

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministere de l'enseignement superieur et de la recherche scientifique

جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Université abdl hamid ibn badis mostaganem

كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculté des sciences de la technologiques

قسم الهندسة الكهربائية

Département de Génie Electrique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER

Filière : Système Télécommunications

Thème

QUELQUES APPROCHES POUR LA STEGANOGRAPHIE D'IMAGES JPEG-DCT : APPLICATION AUX COMMUNICATIONS NUMERIQUES

Présenté par :

- M^{elle} Lahmer Amel.
- M^{elle} Oulad-Toumi Maroua.

Soutenu le 29/06/2025. Devant le jury composé de :

Président: Mr. YAGOUBI BENABDELLAH

Encadrant: Mr. OULDALI ABDELAZIZ

Examineur: Mr. ZELLAGUI AMINE

Années universitaire: 2024-2025

REMERCIEMENTS

Louange à **ALLAH** le Tout-Puissant, Miséricordieux et Bienveillant, qui nous a accompagnés tout au long de ce parcours en nous accordant santé, persévérance et confiance pour avancer malgré les défis.

Nos remerciements les plus sincères et profonds s'adressent à notre encadreur, **Monsieur Ould Ali Abdelaziz**, pour son soutien indéfectible, ses conseils éclairés, et sa disponibilité précieuse tout au long de cette aventure. Sa patience et son implication nous ont été d'un immense secours et nous ont guidés vers l'aboutissement de ce travail.

Nous adressons également nos remerciements chaleureux aux membres du jury, **Monsieur Zellagui amine** et **Monsieur Yagoubi Benabdellah**, qui nous ont honorés par leur présence et leurs observations enrichissantes.

Nous tenons également à exprimer notre immense gratitude à Monsieur **Zellagui Amine**, dont les encouragements et leur humanité et le suivi bienveillant ont constitué un véritable pilier pour notre progression.

Enfin, nous remercier toutes les personnes, proches ou moins proches, qui ont apporté leur pierre à l'édifice, que ce soit par leurs encouragements, leur soutien ou leur aide technique.

DEDICACE

Je dédie Ce mémoire à ...

*A mon **père**, pour ses précieux conseils, sa sagesse et son soutien indéfectible.*

*A ma chère **mère**, pour son amour inconditionnel, ses prières silencieuses et sa tendresse infinie.*

*A mon **fiancé Momen**, pour son soutien constant, son patience et son précieuse aide tout au long de ce travail*

*A **Mama Halla**, pour ses douaas sincères qui m'ont portée dans les moments exigeants de ce parcours, ses mots a et sa motivation.*

*A **Donia**, plus qu'une véritable amie, une sœur, pour son amour, sa complicité et sa présence douce dans ma vie.*

*A mon frère **Khelifa** et mes sœurs **Zahra** et **Anfel**, pour leur complicité, leurs encouragements et leur présence rassurante.*

*A ma binôme **Oulad Toumi Maroua**, pour son partage, et son aide précieuse tout au long de cette aventure.*

*A ma deuxième famille, mes frères de cœur : **Youcef, Lakhdar, Ghani, Lhadj**, pour leur amitié sincère, leur soutien indéfectible et les moments de joie partagés.*

*A ma **promotion de Télécom**, cette grande famille avec laquelle j'ai partagé de magnifiques souvenirs, et à tous mes **enseignants** en particulier **Monsieur Ould Ali Abdelaziz** et **Monsieur Zellagui Amine**, pour leur accompagnement, et disponibilité qui m'ont guidé.*

Avec toute ma gratitude et mon affection,

Amel

DEDICACE

*Je remercie ALLAH qui est toujours présent avec moi
dans **Le Meilleur** et dans la pire.*

A mes chers parents,

*A ma mère, Pour ton amour sans limite, ta tendresse inépuisable,
ton soutien indéfectible et tes conseils précieux qui ont illuminé
mon chemin.*

