



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغزور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

THEME

**Etude et Evaluation des normes
de la compression vidéo
(HEVC, AV1 et VVC)**

*Réalisé par : - Rihana GHODBANE
- Roumaissa TAAYAT*

Soutenu le 30 / 06 /2022 *Devant le jury composé de :*

*Dr. Malika Medjaldi
Dr. Farouk Boumehrez
Dr. Zaki Issam Khezzar*

*Présidente
Encadreur
Examineur*

*Université Abbes Laghrour-Khenchela
Université Abbes Laghrour-Khenchela
Université Abbes Laghrour-Khenchela*

Promotion 2021/2022

Remerciement

Au seuil de ce travail, qu'il nous soit permis de témoigner de notre profonde et sincère gratitude envers tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à notre formation.

Nous tenons à remercier en premier lieu le Professeur BOUMEHREZ FAROUK pour avoir répondu positivement à notre demande de direction, objet de la présente rédaction. Sa rigueur scientifique et ses remarques ont été utiles pour la qualité de ce travail.

Nous présentons également notre gratitude à tous les professeurs, Chefs de travaux et assistants de l'université de Abbes Laghrour en général, et singulièrement ceux de la faculté de Science et Technologie pour leur dévouement.

Ainsi, nous remercions pour leur soutien tant moral, spirituel et matériel, nos parents.

A tous nos frères, sœurs, amis et compagnons qui nous ont aidé, conseillé et encouragé ; trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Dédicace

Nous dédions ce mémoire

À notre chères parents ; nos mères et nos pères

Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur encouragement

À notre frères, a notre amis et camarades.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire et bien sur l'enseignement supérieur pour leurs efforts à nous.

Mille merci.

RIHANNA & ROUMAÏSSA

ملخص :

يحظى الضغط الرقمي بالكثير من الاهتمام في الوقت الحالي، في هذا الإطار سوف نسلط الضوء على ضغط الفيديو و سنتطرق في مذكرتنا لوصف المراحل الرئيسية لضغط الفيديو كما سيقارن و يقيم هذا العمل أداء أحدث برامج الترميز وهم من حيث جودة الصورة وكذا حجم الفيديو. تجرى الدراسة على فيديوهات مرمزة باستخدام معايير HEVC / H.265 ، AV1 ، و خليفتهما VVC / H 266. مختلفة من حيث المحتوى و ذلك باستخدام قيم مختلفة لـ CRF لكل منهم وهذا باستخدام المبرمج FFmpeg. أظهرت نتائج المنحنيات بعد مناقشتها على MATLAB أن VVC يتصدرهم ويقدم جودة صورة أفضل يليه AV1 وأخيرا HEVC.

الكلمات المفتاحية: ضغط الفيديو، الجودة، HEVC، AV1، VVC.

Abstract :

Digital compression is getting a lot of attention at the moment. In this context, we will focus on video compression. In our memory, we will describe the main stages of video compression. This work will compare and evaluate the performance of the latest norms, HEVC, AVI and their successors, VVC, in terms of image quality and video size on different videos in terms of content, using different CRF values, each using FFmpeg platform. The results of the curves discussed on MATLAB showed that VVC exceeds them and provides better image quality, FOLLOWED by AVI and finally HEVC.

Key words: video compression, video quality, HEVC, AV1, VVC.

Résumé :

La compression numérique fait beaucoup parler d'elle en ce moment. Dans ce cadre, nous mettrons l'accent sur la compression vidéo. Dans notre mémoire, nous décrirons les grandes étapes de la compression vidéo. Ce travail comparera et évaluera les performances des dernières normes, HEVC, AVI et leurs successeurs, VVC, en termes de qualité d'image et de taille de vidéo sur différentes vidéos en termes de contenu, en utilisant différentes valeurs de CRF chacune, en utilisant le plateforme FFmpeg. Les résultats des courbes discutées sur MATLAB ont montré que VVC les dépasse et offre une meilleure qualité d'image, suivi par AV1 et enfin HEVC.

Les mots clé : compression vidéo, qualité vidéo, HEVC, AV1, VVC.

LISTE DES ACRONYMES

A

AVC : Codage Vidéo Avancé (Advanced Video Coding) ;
AV1 : AOMedia Video 1 ;
AC : Composante Alternative ;
AI : All Intra ;
ALF : Adaptive Loop Filter ;

B

BAC : Binary Arithmetic Coding ;
BAD : Binary Arithmetic Decoding ;
BBF : Bitstream Buffer ;
BT : Binary Tree ;
BT-H : Binary Tree Horizontale ;
BT-V : Binary Tree Verticale ;
B frame : Bidirectional predictive frame ;

C

CODEC : CO pour la Compression et DEC pour la de Compression ;
CABAC : Codage Arithmétique Binaire Adapté au contexte ;
Cb, Cr : Chrominance ;
CIF : Common Intermediate Format ;
CU : Coding Unit ;
CTU : Coding Tree Unit ;
CTB : Coding Tree Block ;
CB : Coding Block ;
CFL : Chroma From Luma ;
CPU : Central Processing Unit ;
CRF : Constant Rate Factor ;

D

DCT : Discrete Cosin Transform ;
DST : Discrete Sinus Transform ;
Db : Décibel ;
DC : Composante Directe ;

E

EQM : Erreur Quadratique Moyenne ;

F

FPS : Frame Per Second ;
FHD : Full High Definition ;
FATE : FFmpeg Automated Testing Environment ;

G

GOP : Group Of Pictures ;

H

HEVC : High Efficiency Video coding (Codage Vidéo Haut Efficacité);
HD-DVD : High Definition Digital Versatile Disc ;
HVS : Horizontal Video Scan (balayage horizontale de vidéo);

I

IP : : Intellectual Propoerty ;
ITU-T : Union Internationale de Télécommunication ;
ISO/IEC : Organisation Internationale de Standardisation ;
I Frame : Intra Frame ;

J

JPEG : Jointe Picture Expert Group ;
JCT-VC : Joint Collaborative Team on Video Coding ;
JVET : Joint Video Expert Team ;

K

Kbit/s : Kilo Bit Per Second ;

L

LD : Low Delay ;

M

MP-3 : Moving Picture Experts Group Layer-3 Audio ;
Mbps : Mega bit per second ;
MPEG : Moving Picture Expert Group ;
MV : Motion Vector (vecteur de mouvement) ;
MTT : Multi-Type Tree ;
MOS : Mean Opinion Score ;

N

NGVC : Next Generation Video Coding ;
NSS : Statistiques Basées sur des Scenarios Naturals

O

OBMC : Overlapped Bloc Motion Compensation ;

P

P Frame : Prediction Frame ;
PSNR : Peak Signal-to-Noise Ratio ;
PU : Unité Prédiction (Prediction Unit) ;
PB : bloc Prédiction (Prediction Block) ;

Q

QCIF : Quart Common Intermediate Format ;
QP : Paramètre de Quantification ;

R

RA : Random Acces ;
RVB : Rouge, Vert, Bleu ;

S

SD : Secure Digital ;
SE : Syntax Element ;
SAO : Sample Adaptive Offset ;
SIF : Source Input Format ;
SI : Spatial Information ;

T

TB : Transform Block ;
TU : Transform Unit ;
TT : Ternary Tree ;
TI : Temporal Information ;

U

UC : Unité de Compte ;
UD : Ultra Definition ;
UHD : Ultra Hight Definition ;

V

VVC : Versatile Video Coding ;
VCEG : Video Coding Experts Group ;
VMAF : Video Multi-Method Assessment Fusion ;
VIF : Fidélité de L'information visuelle ;
VTM : VVC Test Model ;

Y

YUV : 'Y' Luminance, 'UV' Chrominance ;

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Différence entre compression avec perte et sans perte.....	6
Tableau I.2 : Format des vidéos.....	12
Tableau I.3 : Les différents formats de la vidéo numérique.....	13
Tableau II.1 : Les paramètres employés pour chaque profil de la norme HEVC.....	22
Tableau III.2.1 : Comparaison des fonctionnalités entre les profils AV1.....	36
Tableau IV.1 : Les séquences vidéo utilisées dans les simulations.....	49
Tableau IV.2 : la description du contenu vidéo.....	50

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Différence de qualité visuelle entre compression avec perte et sans perte.....	5
Figure I.2 : Schéma vidéo encodeur.....	7
Figure I.3 : Schéma fonctionnel d'un encodeur vidéo hybride, incluant la modélisation du décodeur dans le codeur.....	8
Figure I.4 : L'évolution du format de la vidéo numérique de SD au UHD.....	13
Figure II.1 : Schéma bloc du codec vidéo HEVC/H.265.....	18
Figure II.2 : Les trois configurations de la norme HEVC/H.265.....	19
Figure II.3 : Exemple de représentation en arbre quaternaire d'une CTU de 64×64.....	22
Figure II.4 : Le partitionnement dans la norme HEVC.....	23
Figure II.5 : Les coefficients DC et AC pour la TCD.....	24
Figure III.2.1 : L'architecture générale pour AV1 est illustrée.....	30
Figure III.2.2 : Sous-partitionnement des unités de codage.....	30
Figure III.2.3 : Schéma du partitionnement du super bloc AV1.....	31
Figure III.2.4 : Super bloc 64 x 64 partitionné.....	32
Figure III.3.1 : Schéma synoptique de VVC.....	37
Figure III.3.2 : Schéma fonctionnel du codeur.....	38
Figure III.3.3 : Modes de partition disponibles en HEVC et en VVC pour une CU carrée 4N x 4N.....	38
Figure III.3.4 : Schéma de partitionnement des blocs.....	38
Figure III.3.5 : Schéma de partitionnement MTT d'une CTU dans VVC, avec une partie de son arbre correspondant.....	39

Figure IV.1 : Interface de la commande FFMPEG.....	45
Figure IV.2 : Performance Yuv player.....	45
Figure IV.3 : Fenêtres de MATLAB.....	46
Figure IV.4 : Echantillons de séquences vidéo	50
Figure IV.5 : Indices de TI et SI pour les vidéos originales.....	51
Figure IV.6 : Schéma générale de programme.....	52
Figure IV.7 : Schéma d'adaptation pour l'évaluation objective des séquences vidéo.....	53
Figure IV.8 : a) bitrate en fonction de QP et CRF ; b) QP en fonction de CRF.....	54
Figure IV.9 : Courbes récapitulatives pour deux séquences vidéo compressées avec HEVC, AV1 et VVC. Taille de fichier codé = $F(\text{CRF})$	55
Figure IV.10 : Courbes récapitulatives pour toutes les séquences vidéo compressées avec HEVC. $\text{PSNR} = f(\text{CRF})$	56
Figure IV.11 : Courbes récapitulatives pour toutes les séquences vidéo compressées avec AV1. $\text{PSNR} = f(\text{CRF})$	56
Figure IV.12 : Courbes récapitulatives pour toutes les séquences vidéo compressées avec VVC. $\text{PSNR} = f(\text{CRF})$	57
Figure IV.13 : Courbes récapitulatives pour toutes les séquences vidéo compressées avec HEVC, AV1 et VVC. $\text{PSNR} = f(\text{CRF})$	58
Figure IV.14 : Courbes récapitulatives pour toutes les séquences vidéo compressées avec HEVC, AV1 et VVC. $\text{VMAF} = f(\text{CRF})$	59
Figure IV.15 : Valeurs de PSNR en fonction de Bitrate, pour basketball Drill et Traffic, compressées avec HEVC, AV1 et VVC.....	60
Figure IV.16 : Valeurs de VMAF en fonction de Bitrate, pour basketball Drill et Traffic, compressées avec HEVC, AV1 et VVC.....	60

TABLE DES MATIERES

ملخص

Abstract	
Résumé	
Liste des Acronymes	
Liste des tableaux et figures	
Sommaire	
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Compression Vidéo

I.1 Introduction.....	4
I.2 Définition de la compression vidéo.....	4
I.3 Le but de la compression vidéo.....	4
I.4 Les modes de compression.....	5
I.4.1 Les modes de compression sans perte (<i>lossless</i>).....	5
I.4.2 Les modes de compression avec perte.....	5
I.5 Codage vidéo.....	6
I.5.1 Encodeur vidéo.....	7
I.5.2 Decodeur vidéo.....	7
I.6 Partitionnement des blocs.....	8
I.7 La prédiction.....	9
I.8 La transformation et la quantification.....	9
I.9 Le codage entropique.....	10
I.10 Fonctionnalité générale des normes de codage vidéo.....	11
I.11 Format vidéo.....	12
I.12 Les formats populaires de la vidéo numérique.....	12
I.13 Les standards vidéo.....	13
I.13.1 Standard (SD).....	13
I.13.2 Standards (FHD).....	14
I.14 Conclusion	14

Chapitre II : High Efficiency Vidéo Coding

II.1 Introduction.....	16
II.2 HEVC /H265 (High Efficiency Video Coding).....	16
II.3 L'importance du développement.....	17
II.4 Fonctionnement du codec HEVC/H265.....	17
II.5 Les types d'images dans un codeur hybride.....	18
II.5.1 Les images I(Intraframe).....	18
II.5.2 Les images P (P-frames).....	18
II.5.3 Les images B (B-frames ou bi-prédictives)	18
II.6 Les configurations dans HEVC	19
II.6.1 Faible délai (Low Delay).....	19
II.6.2 Accès aléatoire (Random Access)	19
II.6.3 Tout intra (All intra)	19
II.7 Organisation de la norme HEVC.....	19
II.7.1 Profil principal(main)	20
II.7.2 Profil principal images fixes (Main Still Picture)	20
II.7.3 Profil principal 10(main 10)	20
II.7.4 Profils d'extension	20
II.8 Partitionnement de codec HEVC	22
II.9 Transformation en DCT	23
II.10 Quantification.....	24
II.11 Prédiction	24
II.11.1 Intra prédiction	24
II.11.2 Inter prédiction	25
II.12 Codage entropique	25
II.13 Les avantages de la norme HEVC (High Efficiency Video Coding).....	26
II.14 Conclusion	26

Chapitre III : AV1 & VVC/H266

III.1 Introduction.....	28
III.2 AOMedia Video 1(AV1)	28
III.2.1 Définition	28
III.2.2 Historique d'AV1.....	28

III.2.3 L'émergence de L'AV1	29
III.2.4 Fonctionnement du codec AV1.....	29
III.2.5 Partitionnement	30
III.2.6 Prédiction	32
III.2.6.1 Modes de prédiction intra	32
III.2.6.2 Modes de prédiction inter	33
III.2.7 Transformation et Codage.....	33
III.2.7.1 La partition de bloc	33
III.2.7.2 Noyaux de transformation étendu.....	34
III.2.7.3 Le codag entropique d'AV1	34
III.2.8 Le filtrage en anneau de L' AV1	34
III.2.9 Spécifications d'AV1	35
III.3 Versatile Video Coding(VVC)	35
III.3.1 Définition du codec VVC/H266	35
III.3.2 Normalisation et développement du VVC	36
III.3.3 Le fonctionnement de VVC /H266	36
III.3.4 Schéma de partitionnement de blocs dans VVC	37
III.3.5 Prédiction	39
III.3.5.1 Prédiction intra-images amélioré	39
III.3.5.2 Prédiction inter-images améliorée	40
III.3.6 Transformer le codage en H.266/VVC	40
III.3.7 La quantification	40
III.3.8 Filtrage en boucle	41
III.3.9 Codage entropique	41
III.3.10 Caractéristiques de VVC H.266	41
III.3.11 Avantage de H.266.....	42
III.3.12 Les inconvénients du H.266.....	42
III.4 Conclusion	42

Chapitre IV : Simulation et Résultats

IV.1 Introduction	44
IV.2 Les programmes utilisés	44
IV.2.1 Plateforme FFMPEG	44
IV.2.2 Yuv player.....	45

IV.2.3 Matlab	45
IV.3 Métriques d'évaluation	46
IV.3.1 Débit binaire (Bit-rate).....	46
IV.3.2 CRF&QP	47
IV.3.3 PSNR	47
IV.3.4 VMAF.....	48
IV.4 Comparaisons des codecs PSNR,VMAF	48
IV.5 Presentation des vidéo	49
IV.6 Presentation du schéma programme	51
IV.6.1 Qualité et taux des vidéo.....	51
IV.7 Simulation en résultats.....	52
IV.7.1 Valeurs du factor rate constant CRF	53
IV.7.2 La relation entre CRF et QP	53
IV.7.3 Performances du HEVC, AV1et VVC	54
IV.7.3.1 En termes de la taille d'un fichier.....	54
IV.7.3.2 En termes de PSNR	55
IV.7.3.3 En termes de tous séquences vidéo	57
IV.8 Comparaison de PSNR et VMAF en fonction de Bitrate	59
IV.9 Discussion	61
IV.10 Conclusion.....	61
Conclusion générale.....	63
Bibliographie.....	65

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

La vidéo numérique est l'une des choses qui est tenue pour acquise aujourd'hui dans la technologie parce qu'elle est devenue dominante dans divers domaines de l'affichage cinématographique, et même pour la télévision.

De nos jours, de nombreuses personnes veulent compresser des vidéos. Les formats vidéo étant de plus en plus avancés, les détails se sont grandement améliorés, ce qui a alourdi les fichiers. Regarder ces vidéos sur un PC ou une télévision HD est vraiment une expérience incroyable, mais le partage et le stockage de ces fichiers engendrent de nombreux soucis. Ainsi, si vous voulez stocker de nombreux fichiers, les partager sur Facebook, les envoyer par email ou les lire sur un smartphone, la solution consiste à les compresser. Vous pouvez choisir la compression FFMPEG pour réduire la taille de vos fichiers vidéo, comme nous l'avons fait et avec trois critères, nous allons compresser un groupe de vidéos et comparer en termes de meilleure qualité

L'idée de la compression vidéo numérique est d'obtenir une taille de fichier plus petite pour la vidéo, ce qui rend le champ requis pour le streaming de plus en plus petit, sans réduire ses tailles, et avec le moins d'impact sur la qualité de ce qui est affiché.

Avec la croissance de la diffusion vidéo sur Internet sur des sites populaires tels que Netflix et YouTube, et avec les résolutions croissantes utilisées par les caméras, une quantité considérable de stockage et de bande passante est nécessaire. HEVC/H.265 a été introduit pour réduire les besoins en données. Aussi que le contenu ultra-haute définition 4K et 8K devient courant, le standard avancé de compression vidéo, alias codec vidéo, est là pour offrir une meilleure qualité vidéo et des coûts de bande passante plus faibles. Les deux codecs les plus efficaces aujourd'hui sont les normes HEVC (High Efficiency Video Codec) et AOMedia Video 1 (AV1).

Dernièrement, un nouveau standard de codage vidéo appelé Versatile Video Coding (VVC), également connu sous le nom de MPEG-I Part 3 ou H.266, est dévoilé pour améliorer encore l'efficacité de codage d'environ 50% par rapport à H.265 HEVC

Dans notre étude, nous allons étudier des méthodes habituelles de compression de la vidéo numérique et comment il est possible que les grandes vidéos deviennent beaucoup plus petites sans perte majeure de qualité ou de précision. Nous comparerons certaines de ces normes, à savoir HEVC, AV1 et VVC, en faisant des comparaisons en termes de bitrate et de qualité d'encodage, en mesurant PSNR et VMAF.

Nous avons appliqué cette étude à cinq vidéos de classe A et D, avec différentes résolutions. Les vidéos répondent aux principaux critères du profil et sont donc au format YUV, des simulations ont été effectuées sur la configuration la mieux adaptée pour la diffusion vidéo avec différentes valeurs de constante rate factor (CRF).

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre expose une vue générale sur les normes de compression vidéo, nous avons parlé de l'évolution du format de la vidéo numérique de SD au UHD, ainsi les étapes de compression vidéo.

Le deuxième chapitre présente un aperçu sur la norme plus connue et utilisée HEVC (High Efficient Video Coding), et son architecture puis nous avons allé plus profond.

Le troisième chapitre de cette partie de mémoire décrit le fonctionnement de norme AV1 (AOMedia Video 1) et son émergence, ainsi son importance. Et aussi consacré pour la présentation de la norme la plus récente VVC (Versatile Video Coding).

Dans le quatrième chapitre, nous avons étudié la comparaison entre les trois normes précédentes, en termes de taille de fichier et la meilleure qualité, cela se fait en comparant les la compression des vidéos de références avec les paramètres de qualité (PSNR, VMAF), après le codage et décodage de vidéos avec logiciel FFmpeg, ainsi l'extraction de courbes avec MATLAB pour faire la comparaison finale.

Enfin, nous clôturons notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I:

Compression vidéo

I.1 Introduction

La compression vidéo est une méthode de compression de données qui inclut la réduction de leur quantité pour représenter la vidéo tout en minimisant l'impact sur la qualité visuelle de leur séquence vidéo. Le but principal des algorithmes de compression vidéo est de réduire la taille des fichiers vidéo pour le stockage et le transfert sur des réseaux à bande passante limitée. Dans notre travail nous terminons que la notion de compression vidéo nécessite la compréhension de ce vidéo. Nous commençant par les concepts de base de la compression vidéo comme un élément standard de codage vidéo HEVC, AV1, VVC.

I.2 Définition de la compression vidéo

La compression vidéo est le processus d'encodage d'un fichier vidéo de telle manière qu'il consomme moins d'espace que le fichier d'origine et soit plus facile à transmettre sur le réseau Internet [1].

I.3 Le but de la compression vidéo

Depuis la numérisation des signaux vidéo, nous avons toujours voulu optimiser son stockage, surtout sa transmission. À cette fin, la technologie de compression développée sur la base de la découverte visuelle.

Le codage vidéo est le processus de compression et de décompression d'un signal vidéo numérique. Les technologies de compression vidéo sont en train de réduire et de supprimer les données vidéo redondantes afin qu'un fichier vidéo numérique puisse être envoyé efficacement sur un réseau et stocké sur des disques d'ordinateur. Avec des techniques de compression efficaces, une réduction significative de la taille du fichier peut être obtenue avec peu ou pas d'effets néfastes sur la qualité visuelle. La qualité de la vidéo, cependant, peut être affectée si la taille du fichier est encore abaissée en augmentant le niveau de compression pour une technique de compression donnée. Le but de la compression de la vidéo numérique c'est de prendre moins d'espace de stockage et de bande passante de transmission [2].

Tous les principes de compression reposent sur la capacité de certaines transformations du signal à éliminer, détruisez les informations redondantes ou combinez-les efficacement.

I.4 Les modes de compression

I.4.1 Les modes de compression sans perte (*lossless*)

Afin de compresser une vidéo sans faire de compromis sur la qualité, le format sans perte ne supprime aucune donnée originale et vise à conserver la résolution initiale.

C'est particulièrement utile pour simplement transférer un fichier d'un ordinateur à un autre, sans perte de qualité, par le biais d'un disque externe. L'inconvénient est évidemment que le fichier reste relativement large, et on réserve donc cette méthode dans lesquels la taille n'est pas un vrai problème.

I.4.2 Les modes de compression avec pertes (*lossy*)

Il s'agit d'un type de technique de compression qui réduit la taille des fichiers vidéo en éliminant les données redondantes et non fonctionnelles du fichier vidéo d'origine [3].

