec le MOS :Mean Opinion Score).

Séquences	Débit Binaire Cible (Kbps)	JM15.0			QP Ajusté			Gain en débit (%)
		Débit réel (Kbps)	PSNR (dB)	SSIM	Débit réel (Kbps)	PSNR (dB)	SSIM	
Akiyo	45	45.37	38.40	0.95	39.93	38.20	0.95	11.99
	60	60.58	39.87	0.96	50.79	39.31	0.96	16.16
	75	75.46	41.05	0.97	58.71	40.15	0.96	22.2
	80	80.54	42.36	0.98	60.81	41.80	0.98	24.5
Claire	45	45.73	40.57	0.96	36.39	40.06	0.96	20.42
	60	61.03	41.91	0.97	43.42	40.91	0.97	28.85
	75	75.89	43.06	0.97	56.08	42.03	0.97	26.10
	80	81.02	43.83	0.98	49.56	42.19	0.98	38.83
News	45	45.38	33.21	0.92	42.26	33.39	0.92	6.87
	60	60.45	34.99	0.94	53.68	34.51	0.93	11.2
	75	75.43	36.24	0.95	67.22	35.57	0.94	10.88
	80	80.40	38.08	0.97	71.23	37.29	0.96	11.41
Silent	45	45.29	32.50	0.87	41.38	31.92	0.86	8.63
	60	60.28	33.77	0.90	52.64	32.78	0.88	12.67
	75	75.51	34.80	0.92	60.87	33.59	0.92	19.39
	80	80.45	36.74	0.95	65.24	35.44	0.94	18.91

Tableau 2 : Comparaison de la moyenne du PSNR et celle du SSIM et du débit binaire entre le JM15.0 et l'approche d'ajustement perceptuel du QP

La combinaison des deux procédés proposés permet d'améliorer la qualité visuelle des séquences vidéo codées tout en réduisant considérablement le débit binaire en comparaison avec le logiciel de référence JM15.0 (*Tableau 3*).

Nous remarquons que la technique proposée améliore d'une manière très significative le débit binaire (jusqu'à 18% de réduction) et la qualité (+2.24dB en PSNR et 5% en SSIM). La réduction du débit binaire est obtenue grâce à l'utilisation de valeurs larges du paramètre de quantification pour coder les unités non importantes visuellement. Les gains en qualité proviennent de l'utilisation du modèle Débit-Quantification (R-Q) qui permet de choisir efficacement le paramètre de quantification initial pour coder les deux premières trames ce qui améliore la qualité de la totalité de la séquence.

Séquences	Débit Binaire Cible (Kbps)	JM15.0			Modèle R-Q +QP Ajusté			Gain en débit (%)
		Débit réel (Kbps)	PSNR (dB)	SSIM	Débit réel (Kbps)	PSNR (dB)	SSIM	
Akiyo	30	30.26	36.56	0.93	27.81	38.38	0.96	8.1
	45	45.37	38.40	0.95	39.03	40.00	0.97	13.97
	60	60.58	39.87	0.96	49.77	41.00	0.97	17.84
	75	75.46	41.05	0.97	61.66	41.89	0.98	18.29
Grandma	30	30.18	34.67	0.88	29.07	36.47	0.93	3.68
	45	45.21	36.09	0.92	42.46	38.09	0.95	6.08
	60	60.38	37.14	0.93	55.70	39.01	0.96	7.75
	75	75.42	38.26	0.94	68.98	39.61	0.96	8.54
News	30	30.27	31.70	0.90	30.21	33.46	0.93	0.2
	45	45.38	33.21	0.92	43.57	35.26	0.95	4
	60	60.45	34.99	0.94	54.95	36.18	0.96	9.1
	75	75.43	36.24	0.95	65.86	37.08	0.96	12.69
Silent	30	30.18	31.07	0.84	30.18	32.09	0.88	0
	45	45.29	32.50	0.87	42.57	33.71	0.91	6.01
	60	60.28	33.77	0.90	52.99	34.77	0.93	12.09
	75	75.51	34.80	0.92	62.08	35.34	0.94	17.79

Tableau 3: Comparaison des gains en termes de débit binaire, PSNR et SSIM entre le logiciel de référence JM15.0 et les procédés proposés

Revendications

1. Procédé de détermination des paramètres de quantification (QPs) des unités Intra et Inter dans le codeur H.264/AVC basée sur deux nouvelles approches, une modélisation Débit-Quantification pour estimer les QPs initiaux des unités Intra et une adaptation des QPs des unités Inter à l'importance perceptuelle de leurs contenus.
2. Procédé de détermination des QPs selon la revendication 1 caractérisé en ce que le nouveau modèle Débit-Quantification permet d'établir une relation non linéaire entre le débit global pour coder la totalité de la séquence, le débit cible et la complexité de la Trame I sans avoir à la calculer.
3. Procédé de détermination des QPs selon la revendication 1 caractérisé par une implémentation d'un ajustement du QP qui s'adapte à la complexité perceptuelle de l'unité P à coder.
4. Procédé de détermination des QPs selon les revendications 1 et 3 caractérisé en ce que la complexité perceptuelle est définie à partir des cartes de saillance qui permettent de détecter les zones importantes et non importantes visuellement.
5. Procédé de détermination des QPs selon les revendications 1, 3 et 4 caractérisé en ce que les unités saillantes sont codées finement tandis que les unités non saillantes le sont grossièrement (avec de larges valeurs de QPs).