*A mon chère **papa**, Pour ta générosité silencieuse, ta
force, et tes encouragements constants qui m'ont portée dans
chaque étape de ma vie.*

*A mon frère adoré, Yassine, Trésor de mon cœur, merci d'avoir
toujours été là, fidèle, attentif, et d'un soutien sans faille dans les
moments les plus décisifs.*

*A mes petites sœurs adorées, **Safaa** et **Israa**, Pour leur affection
sincère, leur douceur spontanée, et leur présence lumineuse qui
ont toujours réchauffé mon cœur.*

*A ma binôme « **Lahmer Amel** » ton soutien, ta patience et
complicité tout au long de notre travail.*

*A ma personne préférée, **Abdeljalil**, pour la douceur de sa
présence et le bonheur de l'avoir dans ma vie.*

*A vous tous, je dédie ce travail avec tout l'amour, la reconnaissance
et la sensibilité de mon cœur.*

Maroua

RESUME :

La stéganographie et le chiffrement sont deux approches essentielles dans le domaine de la sécurité de l'information. Alors que le chiffrement vise à rendre les données incompréhensibles sans une clé de décryptage, la stéganographie se concentre sur la dissimulation discrète des données dans d'autres supports, comme les images, pour les rendre invisibles. Ce mémoire présente une étude approfondie des techniques de stéganographie appliquées aux images compressées au format JPEG à l'aide de la transformation (DCT). L'objectif est de dissimuler des messages secrets de manière imperceptible et robuste face aux attaques telles que la coympression, le bruit ou la transmission sur des canaux bruités. Nous développons une méthode basée sur l'insertion de bits dans certains coefficients DCT sélectionnés avec soin, suivie d'un encodage par Huffman et une transmission via un canal BSC simulé. La robustesse est ensuite renforcée par l'usage du décodage Viterbi. Des expérimentations sont menées pour évaluer la qualité visuelle (PSNR, SSIM), la résistance à la compression, et la capacité de récupération du message.

ABSTRACT :

Steganography and encryption are two essential approaches in the field of information security. While encryption aims to make data unreadable without a decryption key, steganography focuses on discreetly hiding data within other media, such as images, to make it invisible. This thesis presents an in-depth study of steganographic techniques applied to JPEG-compressed images using the Discrete Cosine Transform (DCT). The goal is to conceal secret messages in a way that is both imperceptible and robust against attacks such as compression, noise, or transmission over noisy channels. A method is developed based on inserting bits into carefully selected DCT coefficients, followed by Huffman encoding and simulated transmission over a Binary Symmetric Channel (BSC). Robustness is further enhanced using Viterbi decoding. Experiments are conducted to evaluate visual quality (PSNR, SSIM), resistance to compression, and the accuracy of message recovery.

الملخص:

مفهوم غير البيانات جعل إلى التشفير يهدف بينما. المعلومات أمن مجال في التقنيات أهم بين من والتشفير الستيجانوغرافيا تُعتبر هذا يقدم مرئية غير لجعلها كالصور أخرى وسائط داخل البيانات إخفاء على الستيجانوغرافيا تركز التشفير، لفك مفتاح بدون هو الهدف. (DCT) المتقطع الكوني التحويل باستخدام JPEG بصيغة المضغوطة الصور في الإخفاء لتقنيات معقدة دراسة البحث نقترح. مشوشة اتصالات قنوات عبر والنقل والضجيج، الضغط، مثل لهجمات ومقاومة محسوسة غير بطريقة سرية رسائل إخفاء قناة عبر النقل محاكاة ثم هوفمان، باستخدام ترميز عملية تليها بعناية، منتقاة DCT معاملات في البتات إدراج على تعتمد طريقة (PSNR، SSIM) الصورة جودة لتقييم تجارب أجريت. فيتيربي بطريقة الترميز فك باستخدام الصلابة تعزيز يتم. (BSC) متماثلة ثنائية الرسالة استرجاع ودقة الضغط، ومقاومة، (SSIM).