La compression avec perte est généralement évitable. Ce type de compression permet une élimination sélective des informations. Pour résumer et simplifier, il s'agit d'un problème qui exploite les défauts de l'œil humain, Plus sensible à certains types d'informations qu'à d'autres.

Dans la majorité des cas, les données supprimées ne sont pas indispensables et la différence n'est pas facilement remarquable. De nombreux DVD utilisent un mode de compression avec pertes afin de réduire de 15 à 30 fois la taille des fichiers, mais le public ne voit pas la différence. La majorité des fichiers téléchargés sur Internet utilisent aussi un mode de compression avec pertes [2].

La norme MPEG est bon exemple de compression avec perte ou taux de compression par rapport au stockage d'une séquence vidéo brute donnée, 2% peuvent être atteints. Des normes récentes telles que MPEG-4 AVC permettent même la compression de deux pour la même qualité d'image, l'efficacité est améliorée plusieurs fois.

La figure I.1 et tableau I.1 illustrent la différence entre la qualité d'une image avec les deux concepts de compression à pertes et sans perte.



Figure I.1 Différence de qualité visuelle entre compression avec perte et sans perte [4].

Tableau I.1 Différence entre compression avec perte et sans perte [5].

Base de comparaison	La compression avec perte	Compression sans perte
De base	La compression avec perte est la famille de méthodes de codage de données qui utilise des estimations imprécises pour représenter le contenu.	La compression sans perte est un groupe d'algorithmes de compression de données qui permet de reconstruire avec précision les données d'origine à partir des données compressées.
Algorithme	Transformation en codage, DCT, DWT, compression fractale, RSSMS.	RLW, LZW, codage arithmétique, codage de Huffman, codage Shannon Fano.
Utilisé dans	Images, audio et vidéo.	Texte ou programme, images et son.
Application	JPEG, GUI, MP3, MP4, OGG, H-264, MKV, etc.	RAW, BMP, PNG, WAV, FLAC, ALAC, etc.
Capacité de stockage de données du canal	Plus	Moins comparé à la méthode avec perte

I.5 Codage vidéo

La compression vidéo est effectuée avec un codec vidéo qui fonctionne sur un ou plusieurs algorithmes de compression. La compression vidéo est généralement effectuée en supprimant les images, les sons et/ou les scènes en double de la vidéo. Par exemple, une vidéo peut avoir le même arrière-plan, la même image ou le même son joué plusieurs fois, ou les données affichées/attachées au fichier vidéo ne sont pas si importantes. La compression vidéo supprimera toutes ces données pour réduire la taille du fichier vidéo [1].

L'encodage vidéo fait partie de nombreuses applications multimédias disponibles aujourd'hui. Pour certaines applications, bande de transmission ou capacité de mémoire limitée il existe une demande limitée pour des taux de compression plus élevés. Il faut donc traiter ou/et supprimer les données redondantes, ce qui entraîne transfert ou stockage efficace de fichiers vidéo numériques. En effet, de vraies scènes vidéo continues dans l'espace et dans le temps [4].

Un codec (compression en termes de Coder et Décoder) représente un ensemble être d'un moyen de compression de l'image et du son. Ces technologies seront de bout en bout pour essayer d'éliminer par :

1. Redondance classique (spatiale et temporelle) des séquences d'images.
2. Eliminer les informations que l'œil humain ne peut pas [2].

I.5.1 Encodeur Vidéo

L'encodeur divisera tout d'abord chaque image en plusieurs unités plus petites. Ensuite, il prédit chaque unité par prédiction intra ou inter et supprime la prédiction de l'unité d'origine. Le résidu laissé après cette soustraction est transformé et un codage entropique est effectué pour toutes les informations.

I.5.2 Décodeur Vidéo

Le décodeur inversera les étapes effectuées par l'encodeur. Tout d'abord, il effectue un décodage entropique et extrait divers éléments du flux binaire codé. Il redimensionne et inverse l'étape de transformation avant de prédire les unités et d'ajouter la prédiction à la transformation inversée. Enfin, il reconstruira la vidéo décodée (Figure I.2) [6].

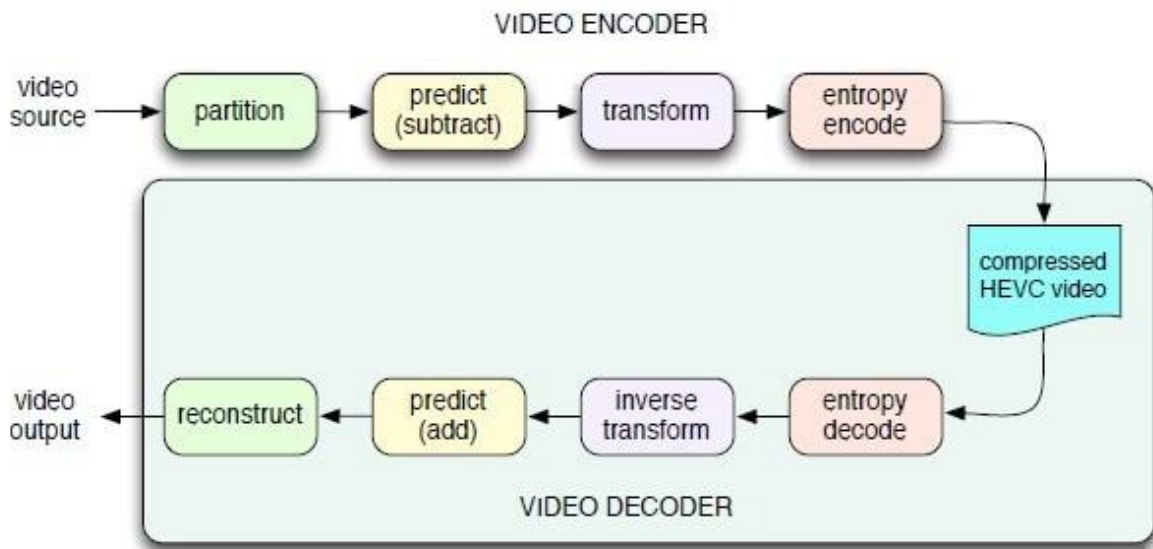


Figure I.2 Schéma vidéo encodeur.

Un codeur vidéo hybride moderne peut être caractérisé par les blocs de construction référencés dans la figure I.3 et décrit dans ce qui suit.

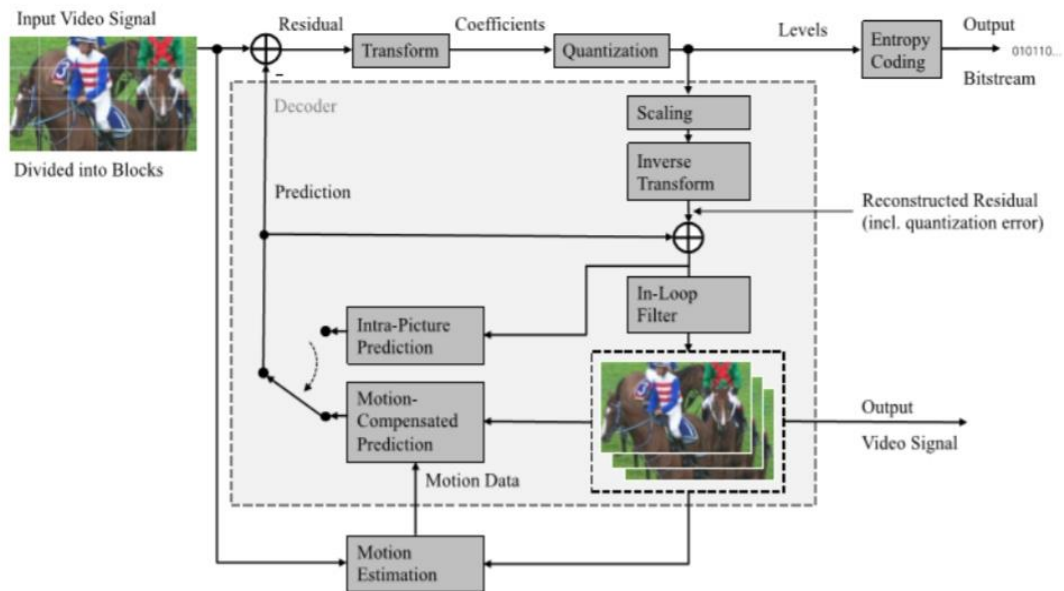


Figure I. 3 Schéma fonctionnel d'un encodeur vidéo hybride, incluant la modélisation du décodeur dans le codeur.

I.6 Partitionnement des blocs

Pour les opérations de prédiction et de transformation, le partitionnement de blocs est appliqué pour diviser l'image en plus petits Blocs. Les premières normes de codage vidéo hybrides utilisaient une taille de bloc fixe, avec prédiction de luminance (luma) zones en utilisant des échantillons 16×16 et des transformations en utilisant 8×8 . Le cloisonnement est devenu un élément clé de la focalisation sur la conception à partir de H.263, et surtout avec AVC. Le partitionnement en blocs s'est développé à travers la génération à devenir plus flexibles en introduisant des tailles et des formes de blocs plus nombreuses et variées pour permettre adaptabilité aux données locales de la région. Dans l'étape de prédiction, cela permet à un encodeur d'échanger entre des Précision de prédiction (en utilisant de petits blocs) pour un faible débit de données pour le côté ou les informations de prédiction ont signalé (à l'aide de gros blocs). En fait, tester diverses combinaisons et décider laquelle sélectionner est l'origine principale de l'encodeur Complexité.

En conséquence, à mesure que le nombre d'options pour diviser une image en blocs augmente, la complexité augmente par rapport aux encodeurs avec une taille fixe ou un ensemble de partitionnement restreint. Normes récentes, sur d'autre part, ont pu donner un degré significatif de flexibilité grâce à des algorithmes de partitionnement rapides et les progrès de la puissance de calcul. AVC, HEVC et VVC utilisent tous des structures de partitionnement arborescentes avec différents niveaux de profondeur et blocs en tant que nœuds feuilles, VVC permettant en outre aux partitions non rectangulaires d'être utilisé [7].

I.7 La prédiction

Toute image est subdivisée en macroblocs. L'encodeur calcule les prédictions pour les macroblocs données actuellement encodées de la même image (prédiction intra) ou à partir d'autres images (prédiction inter). Ensuite, l'encodeur commence à partir de macrobloc courant forme un résidu. L'idée de la prédiction est d'approximer un pixel ou un bloc d'image basé sur les données d'une partie de l'image courante encode la redondance spatiale à partir d'images ou de précédentes.

Le décodage gère les séquences de données redondantes dans le temps d'autres images de cette façon, le décodeur reconstruira les mêmes prédictions que l'encodeur sans avoir besoin de transférer les informations supplémentaires. Les enjeux de la phase prévisionnelle sont importants dans un schéma de compression : les prédictions efficaces seront fortement réduites la quantité d'informations à transmettre.

Certains codeurs pour des applications de haute qualité et à grande vitesse utilisent Prédictions spatiales uniquement. Ce sont des codeurs « internes » dont l'intérêt principal est de limiter la complexité du codage [8].

I.8 La transformation et la quantification

La transformation et la quantification sont directement appliquées après l'étape de prédiction, au bloc résiduel. Le premier objectif de la transformation est de supprimer la corrélation entre pixels. Il est mis en œuvre au moyen d'une transformée fixe appelée transformée en cosinus discrète (DCT). Elle consiste à convertir les échantillons du bloc résiduel dans un domaine fréquentiel, où les différents signaux de fréquence sont séparés. Le résultat est un bloc transformé de la même taille où les fréquences les plus basses sont situées dans les coefficients transformés vers le haut à gauche et les fréquences les plus élevées dans les coefficients transformés en bas à droite.

A noter que pour la plupart des contenus, les informations sont principalement situées sur des coefficients. Cette représentation permet de réduire la redondance restante dans le résidu bloc. Par exemple, un bloc résiduel avec les mêmes valeurs de pixels est une très basse fréquence bloc où toutes les valeurs de pixel sont redondantes. Après transformation, un seul pixel sera non nul : celui en haut à gauche. Puisque l'information est localisée sur moins de coefficients dans le bloc de transformation que dans le bloc résiduel, l'étape de transformation améliore la compression des performances. Les coefficients nuls du bloc de transformation ont un coût binaire très faible.

Le HVS est beaucoup moins sensible aux hautes fréquences que les plus faibles. Grâce à cette propriété, la quantification ne se fait pas uniformément dans domaine de transformation mais avec une plus grande considération pour les coefficients de basse fréquence. Dans ce ainsi, de petites étapes de quantification ne suppriment que les données imperceptibles.

Cependant, selon l'exigence de débit ou la capacité de stockage, les étapes de quantification doivent généralement être plus élevées.

Dans ce cas, une distorsion notable est introduite. Cependant, il reste encore plus efficace que d'effectuer une quantification uniforme du bloc résiduel.

Le pas de quantification est défini par le paramètre de quantification (QP). Cette QP régle le taux/taille du contenu et donc le niveau de distorsion. En effet, pour un petit débit, Le QP doit être plus élevé et les artefacts de distorsion deviennent de plus en plus visibles. Sur le au contraire, de petites valeurs QP limitent la distorsion mais augmentent le taux/taille du contenu.

Notez que seul étage de quantification rend un schéma de compression avec perte, par opposition aux schémas de compression sans perte où la quantification est ignorée et aucune distorsion n'est introduite. En effet, la quantification est la seule étape non réversible depuis le pixel d'origine, les valeurs ne peuvent pas être récupérées après l'avoir appliquée le codage entropique dans les normes de codage vidéo [9].

Toute séquence vidéo contient des redondances spectrales, temporelles, spatiales et statistiques peuvent donc être compressées. Pour les trois premières formes de redondance, elles sont réduites ou supprimées par les transformations du niveau RVB à des niveaux YUV ou YcRcB, par les DCT et par les estimations et compensations de mouvements.

Avec ces traitements, il n'est plus possible de remonter aux informations originales à cause des pertes de données. Quant à la quatrième forme de redondance, il s'agit d'une compression sans pertes qui se manifeste par l'élimination de la redondance statistique à l'aide du codage entropique. Cette opération réversible se situe au niveau du dernier bloc de l'opération d'encodage après que le signal vidéo soit converti en une série d'Eléments Syntaxiques (SE). L'entropie d'une source est définie comme outil de présentation du lien entre l'information et la distribution de probabilité. Le codage entropique utilise les propriétés statistiques pour compresser l'information de façon que le nombre de bits utilisés pour représenter une information soient logarithmiquement proportionnel à la probabilité de l'information [8].

I.9 Le codage entropique

Durant le processus de codage entropique, les coefficients sont représentés par des mots de code à longueurs variables, ce qui veut dire que chacun est représenté par un nombre de bits différents. Le codage entropique réduit le nombre moyen de bits employés pour représenter l'information vidéo compressée par l'utilisation de moyens tels que les codes VLC, où les mots de code les plus long sont associés aux symboles (ici coefficients de la DCT) les moins fréquents. Il existe deux principales techniques utilisées dans le codage entropique, le codage arithmétique et le codage de Huffman [10].

I.10 Fonctionnalité générale des normes de codage vidéo

Les normes de codage vidéo modernes ont été conçues pour transmettre et stocker efficacement la vidéo numérique avec une plage de débit de données, de qualité d'image, de latence, d'accessibilité aléatoire, de complexité et d'autres critères. Il est essentiel pour fournir un support pour les applications suivantes :

- Services de conversation en temps réel, tels que la visiophonie, la visioconférence, le partage d'écran et le cloud gaming (une application récemment poussée au premier plan par la pandémie de (COVID-19). Bas le délai/latence et la complexité modérée sont des exigences importantes pour ces scénarios.

- Diffusion en direct, par exemple, télévision par satellite, câble et canaux de transmission terrestre où l'accent est mis sur la qualité de l'image, le débit binaire du canal constant ou modérément variable, le retard modéré, et des points d'accès aléatoires fréquents pour la syntonisation des canaux et la commutation des canaux.

- Vidéo à la demande, par exemple, streaming vidéo sur protocole Internet (IP). Ici, qu'importe le plus est la qualité de l'image, le débit binaire et l'adaptation aux canaux de transmission.

- Capture, diffusion et stockage par des appareils photo numériques, par exemple, tels qu'utilisés dans les smartphones, les drones, actions, caméras de sécurité et systèmes de caméras professionnels. La technologie de compression vidéo de bout en bout implique un encodeur pour compresser la vidéo à partir de la source en un flux binaire et un décodeur pour décompresser ce flux binaire en vue de sa consommation à destination. Le terme 'codec' fait référence à la combinaison d'un encodeur et d'un décodeur. Toutes les normes de codage vidéo depuis H.261 (1988) sont basées sur le codage vidéo dit hybride schéma présenté à la figure I.3. Le mot 'hybride' fait référence à une combinaison de deux méthodes pour réduire redondance de signaux vidéo, à savoir prédiction et codage par transformation avec quantification de la prédiction résiduel.

Bien que la prédiction et les transformées réduisent la redondance dans le signal vidéo par décorrélation, la quantification sation diminue les données de la représentation des coefficients de transformée en réduisant leur précision. Idéalement, en ne supprimant que les détails imperceptibles, il sert à réduire la non-pertinence des données. Les deux plus récent, HEVC et VVC, utilisent également ce concept de conception de codage vidéo hybride comme les normes précédentes, qui vont de H.120 via AVC et incluent H.261, vidéo MPEG-1, vidéo H.262/MPEG-2, H.263 et MPEG-4 [7].

I.11 Format vidéo

La définition d'une image est donnée par le produit du nombre de pixels de la hauteur par le nombre de pixels de la largeur d'image. La définition spatiale d'une image extraite d'une vidéo HD (haute définition) est de 1920x1080 pixels. De plus, les formats vidéo ont une relation directe avec la définition spatiale de la vidéo. Les formats normalisés correspondent aux tailles des images composant la vidéo les plus utilisées sont présentées sur le tableau suivant :

Tableau I.2 Format des vidéos [11].

Vidéo	Définition
QCIF	176 × 144
CIF	352 × 288
SD	720 × 576
HD	1920 × 1080
4K	3840 × 2160
8K	7680 × 4320

I.12 Les formats populaires de la vidéo numérique

La diversification d'applications numériques qui utilise la vidéo, et la révolution technologique visuelle et réseau permettent l'émergence de plusieurs formats vidéo qui varient selon la résolution, nombre d'image par seconde, et le mode de balayage utilisé lors de l'affichage (tableau I.2). Les applications mobiles utilisent généralement les formats QCIF, SIF, et CIF respectivement. La définition standard (SD pour standard definition) est beaucoup employée pour la transmission d'images numériques issues de la télévision à tube. Les formats de haute définition (ou HD pour high definition) permettent d'afficher les images avec une grande précision. On y trouve le format 720p qui est un format intermédiaire faisant partie intégrante de la HD ; c'est un format de résolution de 1280x720 pixels en mode progressif, et est utilisé pour l'affichage des vidéos pour des applications requérant une bande passante moins importante. Full HD est le format proposé pour tous les téléviseurs actuels avec une résolution de 1920x1080. La décennie actuelle permet l'émergence aussi d'autres formats commercialisés voir figure I.4 comme Quad HD, Ultra HD, 4 K, et 8 K qui vont dominer le marché de la future technologie visuelle.

Tableau I.3 Les différents formats de la vidéo numérique [12].

Format	Résolution	Nombre d'image par seconde (fps)	Mode d'affichage
Quarter CIF (QCIF)	176×144	30	Progressif
Source Input Format (SIF)	352×240 352×288	30 25	Progressif Progressif
Common intermediate format (CIF)	352×288	30	Progressif
ITU Rec. BT.601 (Standard définitions)	720×480 720×576	30 25	Entrelacé Entrelacé
ITU Rec. BT.709 (High definition)	1280×720 1920×1080 0 1920×1080 0	24,25,30,50,60 25,30 24,25,30	Progressif Entrelacé Progressif

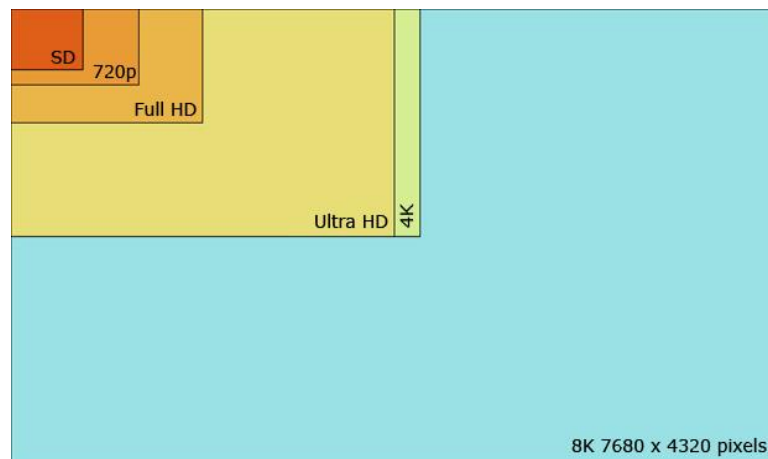


Figure I. 4 L'évolution du format de la vidéo numérique de SD au UHD [13].

I.13 Les standards vidéo

I.13.1 Standard (SD)

Le format « SD » ou « Définition Standard » va regrouper un ensemble de définitions suivant deux formats :

NTSC : 720 × 480, 704 × 480, 352 × 480, 352 × 240 pixels ;

PAL : 720 × 576, 704 × 576, 352 × 576, 352 × 288 pixels.

Cet ensemble de définitions est aussi bien utilisé pour la transmission numérique de la vidéo ou l'enregistrement DV des caméscopes que pour le support DVD. On y a de moins en moins recours pour la captation ou la création, le format HD l'ayant remplacé. En revanche, ce format est encore

largement utilisé sur les plateformes de diffusion vidéo du web. YouTube ou Vimeo, par exemple, afin d'être en mesure d'adapter le flux vidéo à votre connexion, vont générer automatiquement des versions de votre fichier dans différents formats SD au format 16:9, comme le 360p (640 x 360 pxs) ou le 480p (854 x 480 pxs). Ces formats de taille réduite, moins consommateurs en bande passante, pourront garantir la diffusion de votre film en toute circonstance [14].

I.13.2 Standard (FHD)

1080p, également connu sous le nom de Full HD ou FHD (full high definition), est une résolution d'affichage très courante de 1920 x 1080 pixels. La résolution explique le nombre de pixels d'un affichage au format largeur x hauteur, et plus il y a de pixels, plus l'image est nette.

De nombreux moniteurs PC et ordinateurs portables de jeu ainsi que les téléviseurs d'aujourd'hui sont disponibles en résolution 1080p. Et pour les jeux ou une expérience informatique moderne, il s'agit de la résolution la plus basse considérée comme acceptable. Et bien que les jeux à des résolutions plus élevées de 1440p ou 4K offrent des expériences plus réalistes, ils nécessitent tous deux une carte graphique assez puissante, de sorte que les jeux à 1080p sont toujours très populaires parmi les joueurs grand public d'aujourd'hui.