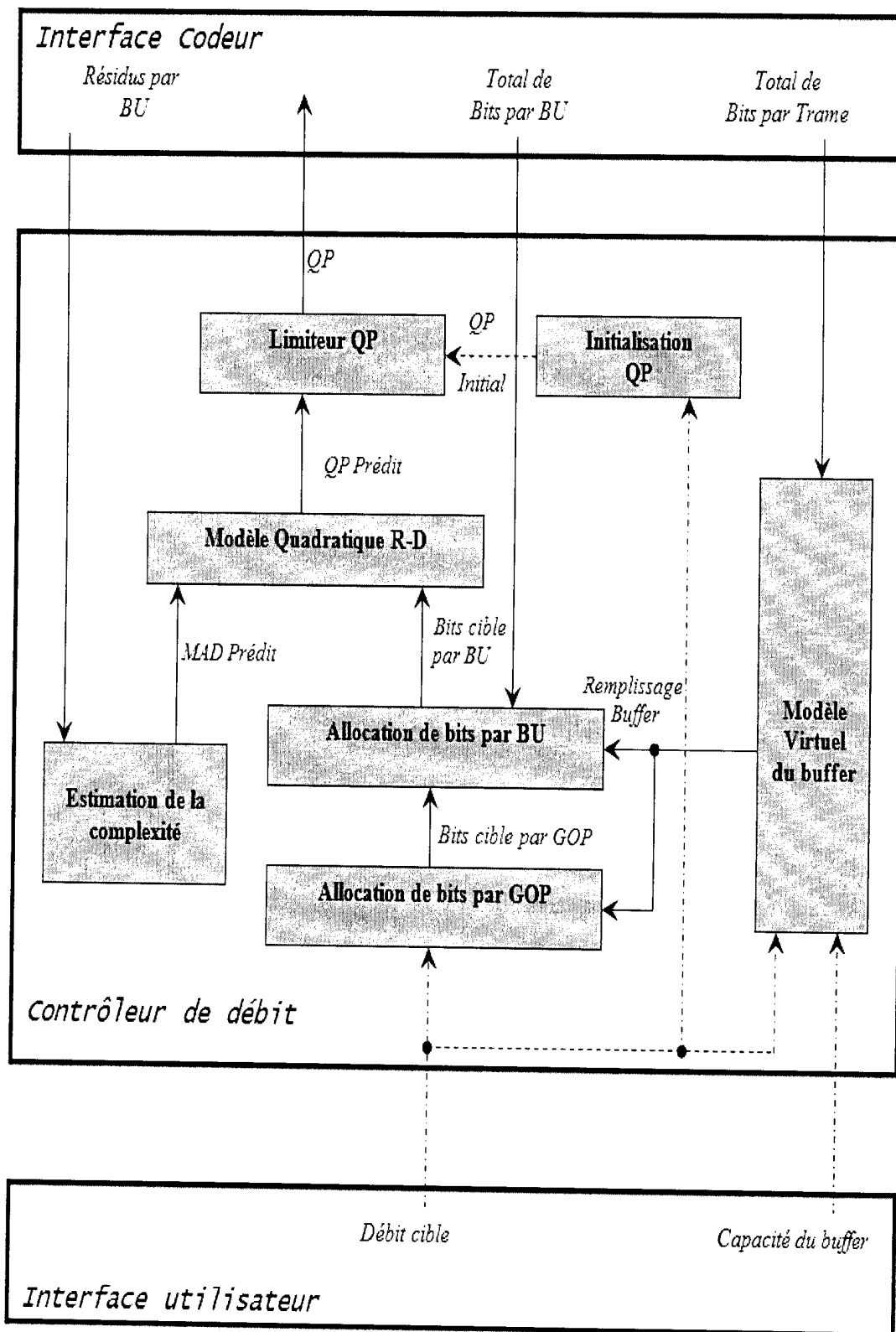


Figure 1 : Schéma standard du contrôleur de débit de H.264/AVC

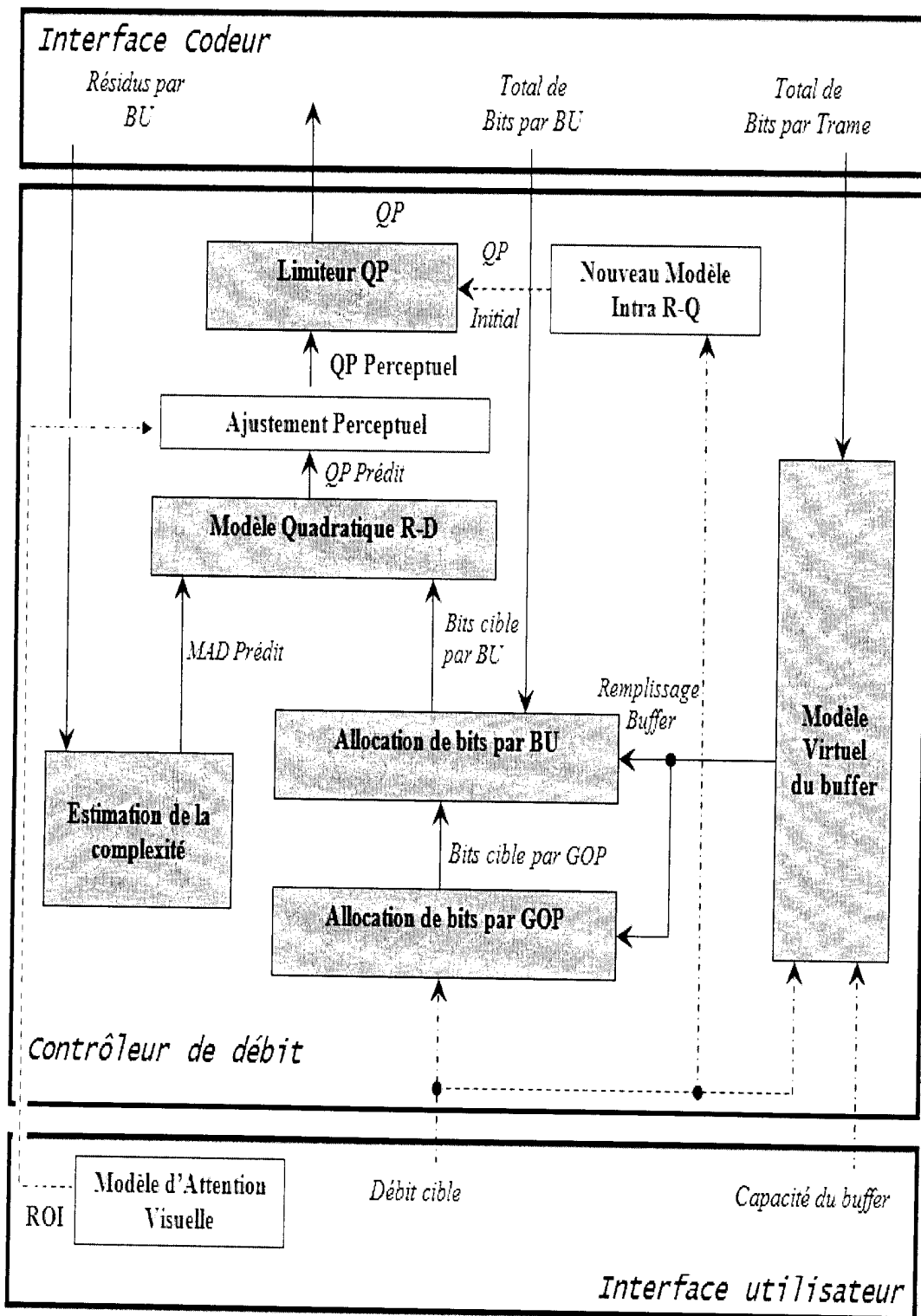
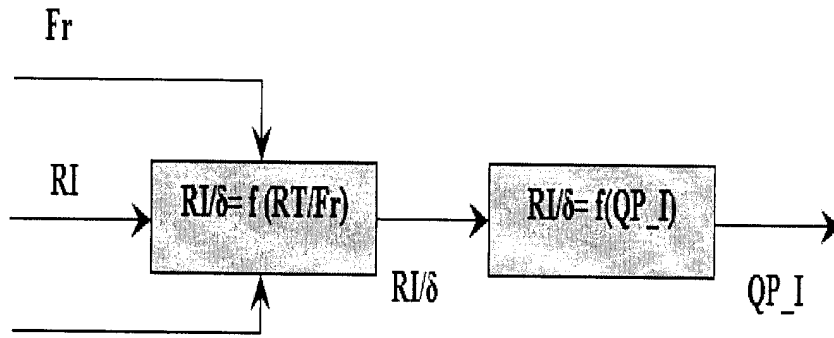


Figure 2: Schéma amélioré du contrôleur de débit de H.264/AVC



Complexité δ

Figure 3: Détermination du QP initial à travers un modèle R-QP