Mots clés / Keywords / الكلمات المفتاحية :

- **Français** : Stéganographie, DCT, JPEG, Huffman, canal BSC, Viterbi, PSNR, SSIM, sécurité de l'information.
- **English** : Steganography, DCT, JPEG, Huffman, BSC channel, Viterbi, PSNR, SSIM, information security.
- **العربية** : أمن، PSNR، SSIM، فيتيربي، خوارزمية، BSC قناة هوفمان، ترميز، JPEG صور، (DCT)، الستيجانوغرافيا، المعلومات.

SOMMAIRE

<i>Liste des figures</i>	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>7</i>
<i>Liste des abréviations.....</i>	<i>8</i>
<i>Introduction générale.....</i>	<i>9</i>
<i>Chapitre 1 : Introduction à la stéganographie d'images</i>	<i>0</i>
1.1 Introduction	1
1.2 Définition et historique de la stéganographie	1
1.2.1 Stéganographie linguistique.....	1
1.3 Principes fondamentaux de la stéganographie d'images.....	1
1.4 Structure d'une communication secrète.....	2
1.5 Techniques de stéganographie	3
1.5.1 Stéganographie spatiale.....	3
1.5.2 Stéganographie en domaine transformé	3
1.5.3 Stéganographie adaptative	4
1.6 Le format JPEG: Structure et compression	5
1.6.1 Transformation des couleurs	5
1.6.2 Sous-échantillonnage chromatique	5
1.6.3 Découpage en blocs de 8×8 pixels	14
1.6.4 Application de la DCT	14
1.6.5 Quantification	16
1.6.6 Codage entropique (RLE + Huffman)	17
1.7 Techniques de stéganographie utilisant la DCT.....	17
1.8 conclusion.....	19
<i>Chapitre 2: Analyse expérimentale des performances de la stéganographie JPEG basée sur la DCT</i>	<i>20</i>
2.1 Introduction:	21
2.2 Présentation de la plateforme utilisée :.....	21
2.3 Méthodologie de stéganographie JPEG-DCT adoptée	21
2.3.1 Insertion du message :	21
2.3.2 Sélection des blocs.....	22
2.3.3 Sélection des coefficients DCT pour l'insertion.....	22
2.3.4 Modification des bits des coefficients DCT	22
2.3.5 Transmission de données à travers un BSC.....	23
2.3.6 Evaluation des performances	23
2.4 Remarques.....	25
2.5 Résultats:.....	26
2.5.1 Methode aléatoire sans redondance	26
2.5.2 Methode adaptative sans redondance	64
2.5.3 Methode aléatoire avec redondance.....	83
2.5.4 Methode adaptative avec redondance	101
2.5.5 Methode aléatoire avec transmission sans correction Hamming.....	120
2.5.7 Methode aleatoire avec transmission avec correction Hamming.....	127
2.6 Conclusion	133
<i>Conclusion générale</i>	<i>190</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Illustration de la stéganographie par LSB	3
Tableau 1.2 : étude compaative des methodes de steganographie d'image	4
Tableau 2.1 Les paramètres du système.....	21
Tableau 2.2 : Performances pour image LENA Methode aléatoire sans redondance	26
Tableau 2.3 : Performances pour image CAMERAMAN methode aléatoire sans redondance	28
Tableau 2.4 : Performances pour image POIVRON Methode aléatoire sans redondance	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 2.5 : Performances pour image LENA methode adaptative sans redondance	64
Tableau 2.6 : Performances pour image CAMERAMAN methode adaptative sans redondance.....	66
Tableau 2.7 : Performances pour image POIVRON methode adaptative sans redondance.....	68
Tableau 2.8 : Performances pour image LENA methode aleatoire avec redondance	83
Tableau 2.9 : Performances pour image CAMERAMAN methode aleatoire avec redondance	85
Tableau 2.10 : Performances pour image POIVRON methode aleatoire avec redondance	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 2.11 : Performances pour image LENA Methode adaptative avec redondance	101
Tableau 2.12 : Performances pour image Cameraman Methode adaptative avec redondance	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 2.13 : Performances pour image Poivron Methode adaptative avec redondance	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 2.14 : Performances pour image Poivron avec transmission sans correction Hamming Methode	1120
Tableau 2.15 : Performances pour image Cameraman avec transmission Methode 1 sans correction hamming	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 2.16 : Performances pour image Cameraman avec transmission Methode 2 sans correction hamming	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 2.17 : Performances pour image Poivron avec transmission Methode 2 sans correction hamming	123
Tableau 2.18 : Performances pour image Poivron avec transmission Avec correction Hamming Methode 1	127
Tableau 2.19 : Performances pour image Cameraman avec transmission Avec correction Hamming Methode 1	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 2.20 : Performances pour image Cameraman avec transmission Avec correction Hamming Methode 2	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 2.21 : Performances pour image Poivron avec transmission Avec correction Hamming Methode 2	130