Ne soyez pas dupe lorsque vous entendez le terme "haute définition" ou HD sans "F" ou le mot "Full" devant. L'ancienne résolution HD ordinaire est inférieure (et, par conséquent, moins nette) à 1280 x 720 pixels ou, dans le cas de la plupart des PC, 1366 x 768. Ni la FHD ni la HD ne sont particulièrement nettes par rapport aux normes actuelles, le 1440p et le 4K devenant de plus en plus populaires, mais ils sont considérés comme haute définition car ils sont meilleurs que l'ancienne définition standard (SD), qui est généralement de 640 x 480 [15].

I.14 Conclusion

En raison de l'importance de la compression vidéo, ce chapitre donne un aperçu général de la compression vidéo. Nous avons mentionné ces types et son objectif, en faisant référence aux normes de compression vidéo et leur fonctionnement. Dans les chapitres suivants, nous aborderons certaines des cas normes.

CHAPITRE II:

H.265/HEVC

(High Efficiency Video coding)

II.1 Introduction

Le codage vidéo et le streaming vidéo peuvent être utilisés dans divers domaines d'application, tels que la surveillance, sécurité, le suivi de l'environnement, le sauvetage en cas de catastrophe, l'urgence systèmes d'intervention, de télémédecine et multimédia dans l'électronique grand public [16]

Dans la transmission vidéo sans fil, le codage vidéo et la communication de données codées sont de puissantes tâches exigeantes qu'ils sont effectuées par des appareils mobiles avec un budget énergétique limité. L'encodage vidéo a un double effet sur la consommation d'énergie du système de communication vidéo. Tout d'abord, le débit binaire de sortie de l'encodeur vidéo pourrait être diminué de manière significative avec un encodage vidéo efficace, qui diminue par conséquent la quantité d'énergie consommée dans les données. Deuxièmement, un encodage vidéo efficace nécessite plus de complexité de calcul et consomme une grande quantité d'énergie.

La performance d'un système de communication vidéo est évaluée par la qualité de la vidéo transmise. Par conséquent, dans la communication vidéo sans fil par exemple avec une alimentation en énergie limitée, l'objectif principal du système de communication est d'obtenir la meilleure qualité possible. La configuration du codage de l'encodeur vidéo affecte de manière significative la qualité vidéo, la complexité de calcul et le débit binaire de sortie. Intuitivement, la configuration de codage détermine la qualité vidéo et la puissance consommée lors de l'encodage et la transmission de données. Par conséquent, l'objectif premier du système de communication vidéo peut être interprété comme la découverte de la configuration de codage optimale de l'encodeur vidéo qui fournit la meilleure qualité vidéo compte tenu de l'énergie disponible budget [17]

La demande croissante de la vidéo Haute Définition et Ultra Haute Définition, associée à un désir croissant de vidéo streaming, a entraîné une augmentation exponentielle de la demande en bande passante et en stockage. Ces défis peuvent être relevés par les nouvelles normes tel que HEVC, également appelée H.265. [18]

II.2 HEVC / H265 (High Efficiency Video Coding)

High Efficiency Video Coding /HEVC est une norme de codage vidéo établie par l'équipe Jointe Collaborative Team on Vidéo Coding (JCT-VC). Ce groupe est formé par deux organisations internationales spécifiées pour le codage vidéo, ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) et ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG). Les recherches ont débuté en 2004 et durent près de 10 ans. Au début, le projet s'appelait NGVC (Next Generation Video Coding).

Selon l'exigence initiale du NGVC, la nouvelle norme de codage devrait réaliser des économies substantielles par rapport au débit requis par l'AVC sans réduire la qualité visuelle comme compromis. En juillet 2009, les résultats des tests ont prouvé le débit binaire de NGVC a diminué de 20 % par rapport à H.264/AVC. Ce résultat professionnel a motivé les travaux d'élaboration de la nouvelle norme. Le projet HEVC a été officiellement lancé en janvier 2010 à la suite d'études menées à la fois par MPEG et VCEG pour évaluer simultanément l'état de la préparation et la disponibilité de la technologie avec une analyse des besoins de l'industrie pour une nouvelle norme [19].

Après la première rencontre, le résultat de l'évaluation a indiqué que certains cas de test pourraient maintenir presque la même qualité visuelle et pourrait réduire le débit binaire à 50 % par rapport à H.264/AVC.

Le premier projet de H.265/HEVC a été publié en février 2012 et la version finale est sortie en janvier 2013. Elle offre de meilleures performances que les normes précédemment utilisées. La vidéo source est compressée à l'aide d'un encodeur HEVC. Il crée et stocke un flux binaire compressé qui peut être décodé en une séquence d'images à l'aide d'un décodeur vidéo. HEVC est similaire aux précédents H264/AVC et MPEG-2, mais s'est considérablement amélioré.

Une vidéo est compatible si elle répond aux exigences du format compressé et si elle peut être décodée facilement. Vous pouvez stocker des vidéos HEVC sous forme de fichiers, les transmettre par broadcast ou les diffuser sur internet.

II.3 L'importance du développement

HEVC à de nombreuses nouvelles fonctionnalités et improvisations par rapport aux normes précédentes :

- Vous aurez plus de flexibilité et une taille de partition petite et plus grande.
- Vous obtiendrez de meilleurs filtres pour le déblocage et l'interpolation.
- Il peut prendre en charge le traitement parallèle et offre de meilleurs vecteurs de signalisation, de prédiction et de mouvement.
- Grâce à lui, vous pourrez mieux compresser les vidéos, mais vous aurez besoin de plus puissance dans votre processeur [20].

II.4 Fonctionnement du codec HEVC/H265

HEVC/H.265 possède une architecture de codage hybride basée sur les blocs [21], utilisant la redondance spatio-temporelle et la conversion du signal vidéo. Quelle que soit la résolution de la vidéo, il garantit un gain de compression très important, notamment en vidéo Ultras HD, plus performante.

La figure II.1 montre le schéma fonctionnel de la norme HEVC.

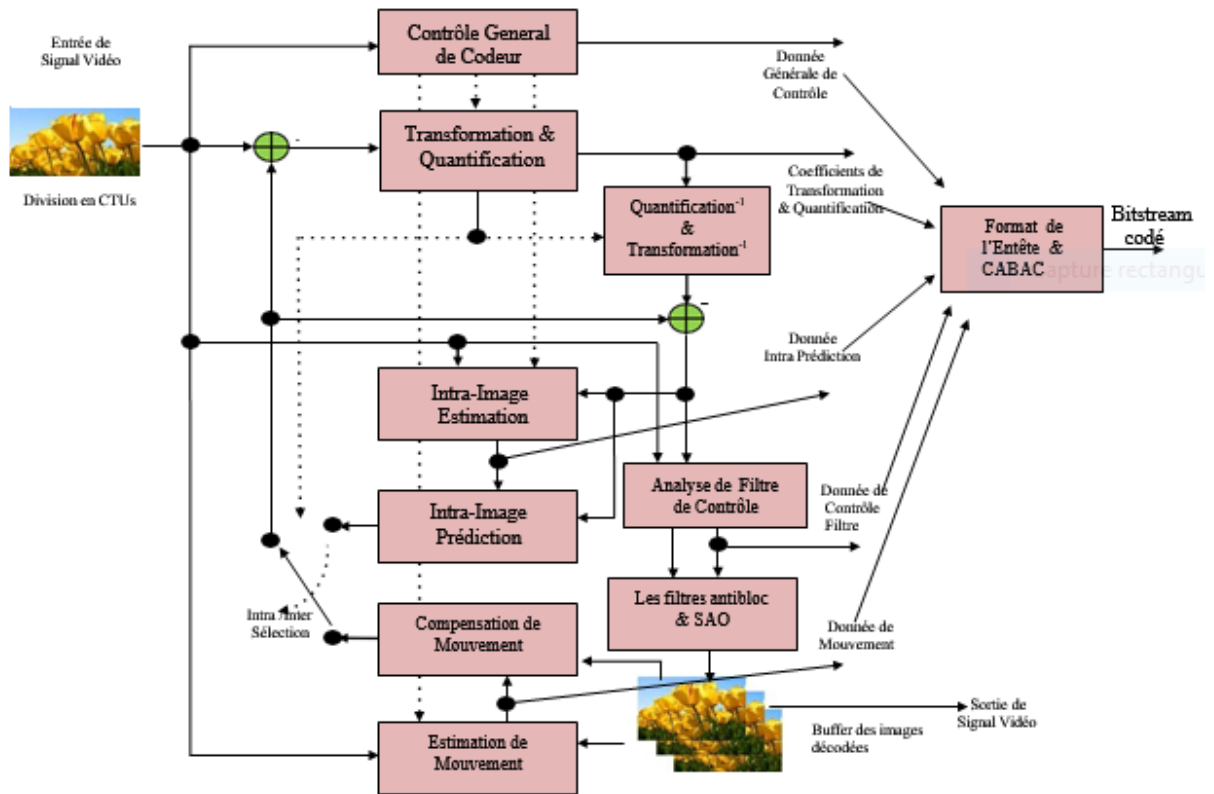


Figure II.1 Schéma bloc du codec vidéo HEVC/H.265 [22]

II.5 Les types d'images dans un codeur hybride

On utilise 3 types d'images dans un codeur hybride : les images I, les images P, les images B :

II.5.1. Les images I (Intra-frames) sont des images de référence, elles ne dépendent d'aucune autre image dans le codage. Elles ne peuvent donc utiliser que des prédictions dans le voisinage spatial causal, en l'occurrence, la prédiction Intra.

II.5.2. Les images P (P-frames) sont des images inter-prédites qui naissent des images précédentes de référence pour être reconstituées à partir de vecteurs de mouvement et de résidus. Elles peuvent être elles-mêmes des images de références pour d'autres prédictions.

II.5.3. Les images B (B-frames ou bi-prédicatives) sont aussi des images inter-prédites mais elles peuvent utiliser à la fois les images précédentes et suivantes comme références.[23]

Afin de représenter une séquence vidéo dans un bitstream, des structures de codage, appelées Group Of Pictures (GOP), définissent l'ordre de codage des images relativement à l'ordre d'affichage, et les dépendances temporelles entre les images. Le délai maximum de décodage de chaque image en dépend.

II.6 Les Configurations dans HEVC

Principalement, trois configurations sont définies pour la spécification de la norme HEVC [24] :

II.6.1 Faible délai (Low Delay)

Cette configuration est basée sur le nombre d'images de référence. La première image est codée en tant qu'image intra (I) et les images suivantes sont codées en tant qu'images prédictives (P) ou bidirectionnelles (B). Cette configuration permet d'obtenir une efficacité de codage élevée et une faible latence au détriment d'une grande complexité.

II.6.2 Accès aléatoire (Random Access)

Cette configuration atteint une efficacité de codage élevée grâce à la structure bi-prédictive hiérarchique. Sinon, du fait des images réordonnées, le résultat codé est obtenu avec un retard cet important.

II.6.3 Tout intra (All intra)

Ce dernier est basé sur un encodage intra-prédit toutes les images utilisées uniquement des prédictions spatiales. Il dispose d'un encodage à latence extrêmement faible avec une complexité réduite. Une configuration intra-trame complète est utilisée pour assurer un encodage à faible latence avec une complexité minimale à des débits élevés.

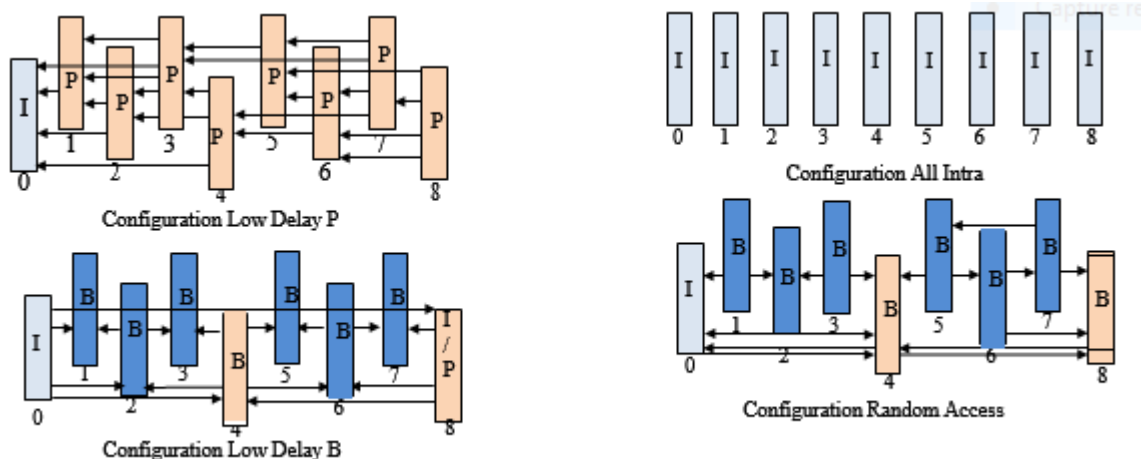


Figure II.2 Les trois configurations de la norme HEVC/H.265.

II.7 Organisation de la norme HEVC

Dans la norme H265/HEVC, seule la partie décodage est normalisée, et le choix des paramètres d'encodage est déterminé par chaque développeur. En fait, certains outils d'encodage, comme les méthodes de prédiction, sont en concurrence au niveau de l'encodeur. Il appartient

ensuite à l'utilisateur de choisir celui qui lui convient le mieux en fonction de ses propres critères de sélection et d'application. Ainsi, selon l'utilisation souhaitée, il existe différentes manières d'envisager le traitement au sein du codeur. A cette fin, la norme HEVC est organisée en niveaux et en profils.

Les profils utilisés dans la norme de compression vidéo HEVC sont :

II.7.1 Profil principal (main)

Utilisé pour les applications typiques communes à la plupart des consommateurs. Dans ce profil, les données vidéo sont représentées sur 8 bits par échantillon avec sous-échantillonnage de la chrominance 4 :2 :0.

II.7.2 Profil principal images fixes (Main Still Picture)

Permet le codage d'une seule image fixe en utilisant les mêmes contraintes que le profil Main. De plus, il est employé pour les caméras de photographie, ou pour l'extraction des photos à partir des séquences vidéo. Ce profil est un cas particulier de profil principal.

II.7.3 Profil principal 10 (main 10)

Profil principal 10 est capable de supporter une profondeur de couleur de 8 bits à 10 bits par échantillon avec un format 4 :2 :0. Ce profil offre une profondeur de bits accrue pour une plage dynamique de luminosité accrue, un contenu étendu de gammes de couleurs ou simplement des représentations de couleurs plus fidèles pour éviter les artefacts de contour. Ce profil est aussi un cas particulier du profil principal [25].

II.7.4 Profils d'extension

En novembre 2013, la version 2 de la norme HEVC a été développée avec seize profils supplémentaires (Tableau I.3). Ensuite, deux profils d'extensions évolutifs (scalable) et un profil pour multi-vue (multi-view) ont été ajoutés. De plus, le profil principal 3D (3D main profil) a été ajouté dans la version 3 de la norme en février 2015. [26]

Tandis que les profils définissent les fonctionnalités de syntaxe et de codage utilisées par le contenu vidéo, une autre considération importante est le niveau d'un ensemble de fonctionnalités donné.

Ces niveaux sont définis pour établir la résolution de l'image, la fréquence d'image, le débit binaire, la capacité de mise en mémoire-tampon (buffer) et d'autres aspects qui relèvent du degré plutôt que de l'ensemble des fonctions de base.

1. Niveau 1 : Il est caractérisé par la faible résolution et le faible débit, un format vidéo typique pour ce niveau ne peut avoir qu'une résolution de 176×144 à 15 images par seconde.

2. Niveau 2 et Niveau 2.1: Ces deux niveaux sont capables de supporter les résolutions 352×288 et 640×360 à une vitesse 30 images par seconde respectivement.
3. Niveau 3 et Niveau 3.1: Ces deux niveaux sont capables de supporter les résolutions de 960×540 à une vitesse 30 images par seconde et de 1280×720 à une vitesse 33.7 images par seconde respectivement.
4. Niveau 4.1 : Il est capable de supporter les images HDTV 1080×720 à une vitesse de 60 images par seconde.
5. Niveau 5 : Il est capable de supporter les images UHD 1920×1080 à une vitesse de 32 images par secondes. Le flux atteindra les 37,5 Mbit/s en 12 bits pour le Main 12.
6. Niveau 5.1 & 5.2 : le niveau 5.1 est capable de supporter les images UHD 1920×1080 à une vitesse de 64 Fps. Le flux atteindra les 60 Mbit/s en 12 Bits pour le Main 12 et deux fois cette valeur pour un Main 4 :4 :4 12. Cependant que le niveau 5.2 support les mêmes paramètres avec une vitesse de 120 Fps.
7. Niveau 6.1 & 6.2 : Permet une résolution vidéo de 8192×4320 à 120 images par seconde.

Tableau. II.1 Les paramètres employés pour chaque profil de la norme HEVC [27]

Paramètres	Profils version 1		Profils Version 2						
	Main 8	Main 10	Main 12	Main 4:2:2 10	Main 4:2:2 12	Main 4:4:4	Main 4:4:4 10	Main 4:4:4 12	Main 4:4:4 16 intra
Profondeur (depth)	8	8 à 10	8 à 12	8 à 10	8 à 12	8	8 à 10	8 à 12	8 à 16
Formats	4 :2 :0	4 :2 :0	4 :2 :0	4 :2 :0/ 4 :2 :2	4 :2 :0/ 4 :2 :2/ 4 :4 :4	4 :2 :0/ 4 :2 :2/ 4 :4 :4	4 :2 :0/ 4 :2 :2/ 4 :4 :4	4 :2 :0/ 4 :2 :2/ 4 :4 :4	4 :2 :0/ 4 :2 :2/ 4 :4 :4
Monochrome 4 :0 :0	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Prédiction haute précision	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Transforme skip bloc >4x4	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Transforme skip contexte/ rotation	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Extension de la Précision de Traitement	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui

II.8 Partitionnement de codec HEVC

Le HEVC adopte une nouvelle méthode de partitionnement pour les images vidéo qui repose sur une représentation en arbre quaternaire (quadtree) [22] (Figure II.3). Ce partitionnement est basé sur la plus grande unité de codage CTU (Coding Tree Unit) de taille 64×64 pixels au lieu de 16×16 pixels dans le H.264. Trois unités de bases sont définies pour la compression de chaque image, la CU, la PU et la TU.

- La CU (Coding Unit) unité de codage, elle définit les blocs de codage de la séquence vidéo et peut avoir des tailles de 8×8 , 16×16 , 32×32 et 64×64 pixels.
- La PU (Prediction Unit) unité de prédiction, la taille de cette unité est définie selon le type de la prédiction (intra, inter). L'intra adopte seulement les tailles symétriques par contre l'inter prédiction peut supporter les tailles symétriques et asymétriques.
- La TU (Transform Unit) unité de transformation, elle définit la taille pour la transformée et la quantification appliquée à une unité de prédiction. Elle permet des tailles allant de 4×4 à 32×32 .

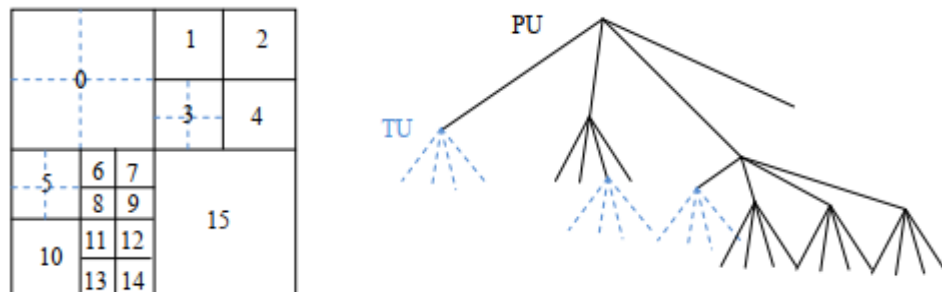


Figure II.3 Exemple de représentation en arbre quaternaire d'une CTU de 64×64 .

La Figure I.4 illustre le processus de partitionnement d'une séquence vidéo adopté par le standard HEVC. Chaque image de la séquence est divisée en slices, qui contient un nombre entier de CTUs. Chaque CTU est partitionnée en CUs et également chaque CU est divisée en PUs et TUs. La CTU est composée d'un CTB (coding tree block) de luminance et deux CTBs de chrominance. La taille carrée du CTB est entre 16×16 à 64×64 , et à son tour il est partitionné en CBs (coding block) bloc de codage avec une taille carrée variant entre 8×8 et 64×64 .

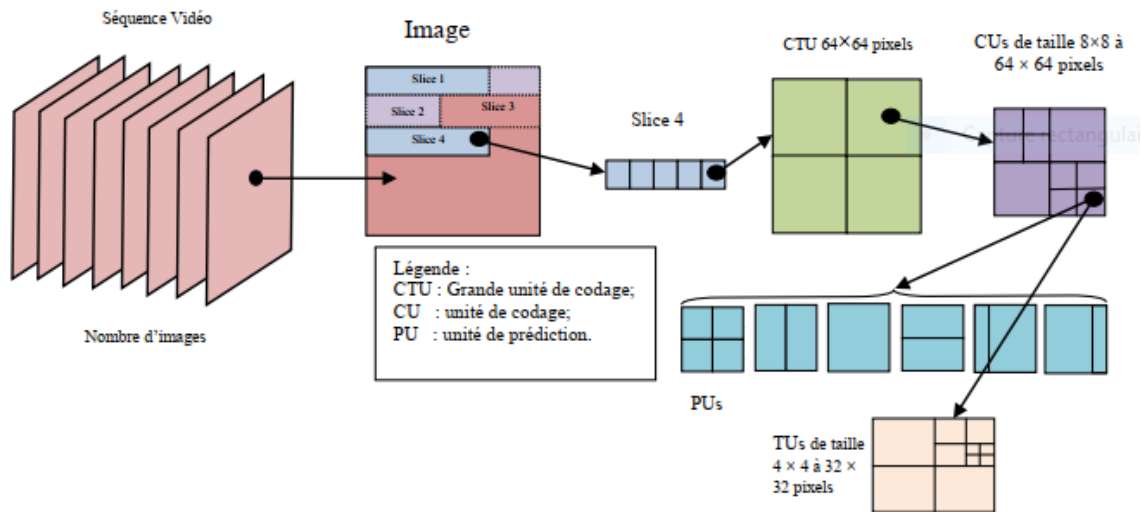


Figure II.4 Le partitionnement dans la norme HEVC.

II.9 Transformation en DCT

La transformée en cosinus discrète DCT, est une transformation mathématique qui permet le passage d'un ensemble de données d'un domaine spatial vers un domaine fréquentiel et inversement. De plus, elle est la plus utilisée [28] et la plus adoptée par toutes les normes courantes de codage vidéo, H.264 et H.265 à la fois pour sa simplicité algorithmique et ses performances. Cette opération permet de rassembler l'énergie du signal sur un faible nombre de coefficients. De plus, elle est calculée par une matrice carrée et son résultat sera représenté par une matrice de même taille.