LISTE DES ABREVIATIONS

DCT : Discrete Cosine Transform (Transformée en Cosinus Discrète)

DFT : Discrete Fourier Transform (Transformée de Fourier Discrète)

DWT : Discrete Wavelet Transform (Transformée en Ondelettes Discrète)

HVS : Human Visual System (Système Visuel Humain)

CNN : Convolutional Neural Network (Réseau de Neurones Convolutifs)

JPEG : Joint Photographic Experts Group (Format de compression d'image)

LSB : Least Significant Bit (Bit de poids faible)

MSE : Mean Squared Error (Erreur Quadratique Moyenne)

PSNR : Peak Signal-to-Noise Ratio (Rapport Signal-Bruit de Crête)

SSIM : Structural Similarity Index (Indice de Similarité Structurale)

STC : Syndrome-Trellis Codes

SVM : Support Vector Machine (Machine à Vecteurs de Support)

HUGO : Highly Undetectable steGO (Algorithme de stéganographie adaptative)

RGB : Red Green Blue (Modèle de couleurs)

MSB : Most Significant Bit (Bit de poids fort – utilisé si 1er bit est modifié)

BER : Bit Error Rate (Taux d'erreur binaire)

SNR : Signal-to-Noise Ratio (Rapport signal sur bruit)

BSC : Binary Symmetric Channel (Canal binaire symétrique avec erreur p)

Q : Matrice de quantification JPEG

RLE : Run-Length Encoding

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans le contexte actuel de la communication numérique, la stéganographie offre une méthode discrète pour sécuriser les informations en dissimulant des messages dans des supports comme les images. Ce mémoire se concentre sur l'insertion de données dans les images JPEG en utilisant la transformation en cosinus discrète (DCT). Cette approche largement utilisée s'avère être à la fois efficace et difficile à détecter. Pour tester la robustesse de cette approche, plusieurs configurations sont testées. Nous accordons une attention particulière à la simulation d'une transmission à travers un canal binaire symétrique (binary symmetric channel : BSC) intégrant un code correcteur d'erreurs pour améliorer la récupération des messages après altération. Le codage de Hamming en est un parfait exemple. La problématique de la stéganographie se situe de nos jours à la croisée de plusieurs disciplines : l'électronique, les télécommunications et la cybersécurité. En tant qu'étudiants en ingénierie électrique, spécialisés en systèmes de télécommunications, ce travail représente une opportunité unique d'appliquer nos connaissances et nos compétences pour aborder une telle problématique.