Dans la norme HEVC, avant d'appliquer la transformation sur une image, il faut la partitionner en blocs de taille réduite (4×4 , 8×8 , 16×16 et 32×32 pixels) pour simplifier le calcul. Alors, chaque bloc subit une transformation orthogonale inversible linéaire du domaine spatial vers le domaine fréquentiel indépendamment des autres blocs [29] ce qui permet de lancer le traitement de plusieurs blocs en parallèle [22].

Après la transformation, la matrice résultante obtenue, contenant deux types de composantes : la composante continue DC (composante directe) et les composantes alternatives AC (composante alternative). Où le DC est placé sur la position (0,0). Il représente une moyenne de la grandeur de la matrice d'entrée et le reste des coefficients sont les AC. Pour la DCT, l'information significative est concentrée en haut à gauche de la matrice de sortie, autrement l'information moins significative est placée en bas à droite de cette matrice, voir la Figure II.5.

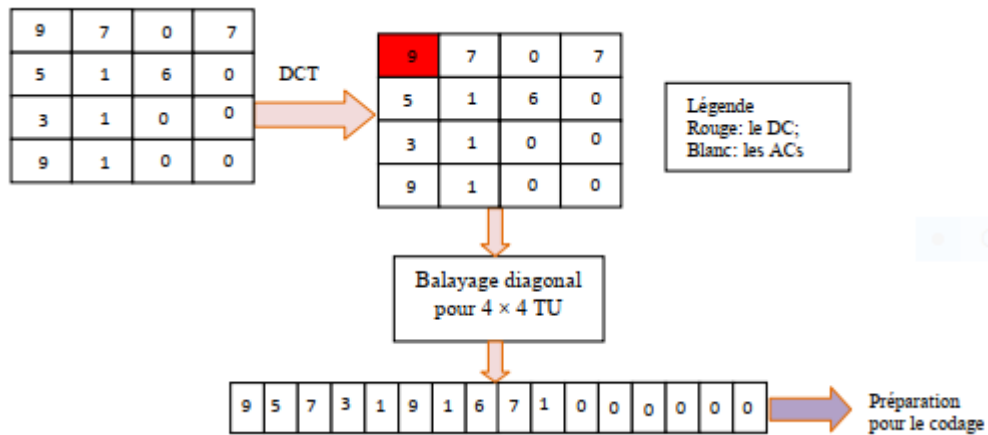


Figure II.5 Les coefficients DC et AC pour la TCD.

Dans le codeur HEVC, la transformée est suivie de la quantification des coefficients transformés.

II.10 Quantification

Le but principal de la quantification est de réduire la dynamique des données d'une image, après l'étape de la transformation en supprimant les valeurs ou bien les coefficients insignifiants des hautes fréquences puisque l'œil humain est plus sensible aux erreurs de reconstruction liées aux basses fréquences qu'à celles liées aux hautes fréquences.

Pour la quantification, HEVC utilise essentiellement la même procédure de quantification, contrôlée par un paramètre de quantification (QP) comme dans H.264/AVC. [22]

La gamme des valeurs QP est définie entre 0 - 51, et une augmentation de 6 fois de la taille de pas de quantification. De plus, le QP a une influence directe sur la qualité visuelle et le taux de compression des images ou de vidéo [30].

En HEVC les matrices de quantification sont aussi supportées, HEVC utilise 20 matrices de quantification qui dépendent de la taille et du type de bloc de transformation [31].

II.11 Prédiction

Deux types de prédiction sont adoptées par le codec H.265 [32], l'intra prédiction et l'inter prédiction. La prédiction intra est utilisée pour supprimer et éliminer la redondance spatiale entre les blocs de la même image, tandis que la prédiction inter est utilisée pour éliminer la redondance temporelle entre des images consécutives.

II.11.1 Intra prédiction

Le codage des images I est basé uniquement sur la prédiction Intra. Cependant, la prédiction Intra peut être utilisée au sein des images Inter. Elle utilise les échantillons du bloc de prédiction ou -Prediction Block- (PB) courant. Les échantillons causaux s'étendent sur deux fois la largeur et la

hauteur du PU à prédire [33]. La différence entre le bloc courant et le bloc prédit sera codée, ce qui favorisera la réduction de l'information. Elle utilise seulement les blocs symétriques dont les tailles suivantes : 64×64 , 32×32 , 16×16 , 8×8 et 4×4 .

L'intra utilise 35 modes de prédiction, classée en trois catégories :

- La prédiction angulaire qui est basée sur 33 modes (2, 3, ..., 34) ;
- La prédiction planar qui contient un seul mode (0) ;
- La prédiction DC qui contient aussi un seul mode (1) [27].

II.11.2 Inter prédiction

La prédiction Inter utilise les images déjà reconstruites comme références pour réaliser la prédiction compensée en mouvement. La prédiction idéale serait celle qui correspond au « mouvement réel » de l'objet vidéo considéré au cours du temps. La méthode du flot optique permet de répondre au problème en calculant le champ de déplacement visuel au cours du temps. Hors, calculer l'erreur de prédiction et la distorsion pour chaque déplacement dans l'image n'est pas envisageable en termes de complexité. En codage vidéo, l'approche utilisée est celle du block matching, qui consiste à trouver le vecteur de mouvement $MV = [\Delta x, \Delta y]$ minimisant l'erreur de prédiction RL, MV entre le PU courant $S(x, y)$ et le bloc prédicteur PL, MV pointé par ce vecteur de mouvement dans l'image de référence. Cette recherche est réalisée dans une fenêtre de recherche limitée à L (typiquement $L = 64$ dans un codage de référence HEVC) autour du bloc co-localisé $Col(x, y)$ dans l'image de référence. Ainsi, l'important n'est pas de trouver le MV décrivant le « mouvement réel », mais celui étant la meilleure représentation au sens débit-distorsion.

L'inter prédiction supporte différentes tailles de blocs symétriques et asymétriques où M est égal à 64 [34].

II.12 Codage entropique

HEVC a un mode de codage entropique unique basé sur l'arithmétique-binaire adaptative au contexte (Context-adaptive binary arithmetic coding) (CABAC). Étant donné que les caractéristiques statistiques des éléments syntaxiques varient beaucoup, le moteur CABAC a défini plusieurs modèles de contexte de probabilité et deux options. Modes de fonctionnement, mode régulier et mode bypass, pour les coder plus efficacement. Le mode régulier a une étape de modélisation de contexte, dans laquelle un modèle de contexte de probabilité est choisi. Ensuite, le moteur de codage utilise le modèle de contexte sélectionné pour coder le binaire Symbole (bin) de l'élément de syntaxe et mise à jour du contexte après le codage de chaque bin. Le mode bypass a un modèle équiprobable simple. L'application du mode bypass peut augmenter le débit et la vitesse de codage de CABAC car il ne nécessite pas dérivation et adaptation du contexte [35].

II.13 Les avantages de la norme HEVC (High Efficiency Video Coding)

HEVC compte beaucoup dans le monde d'aujourd'hui, et vous obtiendrez de nombreux avantages en utilisant cette norme.

- ❖ Vous économiserez près de la moitié de l'argent et du débit binaire si vous choisissez de diffuser des vidéos HEVC au lieu d'un encodeur AVC. Vous pouvez exécuter la même qualité de média avec près de la moitié données.
- ❖ A de nombreux endroits, où la connexion WiFi est très lente, en utilisant HEVC, vous pouvez diffuser des vidéos HD en utilisant moins de données. Si vous aviez l'habitude d'exécuter du contenu 480p à 1,5 Mb/s, vous pouvez exécuter du contenu 720p au même débit en utilisant HEVC.
- ❖ Le format de fichier donne beaucoup plus d'efficacité à la compression vidéo, et c'est remarquable pour l'avenir [36].

II.14 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué le codage vidéo HEVC, qui à son tour améliore la résolution de la vidéo et réduit sa taille. Nous avons également abordé son importance tout en indiquant comment ce codage fonctionne, malgré les privilèges passionnants de ce codage et son travail sur les vidéos HD, les pionniers de la technologie se sont arrêtés avec lui et donc une nouvelle génération intéressante a émergé qui a trouvé satisfaisant dans le domaine de la compression vidéo et c'est ce que nous allons aborder dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III:

AV1

VVC/H.266

III. 1 Introduction

La plupart des appareils modernes prennent désormais en charge le codage/décodage multimédia accéléré par le matériel, permettant une compression plus efficace et une vidéo de meilleure qualité. Le prochain saut de qualité viendra du successeur AV1 et VVC/H.266.

Le codec vidéo de nouvelle génération Versatile Vidéo Coding VVC est émergé dans le monde entier comme un nouveau programme de compression qui prend des nouvelles techniques significatives par rapport à ses prédécesseurs. Dans ce chapitre en va donner quelque explication pour le AV1 et VVC, commençant par une petite définition du normes AV1 et VVC suivis par une comparaison entre VVC et HEVC. Ensuite en à signaler le développement, le fonctionnement, les avantages et les défis du AV1 et VVC/H.266.

III.2 AOMedia Video 1 (AV1)

III.2.1 Définition d'AV1

AV1 est présenté comme le nouveau format vidéo pour le Web visant à remplacer le format MPEG, bien connu et qui a déjà fait ses preuves. Le codec AV1 est un savant mélange des codecs VP10 de Google, Daala de Mozilla et Thor de Cisco, les trois entreprises ont ainsi mis au point un codec vidéo haute performance et gratuit. [37]

III.2.2 Historique d'AV1

Le problème de ces droits de licence élevés ne date pas d'hier. Depuis six ans, presque tous les acteurs majeurs travaillent sur leurs propres projets visant à développer des alternatives viables à ces codecs vidéo brevetés : Google a publié VP9, Mozilla a dévoilé son projet Daala et Cisco a présenté Thor, un codec tout particulièrement adapté aux visioconférences à faible complexité. Tous Partageaient un même objectif : créer un codec vidéo nouvelle génération pour rendre le partage de vidéos en ligne plus rapide, plus facile, et surtout plus économique.

En 2015, tous ont décidé d'unir leurs forces sous la bannière d'AOMedia et il n'a pas fallu longtemps pour que d'autres champions du streaming et de l'équipement informatique comme Amazon, Netflix, Intel, AMD ou encore NVIDIA les rejoignent.

Le codec AV1 est le produit de cette alliance. Il s'appuie notamment sur le Codec VP9 de Google, mais exploite également les outils et les technologies des Codecs Daala, Thor et VP10. Depuis 2018, Google Chrome et Mozilla Firefox, deux des navigateurs les plus utilisés au monde, prennent en charge AV1. [38]

III.2.3 L'émergence de l'AV1

En temps normale, le codec AV1 est là pour permettre une transmission vidéo fluide de haute qualité, une large compatibilité avec divers matériels et logiciels, une économie de bande passante et surtout une économie de budget. Ce format vidéo est vraiment puissant et sensible, raison pour laquelle tant de grandes entreprises technologiques s'y intéressent et sont prêtes à consacrer du temps à son développement. [39]

III.2.4 Fonctionnement du codec AV1

AV1 est un codec multimédia. Il s'agit donc d'un programme capable d'encoder et de décoder des fichiers vidéo, photo et audio numériques. L'encodage permet aux utilisateurs de compresser leurs fichiers et de les éditer, de les stocker et de les partager en toute efficacité. Ensuite, ils peuvent ouvrir ou lire leur contenu grâce au décodage, en passant généralement par une application ou un lecteur multimédia. Pour qu'une telle interaction soit possible, les processus d'encodage et de décodage doivent s'appuyer sur un même format, ici AV1.

Pourtant, ce n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît : les interactions entre les différents types de médias, d'applications et d'équipements matériels sont très complexes, raison pour laquelle les codecs doivent à leur tour être hautement spécialisés.

Aujourd'hui, les utilisateurs font appel à un nombre incalculable de codecs : certains sont open source et gratuits, alors que d'autres sont sous licence et donc payants. [40]

Semblable à d'autres logiciels de codage vidéo, AV1 est également divisé en une série de modules continus, y compris le partitionnement, la prédiction, la transformation, le codage entropique, le filtrage en anneau, etc. Son prédécesseur, VP9, prend en charge des blocs allant jusqu'à 64×64 et peut être divisé en quatre sous-blocs par bloc de manière récursive. AV1 prend en charge une partition de bloc maximale de 128×128 . Il existe 10 types de partition de bloc récursive, avec la plus petite partition de bloc de 4×4 . [41]

L'architecture générale pour AV1 est illustrée en la Figure III.1. De l'architecture point de vue, il ressemble à l'approche HEVC. Les implémentations doivent équilibrer les possibilités logicielles et matérielles. Ouvrir l'analyse comparative est possible, principalement pour les données 1080p et 4k. [42]

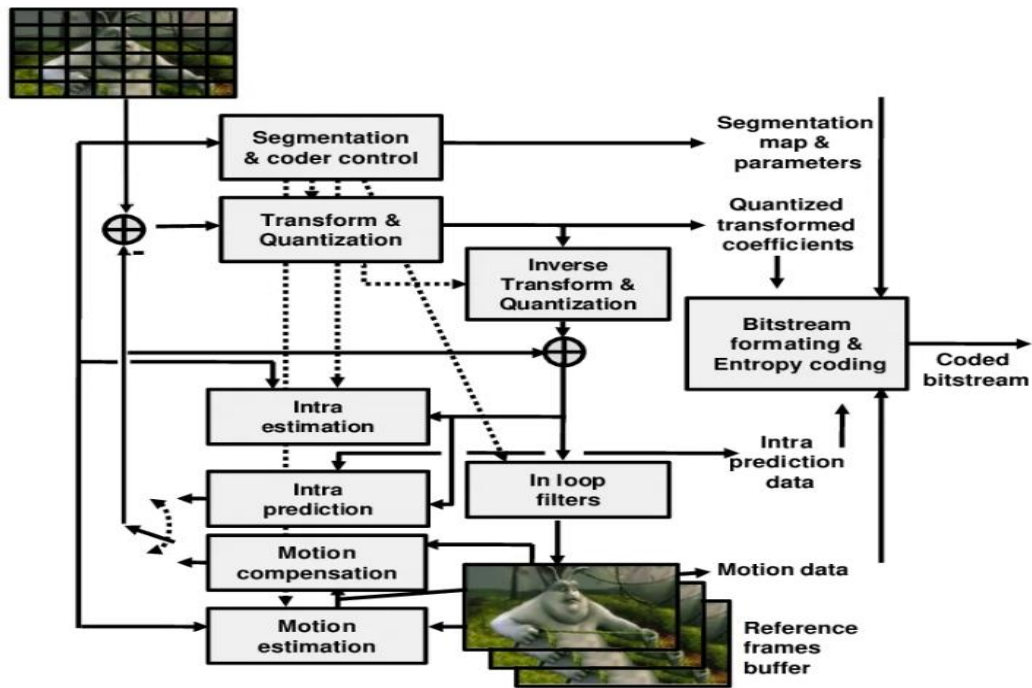


Figure III. 2.1 L'architecture générale pour AV1 est illustrée.

III.2.5 Partitionnement

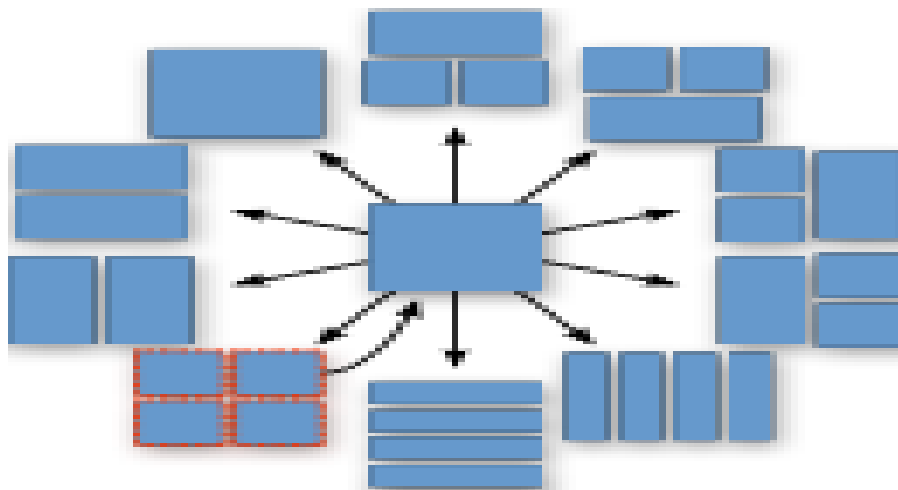


Figure III. 2.2 Sous-partitionnement des unités de codage.

10 façons de sous-partitionner les unités de codage en carrés (récursivement), rectangles ou mélanges de ceux-ci « en forme de T ». Le contenu de la trame est séparé en blocs adjacents de même taille appelés super blocs. Semblable au concept de macro bloc, les super blocs sont de forme carrée et peuvent être de taille 128×128 ou 64×64 pixels. Les super blocs peuvent être divisés en blocs plus petits selon différents modèles de partitionnement. Le modèle divisé en quatre est le seul modèle dont les partitions peuvent être subdivisées de manière récursive. Cela permet aux super blocs d'être divisés en partitions aussi petites que 4×4 pixels.



Figure III. 3. 3 Schéma du partitionnement du super bloc AV1.

Il montre comment les super blocs 128×128 peuvent être divisés en blocs 4×4 . En tant que cas particuliers, les blocs 128×128 et 8×8 ne peuvent pas utiliser les divisions 1: 4 et 4: 1, et les blocs 8×8 ne peuvent pas utiliser les divisions en forme de «T». [43]

Super blocks signifient que dans certaines parties de l'image, il peut y avoir une grande région qui peut être prédite en même temps (par exemple, une image d'arrière-plan fixe), tandis que dans d'autres parties, il peut y avoir des détails fins qui changent (par exemple, dans une tête parlante) et une taille de bloc plus petite serait appropriée. AV1 offre la possibilité de faire varier la taille de bloc pour gérer une gamme de tailles de prédiction.

Le décodeur décode chaque image en unités de super blocs de 64×64 pixels. Chaque super bloc à une partition qui spécifie comment il doit être encodé. Il peut consister en :

- Un seul bloc de 64 par 64
- Deux blocs de 64 par 32
- Deux blocs de 32 par 64
- Quarter blocs de 32 par 32

Les parties individuelles sont décodées dans l'ordre raster. Chaque bloc de 32 par 32 peut également être partitionné de la même manière jusqu'à ce que nous atteignons une taille de bloc de 4×4 . Un exemple de partitionnement d'un super bloc 64×64 est illustré ci-dessous :

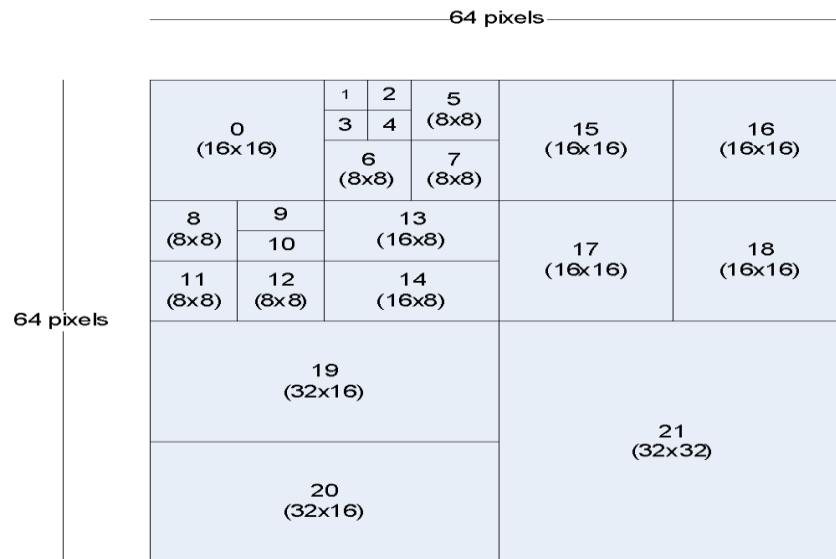


Figure III. 2.4 Super bloc 64 x 64 partitionné.

Les nombres donnent l'ordre de décodage des blocs, tandis que les nombres entre parenthèses donnent les tailles de bloc (les tailles pour les blocs inférieurs à 8x8 sont omises). [44]

III.2.6 prédiction

III.2.6.1 Modes de prédiction intra

En plus des 8 modes directionnels principaux de VP9, jusqu'à 56 directions supplémentaires sont ajoutées, mais toutes ne sont pas disponibles dans des tailles plus petites. Voici quelques-uns des modes de prédiction introduits dans AV1 :

- a) **Les modes H + V** lisses vous permettent d'interpoler en douceur entre les valeurs de la colonne de gauche et la dernière valeur de la ligne ci-dessus.
- b) **Le mode Palette** est introduit dans le codeur intra en tant qu'outil de codage supplémentaire général. Cela sera particulièrement utile pour les vidéos artificielles comme la capture d'écran et les jeux, où les blocs peuvent être approximés par un petit nombre de couleurs uniques. Le prédicteur de palette pour chaque plan d'un bloc est représenté par une palette de couleurs, de 2 à 8 couleurs indices de couleur pour tous les pixels du bloc
- c) **Chroma from Luma (C f L)** est un prédicteur intra chroma uniquement qui modélise les pixels chroma comme une fonction linéaire des pixels luma reconstruits coïncidents. Tout d'abord, les pixels luma reconstruits sont sous-échantillonnés dans la résolution de chrominance, puis la composante DC est supprimée pour former la contribution AC. Afin d'approximer la composante AC de chrominance à partir de la contribution AC, au lieu d'exiger que le décodeur implique des paramètres de mise à l'échelle, (C f L) détermine les

paramètres sur la base des pixels de chrominance d'origine et les signale dans le flux binaire. En conséquence, cela réduit la complexité du décodeur et donne des prédictions plus précises. Quant à la prédiction DC, elle est calculée en utilisant le mode intra DC, qui est suffisant pour la plupart des contenus chroma et a des implémentations rapides matures. [45]

III.2.6.2 Modes de prédiction inter

La prédiction inter dans AV1 à accès Jusqu'à six images de référence dont une ou deux peuvent être choisie par bloc. Les vecteurs de mouvement peuvent être prédits à 8×8 niveau de bloc par Dynamics Reference Motion Vector Prédiction. Similaire à JEM (Joint Exploration Model), AV1 spécifie un Overlapped Block Motion Compensation (OBMC) pour affiner la prédiction au bloc frontière en utilisant des prédicteurs voisins. AV1 prend en charge plusieurs modèles de compensation de mouvement global : un zoom de rotation modèle à quatre paramètres, un modèle affine à six paramètres, et un modèle de perspective avec huit paramètres.

Pour les hautes résolutions spatiales, une technique appelée la restauration guidée est appliquée. Avec cette technique, le signal est réduit et codé à une résolution inférieure. Au décodeur, le signal est converti à sa résolution spatiale d'origine. Pour réduire la distorsion résultant de la réduction d'échelle, les filtres de Wiener pour la mise à l'échelle sont dérivés au niveau de l'encodeur et transmis au décodeur [46].

III.2.7 Transformation et codage

III.2.7.1 la partition de bloc

Au lieu d'appliquer des tailles d'unité de transformation fixes comme dans VP9, l'AV1 permet de partitionner les blocs de codage l'UMA inter en unités de transformation de plusieurs tailles qui peuvent être représentées par une partition récursive descendant jusqu'à deux niveaux. AV1 étend de transformer la taille du bloc à 64×64 . La taille minimale du bloc de transformation reste 4×4 . De plus, les tailles de blocs de transformation rectangulaires à $N \times N/2$, $N/2 \times N$, $N \times N/4$ et $N/4 \times N$ sont pris en charge pour compléter les tailles de blocs du codage rectangulaires dans la section VIRGINIE.

Une approche récursive de partition de bloc de transformation est adoptée en AV1 pour tous les blocs codés inter pour capturer ; localisé régions stationnaires pour l'efficacité du codage par transformée. La première taille du bloc de transformation correspond à la taille du bloc de codage, à moins que la taille du bloc de codage est supérieure à 64×64 , auquel cas le 64×64 la taille du bloc de transformation est utilisée. Pour la composante Luma, jusqu'à à 2 niveaux de partitionnement de blocs de transformation sont autorisés. Le règle de partition récursives pour

$N \times N$, $N \times N/2$ et $N \times N/4$ les blocs de codage. Le bloc codé intra hérite du bloc de transformation uniforme

Les composants de chrominance ont tendance à avoir beaucoup moins de variations dans leurs statistiques. Par conséquent, le bloc de transformation est configuré pour utiliser la plus grande taille disponible [47]

III.2.7.2 Noyaux de transformation étendu

Un ensemble plus riche de noyaux de transformation est défini pour les blocs intra et inter dans AV1. L'ensemble complet du noyau 2-D est généré à partir de combinaisons horizontales/verticales de quatre types de transformation 1-D, donnant 16 options de noyau au total.

Les types de transformation 1-D sont DCT et ADST, qui ont été utilisés dans VP9, flip ADST, qui applique ADST dans l'ordre inverse, et la transformation d'identité, qui ignore le codage de transformation afin de préserver les arêtes vives. En pratique, plusieurs de ces noyaux donnent des résultats similaires à de grandes tailles de bloc, permettant la réduction progressive des types de noyaux possibles à mesure que la taille de la transformée augmente.

III.2.7.3 Le codage entropique d'AV1

Le codage entropique dans AV1 est basé sur la combinaison d'un codeur de plage arithmétique multi-symboles avec codage adaptatif des symboles. Ainsi, un alpha-symbole est encodé avec des probabilités allant jusqu'à 15 bits et un alphabet Jusqu'à 16 symboles. Avec ce codeur entropique, plusieurs symboles binaires sont combinés en symboles non binaires. Il est déclaré que l'efficacité est augmentée par rapport à un codeur binaire d'entropie en particulier pour les débits binaires inférieurs en raison d'une réduction surcharge de signalisations. [46]

III.2.8 Le filtrage en anneau de l'AV1

Pour l'étape de filtrage en boucle, il s'agit d'un filtre de remplacement conditionnel dirigé par le bord qui lisse les blocs avec une force configurable (signalée) à peu près le long de la direction du bord dominant pour éliminer les artefacts de sonnerie.

Il existe également le filtre de restauration de boucle (loop restoration) basé sur le filtre de Wiener et les filtres de restauration autoguidés pour supprimer les artefacts de flou dus au traitement des blocs.

III.2.9 Spécifications d'AV1

Le codec AV1 peut actuellement prendre en charge jusqu'à 8K à 120 frame par seconde. Cependant, cela pourrait augmenter à l'avenir à mesure que davantage de niveaux sont définis. En lui-même, le codec AV1 a trois profils (principal, élevé et professionnel) pour les décodeurs.

Le profil principal prend en charge l'échantillonnage de chrominance 4:0:0 (niveaux de gris) et 4:2:0 (quart) en profondeur de 8 ou 10 bits. Le profil haut prend en charge l'échantillonnage de chrominance 4:0:0, 4:2:0 et 4:4:4 avec une profondeur de 8 ou 10 bits. Alors que le profil professionnel prend en charge les profondeurs de 8 bits, 10 bits et 12 bits, et ajoute un sous-échantillonnage de chrominance 4:2:2 (la moitié) et 4:4:4.

Tableau III. 2.1 Comparaison des fonctionnalités entre les profils AV1. [48]

		Principal (0)	Élevé (1)	Professionnel (2)
Peu profond		8 ou 10 bits	8 ou 10 bits	8, 10 et 12 bits
Sous-échantillonnage de la chrominance	4:0 :0	Oui	Oui	Oui
	4: 2 :0	Oui	Oui	Oui
	4: 2 :2	Non	Non	Oui
	4: 4 :4	Non	Oui	Oui

D'autre part, il y a un total de 14 niveaux définis jusqu'à présent dans la spécification AV1 (entre 2.0 et 6.3). Ces niveaux spécifient le MaxPicSize, MaxHSize, MaxVSize, le taux de décodage, l'en-tête, le débit binaire et plus pour les décodeurs dictant indirectement les résolutions qui peuvent être décodées avec le codec AV1.

Ainsi, par exemple, le niveau 2.0 prend en charge des résolutions telles que 426×240 à 30 FPS. En montant, le niveau 4.0 prend en charge 1920×1080 (résolution Full HD) à 30FPS, le niveau 5.1 prend en charge 3840×2160 à 60FPS, tandis que le niveau 6.2 prend en charge 7680×4320 (8K) à 120FPS. [49]

III.3 Versatile Video Coding (VVC)

III.3.1 Définition du codec VVC/H.266

H.266/VVC ou MPEG, ou simplement VVC (pour Versatile Video Coding), est un codec vidéo publié le 6 juillet 2020 par le Joint Video Experts Team (JVET). Il a été développé par l'Institut Fraunhofer pour les télécommunications en partenariat avec des industriels. Il est annoncé comme offrant un taux de compression deux fois supérieur au H.265/HEVC pour une qualité identique. VVC est adapté aux vidéos en HDR et aux vidéos filmées à 360° degrés [50]. Il convertit donc un fichier de film volumineux, comme un film d'une heure 1080p 24 Go en

moyenne à 25 FPS en un fichier de taille plus petite pour le stockage et la diffusion en continu avec moins de bande passante.

Le H.266 apporte une grande efficacité dans la compression vidéo UHD. La grande réduction nous aidera beaucoup à regarder ou à diffuser des vidéos 4k, 8k, HDR ou des vidéos à 360 ° sur les futurs téléviseurs et autres appareils.

Fraunhofer Heinrich-Hertz affirme que « Grâce au bond en avant dans l'efficacité du codage offert par le H.266/VVC, l'utilisation de la vidéo va encore augmenter dans le monde entier. En outre, la polyvalence accrue du H.266/VVC rend son utilisation plus attrayante pour un plus large éventail d'applications liées à la transmission et au stockage de la vidéo » [51]. Cela signifie que cette norme le H.266 sera la plus utilisable dans le monde entier grâce à son efficacité de la transmission et la moindre du stockage.

III.3.2 Normalisation et développement du VVC

Le développement de VVC peut être divisé en deux phases, qui sont résumés dans ce qui suit :

- **La phase d'exploration (2015/2017) :** Cette phase a débuté en 2015, principalement se concentrer sur l'efficacité accrue du codage sans tenir en compte des aspects pratiques contraintes de complexité. La phase d'exploration a fourni la preuve qu'une technologie avec une capacité de compression suffisante au-delà de HEVC existait, justifiant le démarrage de la phase de normalisation officielle. Fin 2017, le JVET avait développé la base de code du logiciel du modèle d'exploration conjointe JEM [52] qui démontré jusqu'à 30% de réduction du débit binaire par rapport au HEVC.
- **La phase de normalisation (2018-2020) :** L'appel à propositions de 32 organisations pour le codage de trois catégories de contenus vidéo : plage dynamique standard /SDR/, HDR et vidéo 360° [53].

III.3.3 Le fonctionnement de VVC/H.266

La norme de compression H.266 est la norme qui offre une meilleure compression par rapport au son prédécesseur (HEVC/H.265). Il fonctionne selon les outils suivants :

- Taille maximale de l'unité d'arbre de codage (CTU) étendue à 128×128 échantillons au lieu des 64×64 échantillons de HEVC
- Partitionnement CTU plus flexible avec des divisions quaternaires suivies de divisions ternaires et binaires.
- 100 modes de prédiction intra, presque trois fois plus de modes que HEVC (35 modes)

- 12 modes d'inter prédiction de plus que HEVC, y compris la représentation de mouvement non transrionnelle telle que la rotation et la mise à l'échelle
- Taille maximale de la transformation DCT étendue à 64×64 échantillons (y compris les transformations non carrées) au lieu des 32×32 échantillons de HEVC, permettant un compactage plus énergétique pour le résidu de grandes zones lisses
- Filtrage en boucle amélioré en quatre étapes : cartographie luma avec mise à l'échelle de la chrominance, filtre de déblocage, décalage adaptatif d'échantillon (SAO) et filtre de boucle adaptatif (ALF)
- Codage arithmétique binaire adaptatif avancé basé sur le contexte (CABAC) avec estimation de probabilité multi-hypothèses. [54]

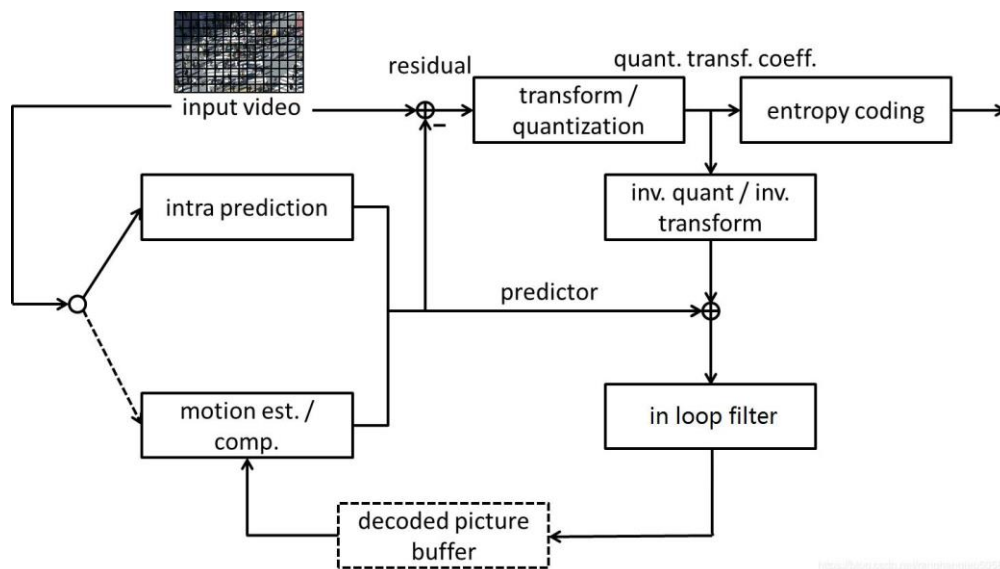


Figure III.II. 5 Schéma synoptique de VVC. [55]

III.3.4 Schéma de partitionnement de blocs dans VVC

La première étape du schéma de partitionnement de blocs divise le cadre en grands blocs de taille égale, appelées Coding Tree Unit (CTU), comme le montre la Figure III.6. La largeur CTU est notée W_{ctu} , la taille maximale de la CTU est de 128×128 pixels en VVC contrairement à la norme HEVC où la taille maximale activée pour une CTU est de 64×64 .

Les CTUs sont traitées dans l'ordre de balayage raster du haut à gauche vers le bas à droite, comme indiqué par les flèches de la figure III.6. Afin d'adapter la taille des blocs de prédiction à l'activité locale des pixels, chaque CTU est ensuite divisé récursivement en plus petites CUs rectangulaires, suivant un schéma de partition Multi-Type Tree (MTT). Le schéma de partitionnement MTT est une extension du schéma de Tree (QT) adopté dans HEVC.

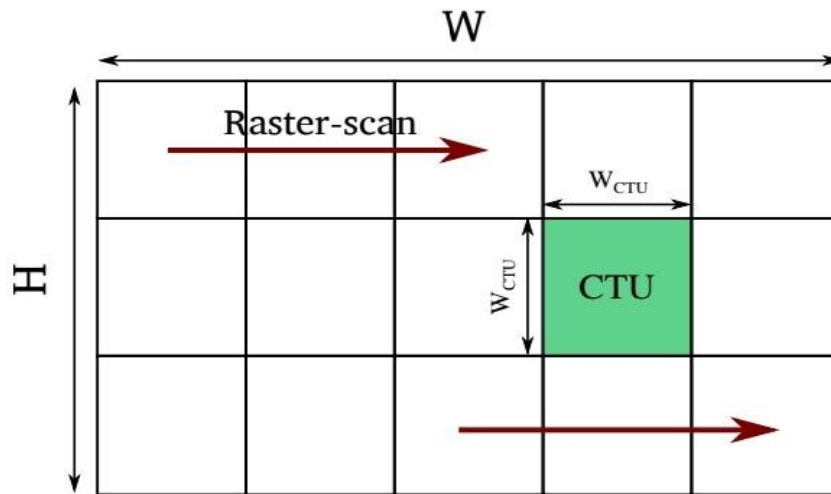


Figure III.3.6 Schéma fonctionnel du codeur.

Le modèle de partitionnement récursif autorisé par le partitionnement QT dans HEVC est illustré à la Figure III.7 : le CU est soit non partitionné ($4N \times 4N$), soit divisé en 4 carrés égaux ($2N \times 2N$). Une partition QT typique d'une CTU dans HEVC est illustrée à la Figure 4.a.

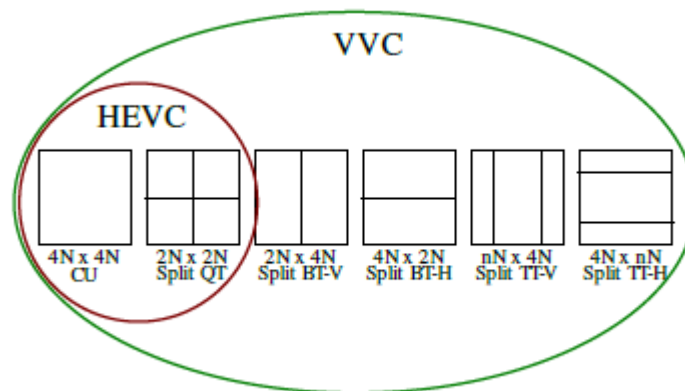
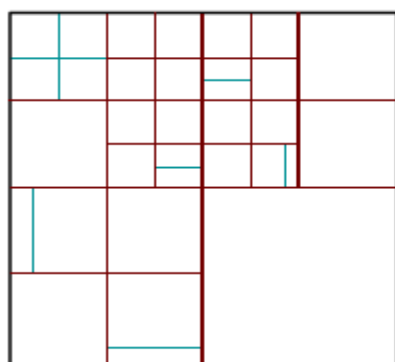
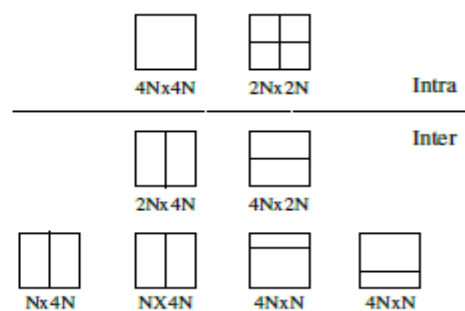


Figure III.3.7 Modes de partition disponibles en HEVC et en VVC pour une CU carrée $4N \times 4N$.



(a) Partition QT d'une CTU en HEVC



(b) Modes PU autorisés dans HEVC

Figure III.3. 8 Schéma de partitionnement des blocs.

Le schéma de partitionnement de blocs dans HEVC présente les limitations suivantes :

- Les CUs ne peuvent être que carrées, il n'y a pas de forme flexible pour couvrir toutes les caractéristiques du bloc.
- Les composantes de luminance et de chrominance de la séquence codée ont le même niveau QT ceci est rarement optimal pour la chrominance.
- Les résidus ne peuvent être divisés qu'en TUs carrées, ce qui réduit l'impact potentiel de transformation

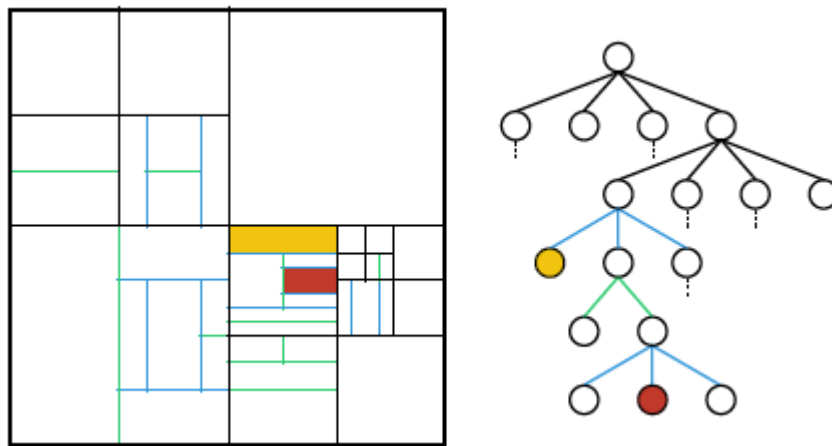


Figure III.3. 9 Schéma de partitionnement MTT d'une CTU dans VVC, avec une partie de son arbre correspondant.

Pour surmonter ces limitations, VVC intègre des partitions MTT récursives imbriquées, à savoir les modes de partition arbre binaire (BT) et arbre ternaire (TT), à l'exception de la partition QT en mode partition récursif. [56]

III.3.5 Prédiction

III.3.5.1 Prédiction intra-image améliorée

La compression vidéo repose sur la prédiction du mouvement entre les images. Lorsqu'il n'y a aucun changement dans un pixel, un codec vidéo peut économiser de l'espace en le référençant plutôt qu'en le reproduisant. Une prédiction de mouvement améliorée signifie une taille de fichier et une qualité de compression améliorées. Nous trouvons également des améliorations majeures dans la prédiction et la compensation de mouvement. Alors que H.265 avait 35 modes de prédiction intra, H.266 en a un impressionnant 67. [57]

L'intra-prédiction génère un bloc prédit à partir des pixels voisins reconstruits du bloc courant. VVC peut fournir 67 modes d'intra-prédiction, où les modes 0 et 1 sont respectivement en

mode planaire et en mode continu, et les autres sont en mode de prédiction angulaire pour représenter la direction des bords.[58] Selon, le modèle de test VVC (VTM) atteint des performances de compression 25 % supérieures à celles du modèle de test HEVC (HM) [59] dans la configuration tout-intra (AI) recommandée par JVET Common Test Conditions (CTC); la complexité de calcul du codeur a considérablement augmenté d'environ 26 fois. [60]

III.3.5.2 Prédiction inter-images améliorée

H.266 apporte de nouveaux outils impressionnants pour améliorer la prédiction inter-image, ce qui permet des taux de compression plus élevés en déterminant essentiellement à quoi ressemblera la prochaine image en fonction de sa précédente.

H.266 s'améliore par rapport à H.265 en prenant en charge une résolution MV aussi granulaire que 1/16 luma-échantillons par rapport au 1/4 offert dans H.265. C'est très bien, mais il s'agit essentiellement d'affiner le processus de compression. [57]

III.3.6 Transformer le codage en H.266/VVC

Pour le CU de codage vidéo, chaque unité doit être transformée par une série de matrices orthogonales discrètes. La fonction clé de H.266/VVC doit prendre en charge jusqu'à 128×128 taille maximale de CU. Ceci est particulièrement utile pour le contenu vidéo HD et UHD.

De plus, il existe deux variantes de Discrete Cosine Transform (DCT) et Discrete Sine Transform (DST) qui sont ajoutées à permettre à l'encodeur de sélectionner le meilleur codage de transformation. Le paramètre de quantification (QP) a également augmenté de 51 en H.265/HEVC à 63 en H.266/VVC. Une nouvelle méthode de quantification scalaire dépendante est introduite. Pendant ce temps, H.266/VVC introduit une variété d'options de conversion : il permet à l'encodeur de choisir la meilleure transformée pour chaque résidu. [59]

III.3.7 La quantification

Le paramètre de quantification (QP) est le paramètre de codage gérant la taille du pas de quantification. Ses valeurs vont de 0 à 63 dans la norme VVC, lorsque la valeur maximale dans HEVC a été fixée à 51. Le pas de quantification moyen augmente d'environ 12% pour une augmentation de QP de 1, induisant plus de perte d'information dans les coefficients transformés. Donc un QP plus élevé conduit à un débit binaire plus faible, généralement au prix d'une distorsion plus élevée. [56]

III.3.8 Filtrage en boucle

Le filtre en boucle adaptatif (ALF) est une nouvelle fonctionnalité pour VVC ; les autres filtres, DBF et SAO, montrent un haut degré de similitude avec ceux de HEVC. VVC a adopté DBF, SAO et ALF pour gérer les artefacts visibles tels que le scintillement, le changement de couleur, le blocage, le flou et la sonnerie dans les échantillons reconstruits. Dans VVC, SAO et ALF deux filtres en forme de losange est appliqués : l'un de 7×7 formes de losange avec treize coefficients différents aux blocs de luminance et l'autre de 5×5 formes de losange avec sept coefficients différents aux blocs de chrominance. [60]

III.3.9 Codage entropique

Le CABAC, introduit pour la première fois dans la norme AVC, et utilisé dans VVC. Le CABAC compacte tous les éléments de syntaxe obtenus après le processus de codage, tels qu'informations intra et inter, coefficients quantifiés ou paramètres de filtrage en boucle. Il est fonctionné sans perte et n'introduit donc pas de distorsion supplémentaire dans la reconstruction cadres.

Dans HEVC, les coefficients de transformation d'un bloc de codage sont codés en utilisant des groupes de coefficients contenant chacun les coefficients d'un sous-bloc 4×4 d'une CU.

Dans VVC, différents groupes de coefficients sont autorisés : 1×16 , 2×8 , 8×2 , 2×4 , 4×2 et 16×1 . De plus, le cœur du moteur CABAC comprend des changements importants dans VVC par rapport à la conception en HEVC. Le moteur CABAC dans HEVC utilise une table processus de transition de probabilité entre 64 états de probabilité représentatifs différents. Dans VVC, une décision de décodage utilise un modèle à 2 états avec une fenêtre de mise à jour à probabilité avec tailles variable. [56]

III.3.10 Caractéristiques de VCC H.266

- **Réduction de taille fichiers en deux** : ils promettent que la même vidéo encodée en H.265 et H.266 n'occupe que 50% de la taille en une seconde.
- **Soutien plusieurs résolutions** : H.265 n'autorisait aucun type de résolution, dans H.266, il existe un support pour HD, 4K et 8K.
- **Soutien HDR 10 bits.**
- **Plus de polyvalence** : Vous permettra de mettre à l'échelle ou de modifier la résolution de manière adaptative. [61]

III.3.11 Avantage de H.266

Selon l'institut Fraunhofer Heinrich-Hertz : « Avec la norme précédente, la H.265/HEVC, il fallait environ de 10 Go de données pour transmettre une vidéo de 90 minutes en ultra-haute définition. Avec le codec H.266/VVC, il ne faudra plus que 5Go » [62], C'est à dire que H.266 devrait réduire les fichiers vidéo jusqu'à 50% par rapport à H.265. Par exemple, une vidéo de 10 Go encodée avec H.265 n'aurait besoin que de la moitié avec H.266 pour obtenir la même qualité.