Ce mémoire s'articule autour de deux grands chapitres:

- Le premier chapitre introduit les fondements de la stéganographie. Nous y retraçons l'historique de cette thématique et nous y définissons les principales formes présentées dans la littérature. Dans ce chapitre, nous décrivons les divers supports dédiés à la stéganographie et les principes clés qui garantissent l'efficacité de tels systèmes. Plus précisément, ce chapitre est consacré :
 - à la présentation des techniques d'insertion dans les coefficients DCT,
 - aux stratégies de sélection des bits porteurs d'information,
 - aux méthodes de codage de canal pour améliorer la robustesse vis à vis des erreurs susceptibles de se produire à la fois lors de la compression et lors de la transmission à travers un BSC
 - aux outils ou métriques d'évaluation objectifs des résultats d'insertion tels que : le rapport signal sur bruit de crête (peak signal to noise ratio : PSNR), le rapport signal sur bruit (signal to noise ratio : SNR) et l'indice de similarité structurelle (structural similarity index : SSIM).

Enfin, nous abordons, en dernière partie du chapitre, une introduction à la stéganalyse qui est la discipline dédiée à la détection et à la neutralisation des messages cachés.

- Le deuxième chapitre présente les résultats des nombreuses simulations réalisées. Nous y décrivons le processus d'insertion et d'extraction des messages. Nous donnons les paramètres choisis, les jeux de tests utilisés, ainsi que les résultats obtenus en termes de robustesse, de qualité visuelle et de taux de récupération du message après transmission bruitée.

À travers cette étude, nous cherchons à démontrer que l'utilisation conjointe de la DCT, de stratégies d'insertion ad-hoc et de codages correcteurs d'erreurs permet d'obtenir des résultats de stéganographie fiables, performants et adaptés aux environnements numériques modernes.

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION A LA STEGANOGRAPHIE D'IMAGES

1.1 INTRODUCTION

La stéganographie consiste à rendre des informations invisibles à tout observateur non averti. Contrairement au chiffrement qui protège le contenu d'un message, la stéganographie cache l'existence même du message. Elle trouve son application dans :

- **Protection des droits** : insertion de filigranes invisibles
- **Communication confidentielle** : échanges discrets dans des environnements surveillés
- **Authentification de contenu** : contrôle d'intégrité d'image

Ce chapitre introductif propose une exploration des origines de cette discipline, de ses différentes classifications ainsi que des techniques utilisés pour cacher l'information, en mettant particulièrement l'accent sur les images JPEG.

1.2 DEFINITION ET HISTORIQUE DE LA STEGANOGRAPHIE

La stéganographie d'images est une technique qui permet de cacher des informations dans une image de couverture de manière à ce que la présence du message reste indétectable à l'œil humain. Le terme "stéganographie" provient du grec "steganos" (caché) et "graphia" (écriture). Cette méthode, utilisée depuis l'antiquité par les grecs et les romains, a évolué avec le numérique et s'applique désormais aux images, à la vidéo et aux fichiers audio [2]. Nous distinguons principalement deux types de stéganographie :

1.2.1 STEGANOGRAPHIE LINGUISTIQUE

Cette approche est technique de dissimulation de messages en utilisant le langage. Son objectif est d'intégrer un message secret dans un texte ordinaire [3].

1.2.2 STÉGANOGRAPHIE TECHNIQUE

Ce type de stéganographie, particulièrement utilisé en informatique, consiste à dissimuler des informations secrètes dans un support numérique (image, audio, video) sans que celui-ci ne semble contenir de données sensibles. Le support servant à masquer l'information est communément appelé : stégo-médium [4].

1.3 PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA STEGANOGRAPHIE D'IMAGES

La stéganographie repose essentiellement sur les principes suivants qui garantissent son efficacité et sa sécurité :

1. **Imperceptibilité** : Le message caché ne doit produire ou entraîner aucun changement perceptible dans l'image de couverture. A titre d'exemple, la qualité visuelle de l'image stéganographiée doit être proche de celle de l'image originale, mesurée à l'aide de métriques comme le SNR, le PSNR et le SSIM [5].
2. **Capacité d'intégration** : il est important de garder à l'esprit que la quantité de données, qui peut être cachée dans une image, est limitée. Une bonne technique de stéganographie doit par conséquent maximiser cette capacité sans compromettre la qualité de l'image stéganographiée [5].
3. **Résistance aux attaques** : Une image stéganographiée doit être capable de résister aux attaques de détection et diverses manipulations telles que la compression, le bruit ou les transformations géométriques [6].
4. **Sécurité** : La méthode de stéganographie doit garantir qu'aucune personne non autorisée ne puisse détecter ou extraire le message sans connaître les paramètres clés de l'algorithme utilisé [6][7][8].