L'objectif principal de toute nouvelle norme de compression vidéo est de réduire la bande passante d'une vidéo tout en préservant au maximum la fidélité. [63]

III.3.12 Les inconvénients du H.266

H.266 est plus difficile et prendra beaucoup plus de temps à coder et à décoder, et sera très probablement un défi pour la post-production. De nouvelles puces requises pour prendre en charge H.266 au niveau matériel sont toujours en cours de conception. A l'heure actuelle, nous adoptons encore longuement le 4K, sans parler du 8K. Nous ne verrons donc probablement pas bientôt l'utilisation généralisé du codec H.266 dans une variété d'appareils et plates-formes. [64]

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présentées la norme vidéo AV1, un codec vidéo intéressant qui surpasse ses prédécesseurs, nous illustrons donc sa nécessité en référence à ce codec en action. Malgré son succès, un autre codec a fait son apparition, son concurrent le plus sérieux.

Dans ce chapitre aussi, nous avons présentées la norme de codage vidéo récemment publiée, la norme de codage vidéo polyvalente (VVC), en faisant référence au fonctionnement de cette norme en termes de qualité, nous avons également mentionné un aperçu de ses lacunes et l'avons comparé à la génération précédente.

CHAPITRE IV:

Simulation et résultats

IV.1 Introduction

Ce chapitre présente une étude comparant les performances d'efficacité de codage de trois codecs vidéo : (a) High Efficiency Video Coding (HEVC); (b) codec AOM (AV1 for Open Media) ; et (c) le Versatile Video Codage (VVC). Trois approches de codage ont été utilisées : CRF avec des valeurs différentes $CRF = (14, 19, 24, 28, 33, 40)$ dans HEVC qui implique un paramètre de quantification (QP).

Un codage de qualité constante est effectué avec les trois codecs pour une comparaison des principaux outils de codage. Alors que le codage du débit binaire cible est effectué avec le codec AV1 pour étudier l'efficacité de compression obtenue avec le débit contrôlé, ce qui peut avoir et a effectivement un impact significatif, et VVC avec un QP différentes

Les performances sont tabulées sur des métriques objectives basées sur le PSNR et VMAF.

IV.2 Les programmes utilisés

IV.2.1 Plateforme FFMPEG

FFMPEG est un programme multiplateforme complet offrant une solution pour enregistrer, convertir et diffuser de l'audio et de la vidéo. Il inclut libavcodec - la principale bibliothèque de codecs audio/vidéo. C'est le framework multimédia leader [65], capable de compresser, extraire des images et des vidéos [66], décoder, encoder, transcoder, multiplexer, démultiplexer, diffuser, filtrer et lire à peu près tout ce que les humains et les machines ont créé. Il prend en charge les formats anciens les plus obscurs jusqu'à la pointe de la technologie. Il est également hautement portable : FFmpeg compile, exécute et transmet notre infrastructure de test FATE sur Linux, Mac OS X, Microsoft Windows, les BSD, Solaris, etc. sous une grande variété d'environnements de construction, d'architectures de machines et de configurations.

Il contient libavcodec, libavutil, libavformat, libavfilter, libavdevice, libswscale et libswresample qui peuvent être utilisés par les applications. Ainsi que ffmpeg, ffmpegserver, ffmpegplay et ffmpegprobe qui peuvent être utilisés par les utilisateurs finaux pour le transcodage, le streaming et la lecture. [65]

```

Invite de commandes
24/05/2022 11:13 <DIR> .
24/05/2022 11:13 <DIR> ..
24/05/2022 11:09 <DIR> bin
07/03/2022 12:32          35 147 LICENSE
07/03/2022 12:32          38 208 README.txt
          2 fichier(s)          73 355 octets
          3 Rép(s)          8 310 632 448 octets libres

C:\ffmpeg>cd bin

C:\ffmpeg\bin>dir
Le volume dans le lecteur C n'a pas de nom.
Le numéro de série du volume est 12FD-45DC

Répertoire de C:\ffmpeg\bin
24/05/2022 11:09 <DIR> .
24/05/2022 11:09 <DIR> ..
02/07/2007 14:49          777 600 000 1 CrowdRun_1080p25.yuv
26/11/2021 01:38          300 119 040 BasketballDrill_832x480_50.yuv
22/09/2020 18:42           49 300 commande.docx
19/05/2022 14:10 <DIR> crowdrun
07/03/2022 12:32          121 132 032 ffmpeg.exe
07/03/2022 12:32          121 000 448 ffplay.exe
07/03/2022 12:32          121 036 288 ffprobe.exe
03/06/2022 14:18 <DIR> traffic
          6 fichier(s)          1 440 937 108 octets
          4 Rép(s)          8 310 620 160 octets libres

C:\ffmpeg\bin>ffmpeg

```

Figure IV.1. Interface de la commande FFMPEG.

IV.2.2 Yuv player

YUV Player est un outil complet pour la lecture de fichiers vidéo YUV planaires non compressés. Il s'adresse aux chercheurs dans le domaine de la compression vidéo, aux développeurs de codecs vidéo et de puces vidéo et à tous les spécialistes impliqués dans le traitement vidéo.

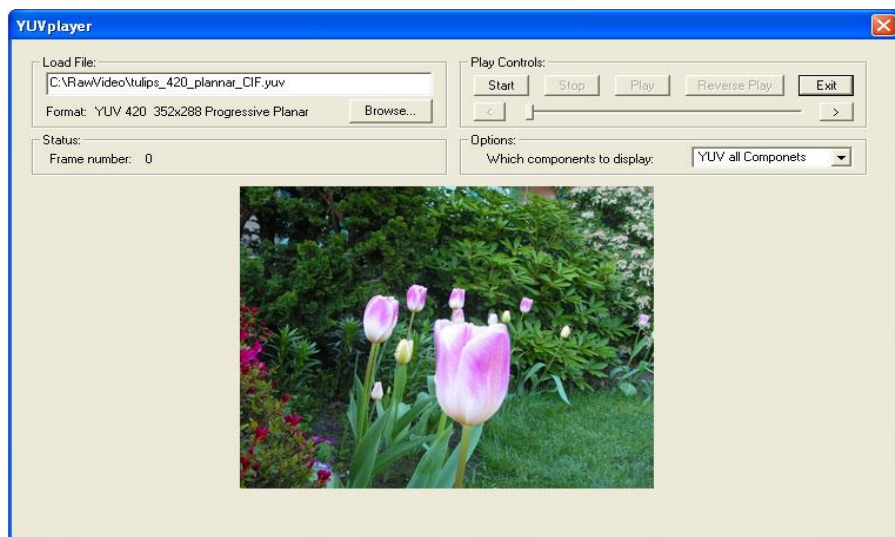


Figure IV.2. Performance Yuv player. [67]

IV.2.3 Matlab

MATLAB est une langue haute performance pour l'informatique technique. Il intègre le calcul, la visualisation et la programmation dans un environnement facile à utiliser où les

problèmes et les solutions sont exprimés dans une notation mathématique familière. Les utilisations typiques comprennent :

- Mathématiques et calcul.
- Développement d'algorithme.
- Modélisation, simulation et prototypage.
- Analyse, exploration et visualisation des données.
- Graphiques scientifiques et techniques.
- Développement d'applications, y compris le bâtiment d'interface utilisateur graphique. (Synthés et étude comparative sur les méthodes de compression vidéo et c'était ce dont nous avons besoin)

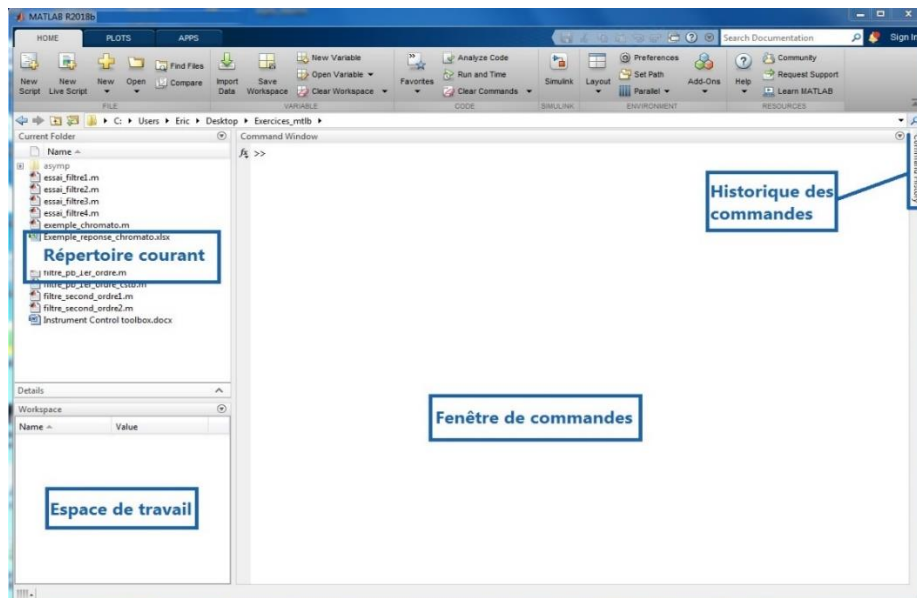


Figure IV.3. Fenêtres de MATLAB. [68]

IV.3 Métriques d'évaluation

IV.3.1 Débit binaire (Bit-rate)

Le débit binaire est la quantité de données encodées pour une unité de temps. Pour streaming, il est généralement exprimé en mégabits par seconde (Mbps) pour la vidéo et en kilobits par seconde (kbps) pour l'audio. Du point de vue du streaming, un bit-rate vidéo plus élevé signifie une vidéo de meilleure qualité qui nécessite plus de bande passante. [69]

IV.3.2 CRF & QP

CRF est un mode d'encodage à "qualité constante", par opposition au débit binaire constant (CBR). En règle générale, vous obtiendrez une qualité constante en compressant chaque image du même type de la même quantité, c'est-à-dire en jetant la même quantité (relative) d'informations. Dans la terminologie technique, vous maintenez un QP (paramètre de quantification) constant. Le paramètre de quantification définit la quantité d'informations à éliminer d'un bloc de pixels donné (un macrobloc). Cela conduit généralement à un débit extrêmement variable sur toute la séquence.

Constant Rate Factor est un peu plus sophistiqué que cela. Il compressera différentes images de différentes quantités, faisant ainsi varier le QP si nécessaire pour maintenir un certain niveau de qualité perçue. Il le fait en tenant compte du mouvement. Un codage QP constant à QP = 18 restera à QP = 18 quelle que soit la trame (il y a un petit décalage pour différents types de trames, mais il est négligeable ici). Le facteur de débit constant à CRF = 18 augmentera le QP à, disons, 20, pour les images à mouvement élevé (en les compressant davantage) et le baissera à 16 pour les parties à faible mouvement de la séquence. Cela modifiera essentiellement l'allocation du débit binaire au fil du temps.[70]

IV.3.3 PSNR

Les métriques d'évaluation de la qualité vidéo ont été classées en deux méthodes : méthodes objectives et subjectives. Les méthodes objectives sont préférées car elles offrent des résultats directement utilisables pour une vérification et une comparaison immédiate.

La métrique PSNR est une mesure purement "signal". Le PSNR est un traitement pixel à pixel quel que soit l'aspect 2D de l'image ou de la vidéo. Le PSNR est basé sur le carré moyen Erreur (MSE), pour évaluer l'erreur entre une image dégradée et sa version de référence. C'est défini par :

$$MSE = \frac{1}{WH} \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{H-1} (Im_r(i, j) - Im_e(i, j))^2, \quad (IV.1)$$

Où W et H sont les dimensions de l'image, Im_r est l'image de référence et Im_e

Est l'image à évaluer. Le PSNR d'un signal d'amplitude A est défini par l'équation 2

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{A^2}{MSE} \right), \quad (IV.2)$$

Avec $A = 2^\gamma - 1$ et γ est la profondeur de bits de la vidéo.

Pour les séquences de couleurs vidéo, qui se composent généralement de trois canaux (y,u,v),. Le PSNR pondéré est calculé en pondérant trois canaux Y, U et V comme défini ci-dessous

$$PSNR = \frac{6PSNR_Y + PSNR_U + PSNR_V}{8} . \quad (IV.3)$$

Le PSNR est la métrique objective classique la plus utilisée dans le domaine vidéo. Il est facile et rapide à mettre en œuvre. Cependant, il calcule simplement la distorsion pixel par pixel sans tenir compte de la relation entre les pixels.

IV.3.4. VMAF

VMAF est un algorithme d'évaluation de la qualité vidéo perceptif développé par Netflix en collaboration du Laboratoire d'Ingénierie de l'Image et de la Vidéo. VMAF est une référence complète, métrique de qualité vidéo perceptuelle axée sur la dégradation de la qualité due à la compression et remise à l'échelle. Il a été spécifiquement formulé pour se rapprocher de la perception humaine de la qualité vidéo puis à établir une forte corrélation avec les scores d'opinion moyens (MOS) subjectifs. Utilisation de la machine techniques d'apprentissage, un large échantillon de scores MOS a été utilisé comme vérité de terrain pour former un modèle d'estimation de la qualité.

VMAF Combinaison de plusieurs indicateurs de qualité, Y compris :

- Mesure du niveau de détail (DLM) utilisé pour saisir la perte de détails,
- Fidélité de l'information visuelle (VIF) Statistiques basées sur des scénarios naturels (NSS)
- Mesure de la fidélité de l'image pour l'informations temporelle (TI)
- La différence absolue de luminosité entre les images vidéo consécutives,
- Utilisation des indicateurs d'évaluation de la qualité SVR.

Il a été démontré que VMAF surpasse d'autres mesures de qualité d'image et de vidéo, telles que PSNR sur plusieurs ensembles de données en termes de précision de prédiction, par rapport à évaluations subjective. [56]. En 2017, les ingénieurs de RealNetworks ont signalé une bonne reproductibilité des résultats de performance de Netflix.[71].

IV.4 Comparaison des codecs PSNR, VMAF

Traditionnellement, les comparaisons de code partagent la même méthodologie : les valeurs PSNR sont calculées pour un certain nombre de séquences vidéo, chacune chiffrée avec une résolution prédéterminée et des constants rate factor ou des paramètres de quantité fixes en

fonction d'une gamme de conditions d'essai. Ensuite, des courbes de taux de qualité sont créées et les différences moyennes entre ces courbes (taux BD) sont calculées. Ces paramètres fonctionnent bien pour de petites différences de codecs, ou pour évaluer des outils dans les mêmes codecs. Pour notre statut d'utilisation (streaming vidéo) l'utilisation du PSNR est inappropriée, car elle n'est pas étroitement liée à la qualité cognitive.

La VMAF comble l'écart, et peut capturer de plus grandes différences entre les codecs, ainsi que mesurer les éléments techniques, d'une manière qui est mieux liée à la qualité sensorielle. Il nous permet de comparer les codecs dans des domaines vraiment pertinents, c-à-d. sur la structure convexe des points de qualité des prix qui peuvent être atteints.[72]

IV.5 Présentation des vidéos

Les méthodologies utilisées pour l'évaluation de la qualité vidéo divisées en quatre étapes :

1. Sélection de vidéos de références (YUV).
2. Compression de vidéos de références (HEVC/ AV1/ VCC).
3. Décompression de vidéos de références.
4. Évaluation des séquences vidéo.

On a utilisé cinq vidéos avec des caractéristiques différentes :

Tableau IV.1 : Les séquences vidéo utilisées dans les simulations.

Séquence	Format	Taille	FPS	Frames	Temps (s)
Crowdrun	SD	704x576	25	250	9
Harbour	SD	704x576	30	300	9
DuckStakeoff	SD	704x576	25	250	9
Traffic	Full HD	2560x1600	30	150	7
Basketball drill	SD	832x480	50	500	9



Crowdrun



Harbour



Duckstakeoff



Traffic



Basketball drill

Figure IV.4. Echantillons de séquences vidéo.

Tableau IV.2 : la description du contenu vidéo.

Vidéo	Description du contenu vidéo
BasketBall Drill	Corrélations élevées de joueurs avec mouvement lent
CrowdRun	Fixation de la caméra et la terre, et le peuples mobile (mouvement élevé)
Traffic	Mouvement lent des véhicules avec fixation de la caméra
Harbour	Mouvement de bateaux et caméra fixe
Duckstakeoff	Fixation de la caméra et le canard mobile

Pour mesurer la diversité du contenu vidéo à travers des séquences de test sélectionnées, des métriques d'informations spatiales (SI) et d'informations temporelles (TI) sont utilisées. On peut remarquer que les indices de SI (l'information perceptuelle spatiale) et TI. L'information perceptuelle temporelle) recommandés par l'UIT varient de relativement petits à relativement grandes pour le contenu vidéo sélectionné.

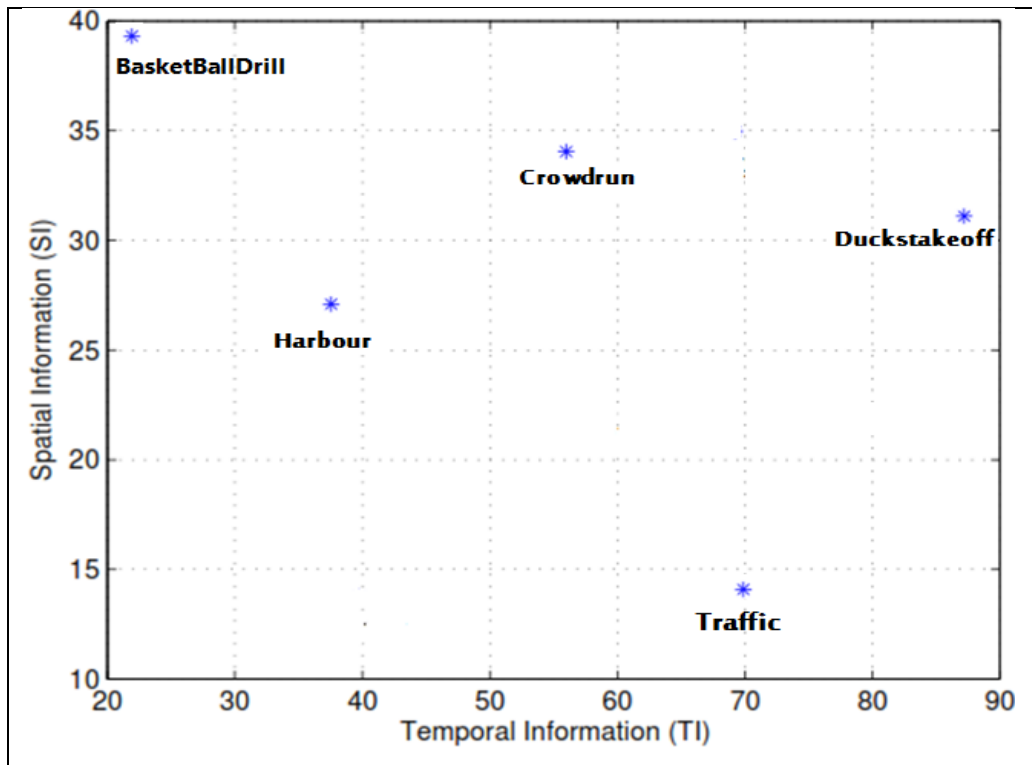


Figure IV.5. Indices de TI et SI pour les vidéos originales.

SI augmente avec la quantité de détails spatiaux, tandis que TI augmente avec la quantité de mouvement dans la séquence. Dans la Figure IV.4, les cinq séquences vidéo de test sont représentées sous les coordonnées SI, TI. La séquence vidéo Traffic sous la format UHD et BasketballDill ; Crowdrun ; Duckstakeoff ; et Harbour sous la format SD. On remarque que vidéo basketballDrill a la valeur SI la plus élevée, ce qui signifie qu'il est le plus élevé en termes de quantité de détails spatiaux, et par rapport à Traffic est le plus faible de SI contrairement à TI plus élevée, ce que signifie qu'il est le plus élevée en termes de mouvement, avec de petit quantité de détails spatiaux régulier.

IV.6 Présentation du schéma programme

IV.6.1 Qualité et taux des vidéos

La figure IV.5 montre le processus de codage d'un signal vidéo. Une vidéo brute (raw video) est acquise par un dispositif d'enregistrement, et convertie par l'encodeur en un

bitstream composé de symboles binaires (bits). La taille du bitstream pour un intervalle de temps donné est appelée taux, ou bitrate. Le taux est souvent exprimé en bits par seconde (la quantité de données numériques transmises par seconde). Le bitstream est ensuite traité par le décodeur, et le signal vidéo décodé est affiché sur l'écran de l'utilisateur. La qualité de la vidéo décodée est évaluée soit par une métrique de distorsion, une métrique de distorsion de taux, soit par une métrique de qualité subjective. [56]

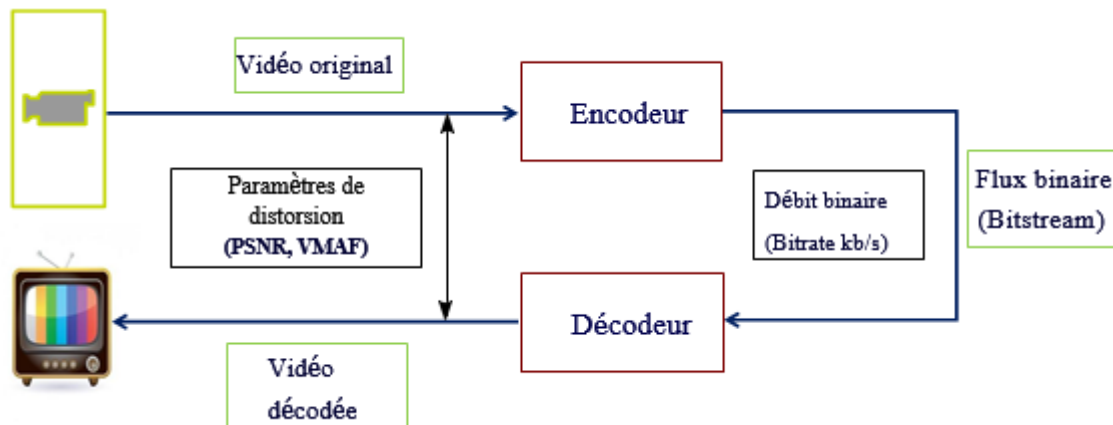


Figure IV.6 Schéma générale de programme.