1.4 STRUCTURE D'UNE COMMUNICATION SECRETE

Le processus de dissimulation d'informations repose sur deux étapes essentielles :

1. **Insertion** : celle-ci consiste en l'intégration d'une information secrète dans un support numérique ou physique [1].
2. **Extraction** : celle-ci permet de récupérer l'information cachée à partir du support [1].

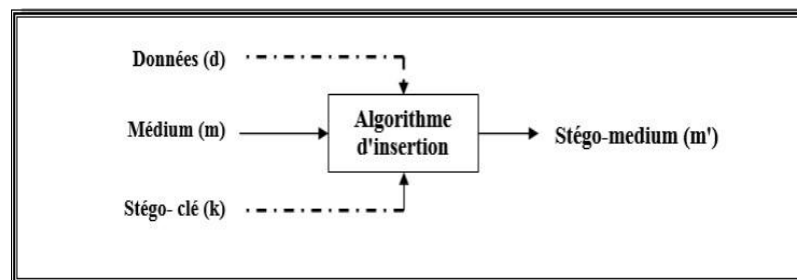


Figure 1.1 : Schéma de dissimulation des données dans un medium [1].

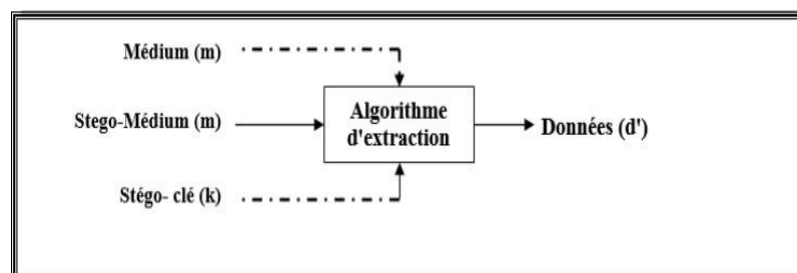


Figure 1.2 : Schéma d'extraction des données d'un medium [1].

1.5 TECHNIQUES DE STEGANOGRAPHIE

1.5.1 STEGANOGRAPHIE SPATIALE

Consiste à insérer un message secret directement dans les pixels de l'image hôte, sans transformation préalable. Voici les principales techniques utilisées dans ce domaine :

1. Méthode des bits de poids faible (LSB - Least Significant Bit)

Cette méthode insère les bits du message secret dans le ou les bits de poids faible des pixels de l'image. Étant donné que ces bits ont peu d'influence sur la valeur totale d'un pixel, la modification reste en général imperceptible à l'œil humaine [9][4].

(00100111 11101001 11001000)	(00100111 11101000 11001000)
(00100111 11001000 11101001)	(00100110 11001000 11101000)
(11001000 00100111 11101001)	(11001000 00100111 11101001)
Pixels originaux	Pixels avec la lettre à cachée

Tableau 1.1 : Illustration de la stéganographie par LSB [3].

2. Méthodes de masquage et filtrage

Ces méthodes s'inspirent de techniques utilisées dans le tatouage numérique. Elles consistent à masquer des informations dans les zones texturées ou peu sensibles de l'image, souvent à l'aide de filtres ou masques adaptatifs. Plus robustes mais nécessitent une connaissance précise de l'image [10][11].

3. LSB Matching

Dans cette variante du LSB, au lieu de remplacer directement le bit, la valeur du pixel est incrémentée ou décrétementée de 1 selon le bit du message, ce qui rend l'analyse statistique plus difficile [9].

4. Méthode de différence de valeurs de pixels (PVD - Pixel Value Differencing)

Cette méthode exploite la différence d'intensité entre des paires de pixels. Si la différence est grande (zone avec beaucoup de détails), on peut insérer plus de bits. Si la différence est faible (zone plate), on insère peu ou pas de données. Cela permet un bon compromis entre imperceptibilité et capacité d'insertion [12].

1.5.2 STEGANOGRAPHIE EN DOMAINE TRANSFORME

Nous citons ci-dessous les principaux domaines transformés dans lesquels est opérée la stéganographie [13]:

- Transformée de Fourier discrète (DFT)
- DCT
- Transformation en ondelettes discrète (DWT)

1.5.3 STÉGANOGRAPHIE ADAPTATIVE

La stéganographie adaptative est basée sur l'utilisation d'algorithmes qui adaptent la dissimulation de messages aux régions de l'image les plus adaptées. Les algorithmes suivants en seront des exemples : méthode de stéganographie hautement indétectable (highly undetectable steGO : HUGO) et la méthode syndrome-trellis codes (STC) [14].

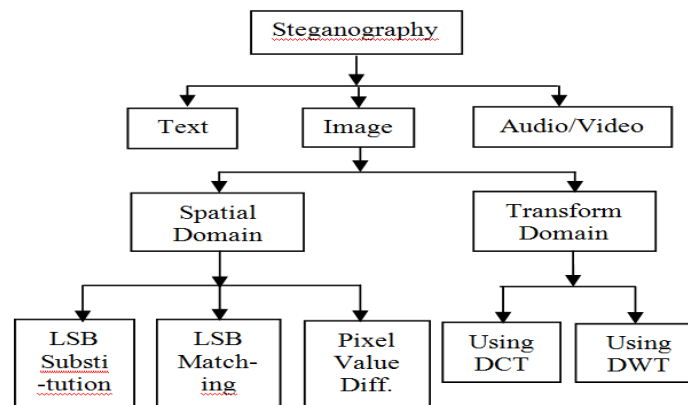


Figure 1.3: Sous-catégories de la stéganographie d'image, notamment les techniques LSB et DCT [11].

1.5.4 PERFORMANCES DES MÉTHODES DE STÉGANOGRAPHIE

Le tableau suivant résume pour certaines méthodes de stéganographie : le principe, les niveaux de performance, la robustesse ainsi que les avantages et les inconvénients [7][8].

Tableau 1.2 : étude comparative des méthodes de stéganographie d'image

Méthode de stéganographie	Année	Principe de fonctionnement	Couverture	Effet détectable	Niveau de robustesse	Résilience au traitement d'image	Les avantages	Les inconvénients
Différenciation des valeurs de pixel (PVD) [12]	2003	Les données secrètes sont intégrées dans les pixels intenses (identifiés par PVD) en modifiant légèrement leurs valeurs.	BMP	Faible	Modéré	Résistante sauf à la compression	Une méthode simple et efficace. Faible distorsion. Haute capacité.	Détectable par les techniques d'analyse statistique modernes. Limité en termes de type de photo de couverture pouvant être utilisée.
Transformation d'onde discrète (DWT) [14]	2008	Les données confidentielles sont incluses dans les haute fréquences DWT de l'image de couverture.	*	Faible	Haut	Haute	Résistant aux processus de traitement d'image courants.	Faible capacité Complexité de calcul.
DCT [13]	2014	Les données confidentielles sont incluses dans les paramètres DCT de haute fréquence.	*	Faible	Haut	Non-résistante au rognage, redimensionnement et à la compression.	Capacité moyenne. Haute qualité.	Augmentation de la taille de l'image stego. Difficulté de réalisation.
Substitution LSB-XOR [11]	2017	Exécute l'opération XOR entre le message secret et les LSB de l'image couverture.	*	Haut	Faible	Faible	La méthode est simple et facile à réaliser. Haute capacité.	Détectable par les méthodes de stéganalyse. Augmentation légère de la taille d'image stego.
Dissimulation aux bords détectés par l'apprentissage en profondeur. [15]	2021	Les informations secrètes sont intégrées dans les bords détectés par la technique d'apprentissage en profondeur.	*	Faible	Modéré	Modéré	Haute sécurité et capacité à travailler avec des images de différentes tailles.	Dégradation de la qualité d'image. Gourmands en ressource de calcul.