La distorsion mesure la distance entre le signal vidéo brut et le signal vidéo décodé, et nécessite donc le signal vidéo brut comme référence à calculer. Les paramètres objectifs les plus couramment utilisés sont : Rapport signal-bruit de crête (PSNR) et Video Multi-Method Assessment Fusion (VMAF).

IV.7 Simulation et résultats

Le but de plateformes de compression est de permettre à l'utilisateur d'explorer diverses options de codage/décodage et de comparer les codeurs vidéo. Il existe plusieurs normes et codecs de compression vidéo. Nous avons utilisé :

- HEVC / H.265 : codec x265 (FFmpeg).
- AV1 : codec AOM.
- VVC : codec VTM.

Les codeurs HEVC, AV1 et VVC nécessitent trois données :

- a) Un fichier vidéo YUV non compressé (brut).
- b) Un fichier de configuration du chaque codec.
- c) Un fichier de configuration spécifique à la séquence.

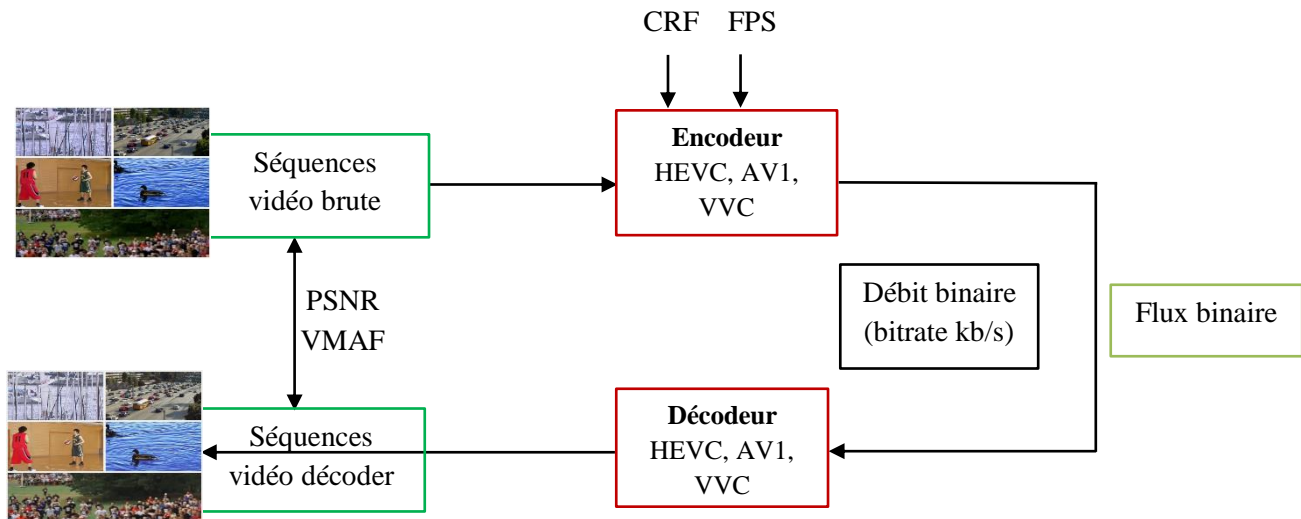


Figure IV.7 Schéma d'adaptation pour l'évaluation objective des séquences vidéo.

IV.7.1 Valeurs du factor rate constant CRF

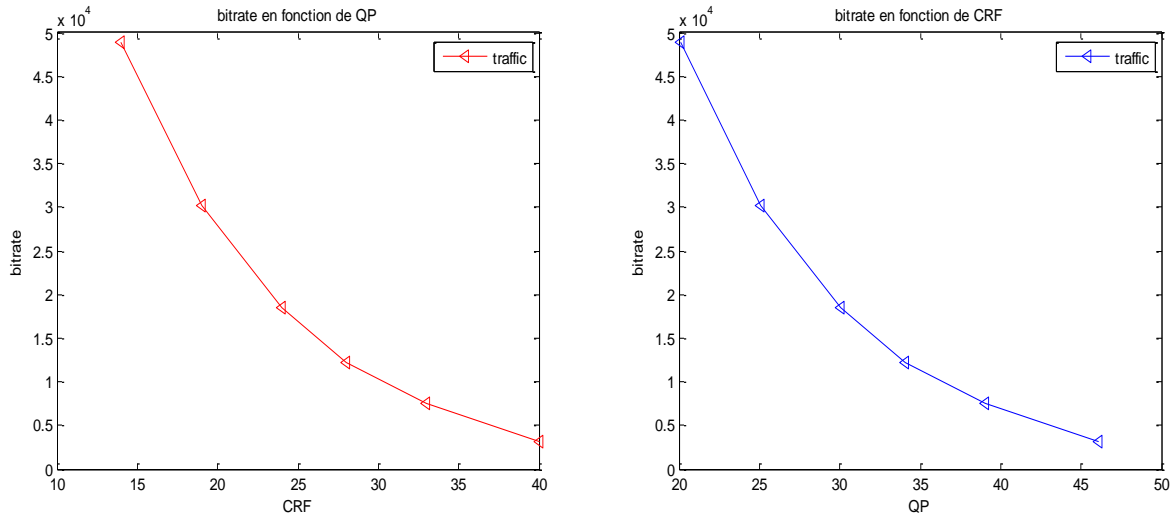
Il faut utiliser le CRF pour définir une qualité d'image constante. L'objectif est d'obtenir une qualité d'image stable entre plusieurs vidéos. À durée égale, la taille du fichier peut varier si la vidéo est facilement compressible ou pas. L'échelle CRF est logarithmique entre 0 et 63. Un petit nombre égal une meilleure qualité mais plus de temps de calcul, la valeur est souvent par défaut 23. Le choix du CRF dépend du type d'image à encoder, de la résolution de l'image, de qualité souhaitée ou encore de la taille du fichier désiré.

IV.7.2. La relation entre CRF et QP

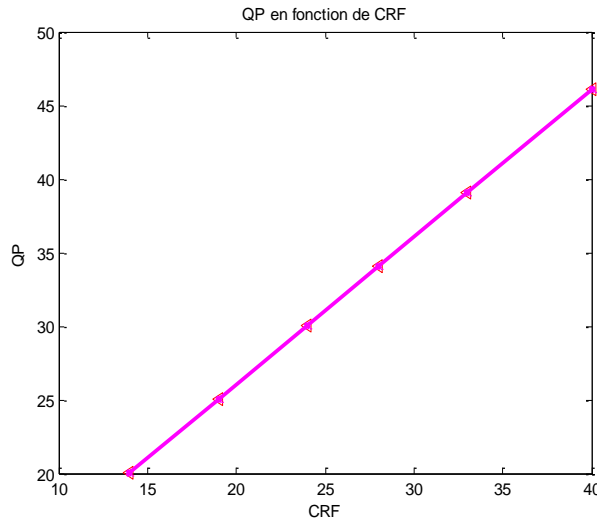
Lorsque vous définissez le paramètre de quantification QP directement, il reste constant tout au long de l'encodage et chaque image sera compressée en fonction de la valeur définie. CRF permet au QP de monter pour les images avec beaucoup de mouvement ou de descendre pour les images fixes, ce qui donne une qualité perçue constante tout en maintenant l'efficacité de la compression. [73]

Le CRF n'est qu'un défaut, vous devez choisir une (des) valeur(s) adaptée(s) à votre type de vidéo comme nous avons choisi $CRF = (14, 19, 24, 28, 33, 40)$ ainsi des valeurs adaptées de QP après le codage $QP = (20, 25, 30, 34, 39, 46)$.

Dans les courbes suivantes, nous expliquons la différence entre CRF et QP sur une l'un des vidéos (La séquence vidéo Traffic):



a) Bitrate en fonction de QP et CRF.



B) QP en fonction de CRF.

Figure IV.8 : a) Bitrate en fonction de QP et CRF. B) QP en fonction de CRF (Vidéo Traffic).

On remarque alors que la relation entre Constant rate factor (CRF), et Quantification Paramètre (QP) est linéaire.

IV.7.3 Performances du HEVC, AV1 et VVC

IV.7.3.1 En termes de la taille d'un fichier

Les courbes suivantes montrent la taille de deux types de vidéos différents, Traffic et Basketball Drill, et les résultats obtenus après les avoir compressés, à différentes valeurs CRF en utilisant trois normes de codage : HEVC, AV1 et VVC successivement ;

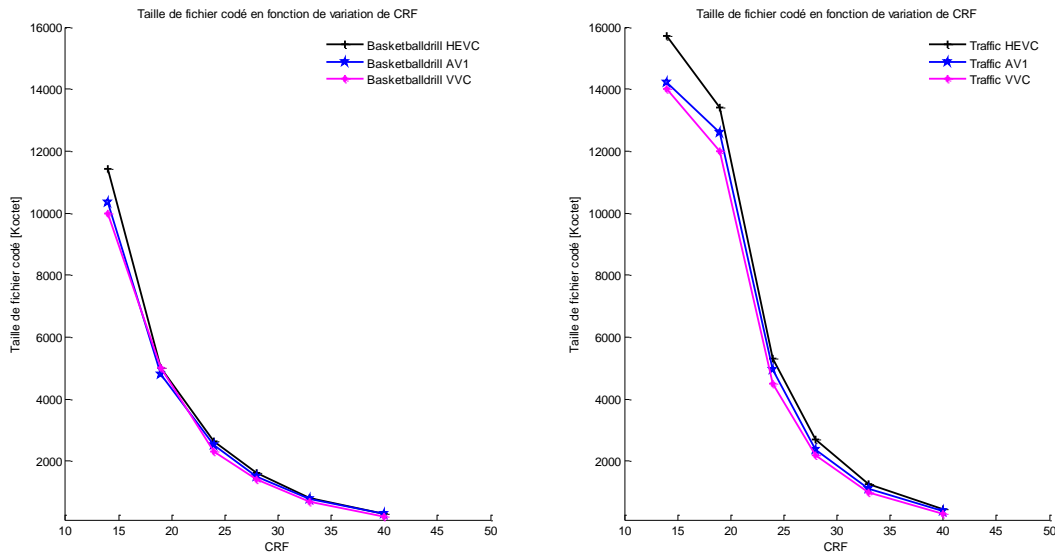


Figure IV.9 : Courbes récapitulatives pour deux séquences vidéo compressées avec HEVC, AV1 et VVC. Taille de fichier codé = $F(\text{CRF})$.

Les résultats obtenus montrent que la taille des fichiers codés diminue en fonction du CRF comme indiqué les résultats sont que l'encodage de vidéos à différentes valeurs CRF conduit à différentes valeurs de taille de fichier. Il montre également que chaque norme a un pourcentage de réduction de la taille et nous voyons que VVC dépasse ces normes car son taux de compression dépasse les deux normes précédentes HEVC et AV1 dans les deux vidéos, suivies de la norme AV1 et enfin HEVC, donc la meilleure performance a été obtenue était avec le VVC standard, de plus, à mesure que CRF augmente, la taille du fichier diminue

IV.7.3.2 En termes de PSNR

La relation entre CRF et le PSNR est importante pour quel que soit le logiciel utilisé pour le codage. En utilisant les normes de compression HEVC et VVC, ainsi que AV1 pour la compression vidéo, et l'utilisation du logiciel FFMPEG, nous avons obtenus les résultats affichés dans les figures IV.9, IV.10 et IV.11.

Tout d'abord les séquences vidéo Traffic, Basketball Drill et Harbour donner la valeur plus élevée de PSNR que les deux restent vidéo (Duckstakeoff et Crowdrun).

Aussi, nous notons que dans cette vidéo (Duckstakeoff), HEVC est la meilleure norme et AV1, VVC ont la même valeur presque, c'est-à-dire dans la même efficacité. Suivie par vidéo Traffic qui a même remarque que Duckstakeoff.

Contrairement à l'autres des vidéos (Harbour, Crowdrun et Basketball Drill) le AV1 et VVC sont les deux normes supérieures par rapport à HEVC par un petit pourcentage.

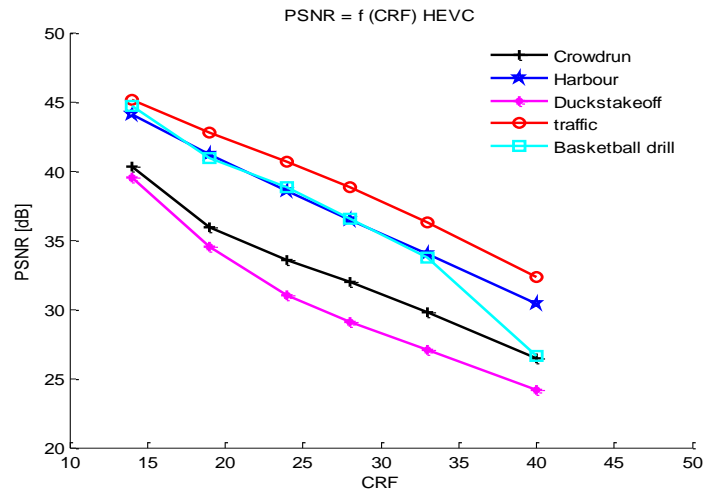


Figure IV.10 : Courbes récapitulatives pour toutes les séquences vidéo compressées avec HEVC.

$$PSNR = f(CRF).$$

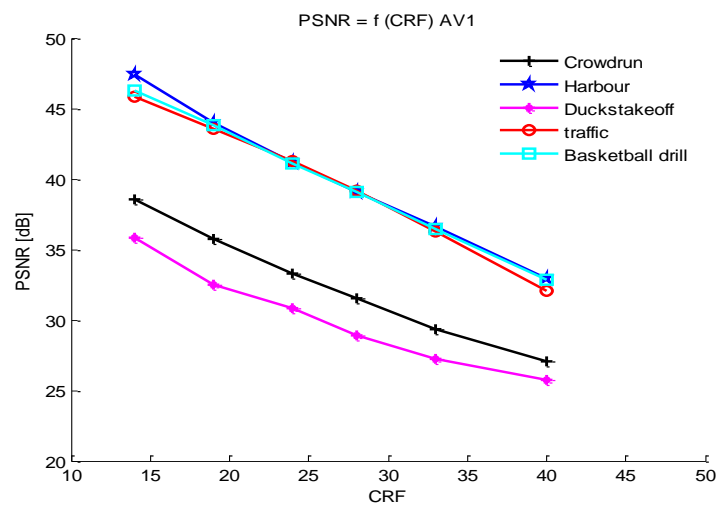


Figure IV.11 : Courbes récapitulatives pour toutes les séquences vidéo compressées avec AV1.

$$PSNR = f(CRF).$$

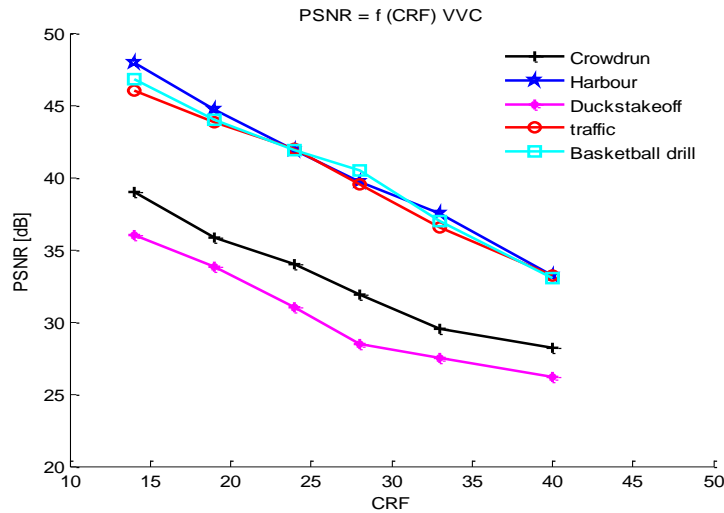


Figure IV.12 : Courbes récapitulatives pour toutes les séquences vidéo compressées avec VVC.

$$\text{PSNR} = f(\text{CRF}).$$

A partir des remarques précédentes, nous pouvons dire que la norme HEVC a des performances qui la rendent parfois supérieur à AV1 et VVC malgré ce sont les plus récents.

Parmi ces performances, HEVC obtient de meilleurs résultats lors l'encodage de vidéos ayant une valeur TI élevée, par exemple vidéo Duckstakeoff leur information temporel (TI) est égale à 88 comme le montre figure IV.4, c'est la plus grande valeur par rapport l'autres vidéos.

Cela signifie qu'il est préférable d'utiliser HEVC pour encoder des vidéos avec des détails temporels élevés.

Au contraire les normes AV1 et VVC, obtient des meilleurs résultats lors l'encoder de vidéos ayant une valeur SI élevée, comme a vidéo Basketball Drill leurs information spatiale (SI) est égale à 49 (la plus grande valeur), ce que signifie est préférable d'utiliser les deux normes AV1 et VVC pour encoder des vidéos qui possède un SI et TI plus élevé, avec peu de priorité à VVC.

IV.7.3.3 En termes de contenu des séquences vidéo

Les courbes suivantes montrent les résultats obtenus en termes de PSNR et VMAF pour chaque vidéo à chaque norme.

- **Pour PSNR :**

Les résultats de comparaison montrent que plus le CRF est grand, plus le PSNR diminue, comme le montrent les figures suivantes. On note également que dans les vidéos Harbour et Basketball drill, la norme VVC surclasse les deux précédentes, AV1 et HEVC, suivie de AV1 pour donner des résultats proches et fois identiques à ceux obtenus à VVC puis HEVC, mais dans la vidéo Crowdrun et de trafic résultats sont très proches de l'égalité. Et dans Duckstakeoff, on note

que HEVC surpasse chacun des deux critères précédents au niveau des valeurs CRF (14 et 19) et aux valeurs de CRF (de 24 à 36) on voit que les résultats sont de près à égaux pour les trois critères et ensuite à la valeur 40 on voit que les deux critères VVC et AV1 donnent une meilleure qualité.

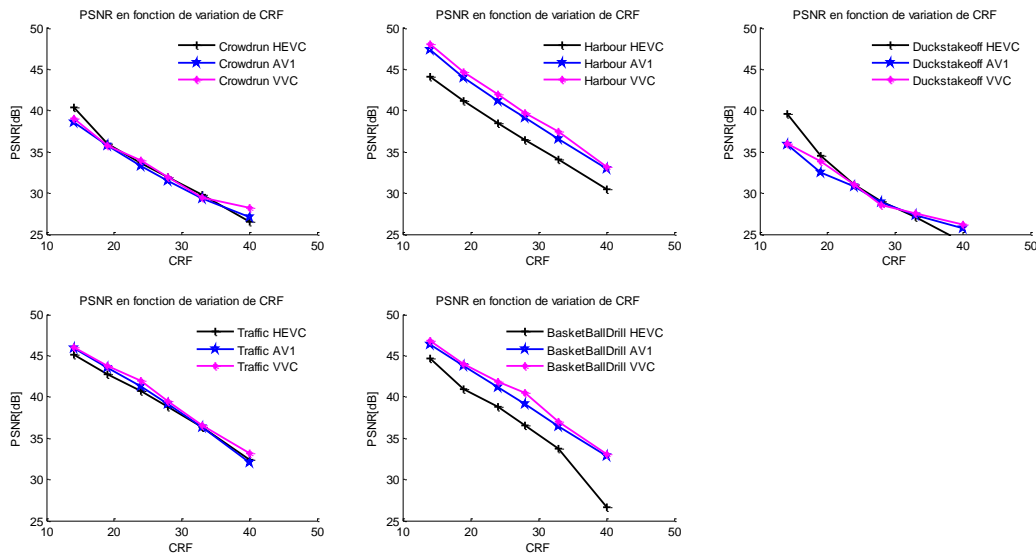


Figure IV.13 : Courbes récapitulatives pour toutes les séquences vidéo compressées avec HEVC, AV1 et VVC. $PSNR = f(CRF)$.

Nous concluons donc qu'il existe des vidéos dans lesquelles VVC et AV1 présentent le même et meilleur encodage, et HEVC peut fournir une qualité égale ou supérieure aux deux critères précédents à certaines valeurs de CRF.

- **Pour VMAF :**

Nous remarquons aussi que les valeurs ont été changer en termes de CRF, dans le cas de vidéo Harbour, on remarque que les résultats sont presque similaires lors de l'utilisation de VVC et AV1 et qu'ils sont supérieurs à HEVC, dans le vidéo basketball drill les résultats sont convergents pour chaque norme dans les petites valeurs de CRF, puis lorsque la valeur de CRF (30 à 40) les deux critères VVC et AV1 sont supérieurs à HEVC.

Dans le cas de vidéo Traffic On constate que les résultats convergent vers les valeurs CRF (14 à 24) et (33.40), puis les deux les normes VVC et AV1 dépassent la norme HEVC à $CRF = 28$. Dans cette vidéo, on peut dire que les trois normes ne sont pas éloignées l'une de l'autre si bien qu'elles donnent la même qualité. Dans la vidéo Crowdrun les résultats montrent que les résultats dès les deux normes HEVC et AV1 sont proches et égaux sur la plupart des points, ce qui prouve que les deux critères sont supérieurs à la norme HEVC, dans les valeurs de CRF (14 à 24) VVC et AV1 surpassent HEVC puis aux points 28 et 33 HEVC surpasse les autres.

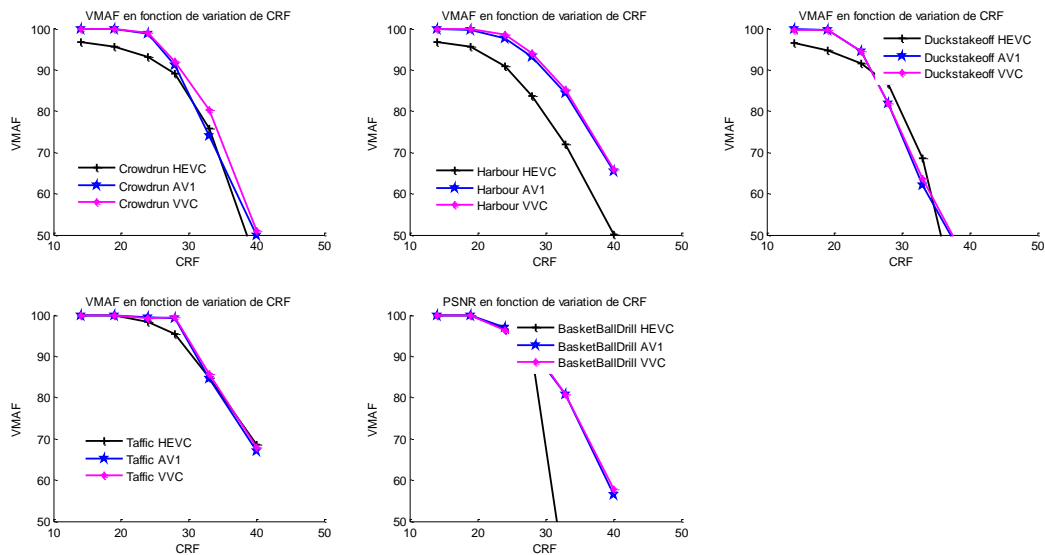


Figure IV.14 : Courbes récapitulatives pour toutes les séquences vidéo compressées avec HEVC, AV1 et VVC. $VMAF = f(CRF)$.

De là on peut dire que VVC et AV1 n'ont pas une grande différence entre eux et ils donnent une meilleure qualité que HEVC mais cela ne veut pas dire que HEVC est loin d'eux.

IV.8 Comparaison de PSNR et VMAF en fonction de Bitrate

Les figures IV.14 et IV.15, présentent les résultats des tests pour les méthodes PSNR et VMAF.

Tous les chiffres montrent pour deux séquences vidéo encodées au SD (Basketball Drill) et FHD (Traffic), sachant que et après extrait les résultats de la figure IV.4 :

- SI pour SD (Traffic) est égale à 39, et pour FHD (Basketball Drill) = 14 ;
- TI pour SD (Traffic) est égale à 23, et pour FHD (Basketball Drill) = 70.

On peut voir selon le Figure IV.14, que la séquence vidéo avec SI plus élevée, ont des valeurs inférieures de PSNR du fait qu'elles sont plus complexes à coder, comme le cas de Traffic avec les trois normes HEVC, AV1 et VVC. Contrairement vidéo Basketball Drill il a des valeurs plus élevées de PSNR avec les trois normes aussi HEVC, AV1 et VVC ; car leur information spatiale SI est diminué.

D'autre part selon le Figure IV.15, que la séquence vidéo avec TI plus élevée, ont des valeurs supérieures de VMAF, le cas de Traffic avec les trois codecs : HEVC, AV1 et VVC.

Du fait que VMAF peu donne des informations précises pour les vidéos avec TI élevée et avec les trois normes.

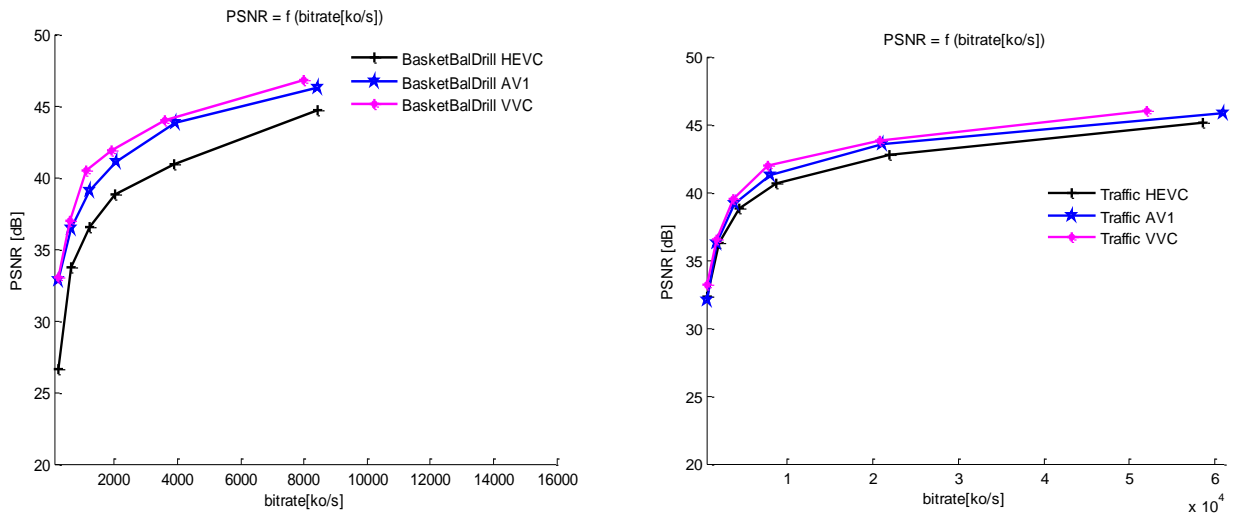


Figure IV.15 : Valeurs de PSNR en fonction de Bitrate, pour basketball Drill et Traffic, compressées avec HEVC, AV1 et VVC.

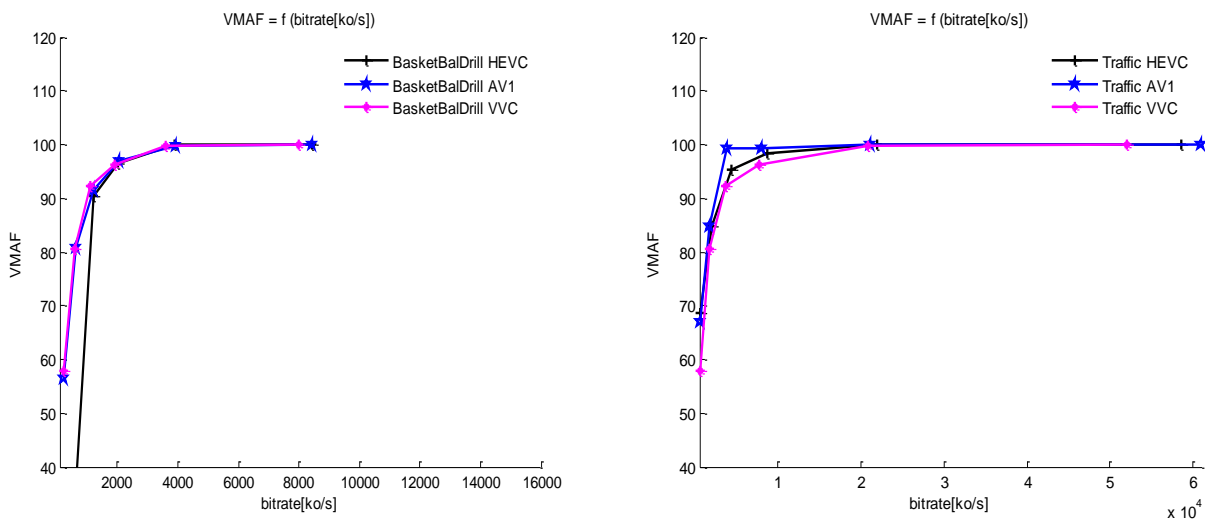


Figure IV.16 : Valeurs de VMAF en fonction de Bitrate, pour basketball Drill et Traffic, compressées avec HEVC, AV1 et VVC.

On peut résumer en disant qu’une vidéo basketball Drill, obtenez de plus élevée résultats de PSNR en fonction de Bitrate dans les trois normes, en raison de leur caractéristique (information spatiale élevée et information temporelle faible).

Au contraire d’une vidéo Traffic, obtenez les plus élevée résultats de VMAF en fonction de Bitrate dans les trois normes, en raison de leur caractéristique temporelle complexes TI = 70.

IV.9 Discussion

Les courbes montrent clairement que souvent les performances du VVC et AV1 sont nettement meilleures que celles du HEVC. L'écart semble d'autant plus important que la résolution augmente.

La vidéo Harbour par exemple lorsque CRF = 33 ; Dans VVC (PSNR = 37.5dB) est supérieure à celle du AV1 (PSNR = 36.58 dB) et HEVC (PSNR = 34.02dB).

Un autre exemple la vidéo Traffic, CRF = 28 ; Dans la norme VVC (PSNR = 39,5 dB), AV1 (PSNR = 39,1 dB) et HEVC (PSNR = 38,85 dB). On note dans ce cas que VVC et AV1 les meilleurs et les plus similaires normes d'encodage.

Nous notons aussi qu'il existe une supériorité de HEVC par rapport les autres deux normes VVC et AV1, par exemple dans le cas de vidéo Duckstakeoff à des valeurs spécifiques de CRF.

En conséquence, nous pouvons conclure que la perception de la qualité n'est pas directement / linéairement liée au mouvement vidéo. En outre, des vidéos avec les différents coefficients de mouvement ont des métriques significatives différentes. Par conséquent, l'impact du mouvement vidéo sur la qualité perçue pour différentes valeurs de transmission les déficiences est présentées.

Nous constatons que VVC surpasse les deux norme AV1 et HEVC. Les deux séquences vidéo Basketball Drill, Traffic elles atteignent un rapport PSNR plus élevé avec un débit binaire inférieur, et un exercice de basket-ball atteint le rapport de débit binaire le plus bas avec une valeur PSNR plus élevée. Quant à VMAF, nous remarquons un changement très important pour le trafic vidéo donc que c'est un débit beaucoup plus faible par rapport au résultat de PSNR.

En fin de compte, nous concluons que chaque norme a des caractéristiques qui la rendent parfois supérieure aux autres, et cela est dû à la nature de la vidéo et à ses fonctionnalités

IV.10. Conclusion

Dans ce chapitre, nos tests montrent que, par rapport au H.265/HEVC, AV1 est plus efficace en termes de compression pour les vidéos HD et FHD (Traffic), et plus efficace pour les vidéos SD. De plus, les expériences montrent que le VVC a une efficacité de compression supérieure à celle du HEVC pour une qualité perceptuelle équivalente. Alors, VVC et AV1 a des très proches et préférences résultats aux vidéos a haute définition HD et FHD largement utilisées à notre époque. Ainsi, il est très probable que dans un avenir proche, VVC et av1 remplacera majoritairement H.265/HEVC dans de nombreux réseaux.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Comme la compression de fichiers, l'objectif de la compression multimédia est de réduire la taille des fichiers et d'économiser de l'espace disque. Cependant, les algorithmes de compression multimédia sont spécifiques à certains types de médias, tels que les fichiers image, audio et vidéo, et dans notre étude, nous avons dédié la technologie de compression sur la vidéo.

La technologie de compression vidéo consiste à réduire et à supprimer les données vidéo redondantes afin qu'un fichier vidéo numérique puisse être efficacement envoyé sur un réseau et stocké sur des disques informatiques. Avec des techniques de compression efficaces, une réduction significative de la taille du fichier peut être obtenue avec peu ou pas d'effet négatif sur la qualité visuelle ou, dans certains cas, avec effet, etc.

L'objectif principal de cette mémoire est d'étudier et de comparer les trois normes de codage HEVC, AV1 et VVC en termes de la meilleure qualité ainsi qu'une meilleure compression, c'est ce que nous cherchons à résoudre notre problème en recourant à l'utilisation de métrique de mesure de qualité telles que PSNR et VMAF. Il existe de nombreuses différences entre les vidéos au moment de la compression, ainsi que la qualité de la vidéo. La différence réside dans le temps de compression et que lorsque la qualité diffère (meilleure est la qualité, plus le temps de compression est élevé) nous avons obtenu haute qualité lors de l'utilisation du codec VVC et la vidéo obtenue est très similaire à la vidéo originale suivante et non loin de la norme AV1 et après eux HEVC.

L'évaluation des métriques montre que VVC semble être supérieur à AV1 et HEVC sous des contraintes de codage de CRF et de débit cible (Bitrate). AV1 montre des gains de codage supérieurs par rapport à HEVC sous codage de débit binaire cible, mais a en général une complexité de calcul accrue et désormais un facteur de temps de codage de 20 à 30 sur HEVC.

Finalement, nous espérons avoir accompli le travail demandé et montré les logiques résultats à atteindre.

Perspectives :

Pour les travaux futurs, il serait basé sur plusieurs classe de vidéos de références et à l'évaluation de la streaming vidéo HEVC/AV1/VVC sur des réseaux réels comme le LTE, VANET ...etc.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] <https://fr.theastrologypage.com/video-compression>. (Consulter le 12/04/2022)
- [2] Michael Guarisco, Architecture auto-adaptative pour le transcodage vidéo. Autre, Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2011, Français, NNT : 2011NAN10147. tel-01746292.
- [3] <https://www.adobe.com/fr/creativecloud/video/discover/compress-video.html> (Consulter le 12/04/2022)
- [4] <https://fr.sawakinome.com/articles/technology/difference-between-lossy-and-lossless-compression.html> (Consulter le 18/04/2022)
- [5] <https://waytolearnx.com/2018/07/difference-entre-la-compression-avec-perde-et-la-compression-sans-perde.html> (Consulter le 19/04/2022)
- [6] <https://recoverit.wondershare.fr/video-recovery/hevc-video.html> (Consulter le 14/04/2022)
- [7] Anthony Nasrallah, Nouvelles techniques de compression pour le codage vidéo prochaine- Génération, Image Processing [eess.IV], Institut Polytechnique de Paris, 2021, English, ffNNT : 2021IPPAT043ff. fftel-03559752ff
- [8] Nihel Neji, Conception conjointe sur FPGA d'un décodeur HD H264/AVC utilisant un codage entropique de type CABAC, Thèse doctorat, Université de sfax, 17décembre2015
- [9] David Gommelet, Methods for improving the backward compatible High Dynamic Range compres- sion, Image Processing [eess.IV], Université Rennes 1, 2018. English. NNT : 2018REN1S033. tel- 01947401
- [10] Wahiba Bouhali, Optimisation d'une chaine de transmission iEEE802.11g, Mémoire Master, Université Abderhmane Mira Bejaia, 24juin2012
- [11] <http://www.dvdcritiques.com/Actus/208> (Consulter le 24/04/2022)
- [12] Oumari Mokhtar, sécurité et compression de l'information multimédia, Thèse doctorat, Université Djillali Liabes, 07janvier2013
- [13] <https://www.cnetfrance.fr/amp/produits/sd-hd-ultra-hd-4k-8k-comprendre-les-definitions-des-tv-39786402.htm> (Consulter le 25/04/2022)
- [14] <https://www.missnumerique.com/blog/les-differentes-definitions-dimage-en-video/> (Consulter le 22/04/2022)

- [15] https://stringfixer.com/fr/1080p_HD (Consulter le 22/04/2022)
- [16] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, A survey on sensor networks, *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102–114, Aug. 2002.
- [17] G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han, and T. Wiegand, Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard, *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 22, no. 12, pp. 1649–1668, 12,2012.
- [18] X265 homepage: <https://bitbucket.org/multicoreware> (2018) (Consulter le 20/01/2022)
- [19] <http://www.content-technologie.com/standards/?p=108>.accessedjune18,2019 (Consulter le 20/01/2022).
- [20] <http://recoverit.wondershare.fr/video-recovery/hevc-video.html> (Consulter le 24/01/2022)
- [21] <http://desgeeksetdlesslettres.com/streaming/hevc-high-efficiency-video-coding-h-265-mpeg-h/> (Consulter le 26/01/2022)
- [22] Sze, V. Budagavi, M. Sullivan, G.J, High efficiency video coding (HEVC), Integrated Circuit and Systems, Algorithms and Architectures Springer, 2014, 39, pp. 40.
- [23] nicolas dhollande, optimisation du codage HEVC par des moyens de pré-analyse et / ou de pré-codage du contenu, Science de l'ingénieur [physique], Ecole doctorale Matrisse, 2016, Français. Tel-01758094.
- [24] Pourazad, M.T., Doutre, C., Azimi, M., Nasiopoulos, P. HEVC: The new gold standard for video compression: How does hevc compare with h. 264/avc, *IEEE consumer electronics magazine*, 2012,1, (3), pp. 36–46.
- [25] Guilherme, C., Pedro, A., L. A. L. A. d. S. C. Complexity-Aware High Efficiency Video Coding, Springer, 2015.
- [26] Abid, M., System-Level Hardware Synthesis of dataflow programs with HEVC as study use case, thèse de doctorat, université de Bretagne Loire, France, 28,04,2016.
- [27] Menasri wahiba, implémentation d'un décodeur CABAC HEVC/H.265 sur plateforme FPGA, thèse de doctorat, université Houari Boumedién, 03,10,2019.
- [28] Olivier, B., Pre-analyse de la vidéo pour un codage adapte. Application au codage de la TVHD en flux H.264, Sciences de l'ingénieur, Université de Nantes, 01,2010.
- [29] Iain, E. R., The H.264 advanced video compression standard, second edition, WILEY.

- [30] Harati, S., Optimisation du contrôle de débit de H.264/AVC basée sur une nouvelle modélisation débit-quantification et une allocation sélective de bits, thèse de doctorat, université de Poitiers France & université Mohamed V-Agdal Rabat, 10,12,2011.
- [31] Gary, J., Sullivan, J.Ohm., Han, W., and Wiegand, T.,: Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard, IEEE Transactions on circuits and systems for video technology,12, 2012.
- [32] Ben Atitallah, A., ‘Etude et Implantation d’Algorithmes de Compression d’Images dans un Environnement Mixte Matériel et Logiciel’, thèse de doctorat en électronique, Université Bordeaux 1,07, 2007.
- [33] Nicolas dhollande, optimisation du codage HEVC par des moyens de pré-analyse et / ou de pré-codage du contenu. Science de l’ingénieur [physique]. Ecole doctorale Matrisse, 2016. Français. Tel-01758094.
- [34] <https://www.researchgate.net/profile/C-C-Jay> (Consulter le 14/02/2022).
- [35] Bihong Huang. Second-order prediction and residue vector quantization for video compression. Other [cs.OH]. Université Rennes 1, 2015. English. ffNNT : 2015REN1S026ff. fftel-01206572ff.
- [36] <https://aws.amazon.com/fr/media/tech/high-efficiency-video-coding/> (Consulter le 17/03/2022).
- [37] <https://www.ionos.fr/digitalguide/sites-internet/developpement-web/presentation-du-codec-av1/> (Consulter le12/02/2022).
- [38] https://www.frandroid.com/services/svod/1121819_lav1-arrive-sur-netflix-mais-quest-ce-que-cest (Consulter le 12/02022).
- [39] <https://www.5kplayer.com/video-music-player-fr/codec-video-av1.htm> (Consulter le18/02/2022).
- [40] <https://www.ionos.fr/digitalguide/sites-internet/developpement-web/presentation-du-codec-AV1/> (Consulter le 03/02/2022).
- [41] <https://www.mo4tech.com/google-video-compression-core-algorithm-group-engineer-detailed-av1-coding-algorithm.html> (Consulter le 16/02/2022).

- [42] Milivojevic, Milan, DUJKOVIĆ, Dragi, et GAVROVSKA, Ana. Video coding and Constant quality evaluation using 4k aomenc-AV1 and rav1e-AV1 formats. Serbian Journal of Electrical Engineering, 2021, vol. 18, no 2, p. 139-154.
- [43] <https://stringfixer.com/fr/AV1> (Consulter le 19/02/2022).
- [44] <https://github.com/cconcolato/av1-spec/blob/master/05.decoding.overview.mds> (Consulter le 24/02/2022).
- [45] <https://hub.packtpub.com/mozilla-shares-how-av1-the-new-the-open-source-royalty-free-video-codec-works/> (Consulter le 22/02/2022).
- [46] Chen, Yue, Mukherjee, Debargha, Han, Jingning, et al, An overview of coding tools in AV1: The first video codec from the alliance for open media, APSIPA Transactions on Signal and Information Processing, 2020, vol. 9.
- [47] Han, Jingning, LI, Bohan, Mukherjee, Debargha, et al, A technical overview of AV1. Proceedings of the IEEE, 2021, vol. 109, no 9, p. 1435-1462.
- [48] <https://no-regime.com/ru-fr/wiki/AV1> (Consulter le 04/03/2022).
- [49] <https://br.atsit.in/fr/?p=110812> (Consulter le 20/03/2022).
- [50] <https://fr.wikipedia.org/wiki/H.266/VVC> (Consulter le 22/03/2022).
- [51] Julien Lausson : H.266/VVC : le codec qui définira l'avenir de la vidéo est prêt Publié le 07,07,2020 à 17h52.
- [52] J. Chen, M. Karczewicz, Y.-W. Huang, K. Choi, J.-R. Ohm, and G. J. Sullivan, "The joint Exploration model (JEM) for video compression With capability beyond HEVC," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 30, no. 5, pp. 1208–1225, 05,2020.
- [53] B. Bross et al., "General video coding technology in Responses to the joint call for proposals On video Compression with capability beyond HEVC," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 30, no. 5, pp. 1226–1240, 05,2020.
- [54] <https://spin-digital.com/technology/vvc/> (Consulter le 14/02/2022).
- [55] <https://www.programmingsought.com/article/1598771416/> (Consulter le 14/02/2022).

- [56] Thomas Amestoy, Optimisation du Codec VVC basé sur la Réduction de Complexité et le Traitement Parallèle, Traitement des images [eess.IV], INSA de Rennes, 2021, Français. NNT : 2021ISAR0009.tel-03566101.
- [57] <https://www.moyens.net/tech/quest-ce-que-le-h-266-et-pourquoi-est-il-meilleur-que-le-h-265/> (Consulter le 26/02/2022).
- [58] Nguyen, Tung et Marpe, Detlev. Compression efficiency analysis of AV1, VVC, and HEVC for random access applications, APSIPA Transactions on Signal and Information Processing, 2021, vol. 10.
- [59] Chan, Ka-Hou et IM, Sio-Kei, Rounding of improved DCT transform coding for H, 266/VVC, In : Thirteenth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2021). SPIE, 2021. p. 636-642.
- [60] Saha, Anup, Chavarrias, Miguel, PESCADOR, Fernando, et al. Complexity Analysis Of a Versatile Video Coding Decoder over Embedded Systems and General Purpose Processors. Sensors, 2021, vol. 21, no 10, p. 3320.
- [61] <https://samagame.com/blog/fr/le-nouveau-codec-h-266-vvc-est-desormais-officiel-il-dit-de-Reduire-la-taille-des-videos-a-la-moitie-de-ce-que-elles-occupent-maintenant-en-h-265-hevc/> (Consulter le 05/03/2022).
- [62] <https://siecledigital.fr/2020/07/08/lavenir-de-la-video-secrira-avec-le-nouveau-codec-h-266-vcc/> (Consulter le 14/04/2022).
- [63] <https://www.nouvelles-du-monde.com/comment-la-norme-video-h-266-aidera-a-diffuser-du-Contenu-beaucoup-plus-rapidement/> (Consulter le 19/04/2022).
- [64] Vidéo : Qu'est-ce que le codec H.266 comparaison H.266/VVC/ vs AV1 vs H.265/HEVC. Dimanche 13,03,2022 a22 :20.
- [65] <https://www.winxdvd.com/video-transcoder/ffmpeg-codec.htm> (Consulter le 26/05/2022).
- [66] <https://javiborras.com/fr/ffmpeg-para-la-edicion-de-video-como-funciona-y-sus-comandos> (Consulter le 26/05/2022).
- [67] <https://getwinpcsoft.com/YUV-Player-Deluxe-240065/> (Consulter le 27/05/2022).

[68] <http://informatique-et-electronique.fr/index.php/informatique/matlab/envirennementdematlab>
(Consulter le 02/06/2022).

[69] Selmi Mohammed El-Amin et Yala Mohammed, Mémoire etude comparative sur les méthodes de compression vidéo, Mémoire Master, Université Abou Bekr Belkaid, 2016/2017.

[70] <https://slhck.info/video/2017/02/24/crf-guide.html> (Consulter le 07/06/2022).

[71] https://stringfixer.com/fr/Video_Multimethod_Assessment_Fusion (Consulter le 02/06/2022).

[72] Mohammed Ghanbari, The accuracy of PSNR in predictiong video quality for different video scence and frame rates, 06, 2012.

[73] <https://stackoverflow.com/questions/40668616/whats-the-difference-with-crf-and-qp-in-ffmpeg> (Consulter le 07/06/2022).