1.6 LE FORMAT JPEG: STRUCTURE ET COMPRESSION

Les méthodes de compression d'images impliquent généralement des opérations très spécifiques. Ces différentes opérations ont pour but d'éliminer les informations très peu perceptibles à l'œil humain de sorte à conserver *in fine* une assez bonne qualité visuelle. Le format JPEG est l'un des standards les plus largement adoptés concernant la compression des images numériques. D'une part, celui-ci assure la réduction de la taille des fichiers et d'autre part, il permet de garantir une qualité visuelle jugée suffisante par l'œil humain. La possibilité de parvenir à de telles performances est due à la compression de données avec pertes. En effet, de tels modèles utilisent en général des techniques permettant d'éliminer rationnellement les redondances visuelles peu perceptibles à l'œil humain. La méthode de compression JPEG, telle qu'illustrée dans la figure suivante, met en œuvre une architecture convenablement agencée englobant plusieurs étapes dont la plus significative est pour notre travail la DCT. Nous présentons dans la suite de paragraphe un bref aperçu sur ces étapes [15].

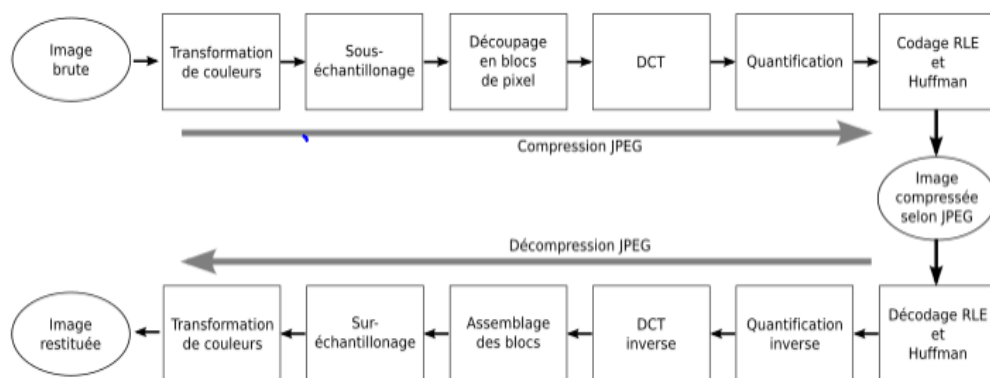


Figure 1.4 : Principales étapes de la compression JPEG [15].

1.6.1 TRANSFORMATION DES COULEURS

Le format JPEG est capable de coder tout format des couleurs. Cependant, les meilleurs taux de compression sont atteints avec des codages basés sur la luminance et la chrominance, car l'œil humain est particulièrement sensible aux variations de luminance. (niveau de luminosité) qu'à la chrominance dans une image. Pour tirer parti de cette propriété, l'algorithme commence par convertir l'image d'origine depuis son espace colorimétrique initial. (généralement RVB pour rouge-vert-bleu (red green blue : RGB)) vers le modèle chrominance/luminance YCbCr. Dans ce modèle, Y est la luminance, Cb et Cr sont les informations de chrominance c'est à dire les composantes chromatiques bleu-jaune et rouge-vert, respectivement égale à B moins Y et R moins Y [19].

1.6.2 SOUS-ECHANTILLONNAGE CHROMATIQUE

Cette étape consiste en la conversion de l'image du modèle de couleur RGB vers l'espace YCbCr.

Puisque l'œil humain est plus sensible aux variations de la luminance qu'à celles de la chrominance, les composantes **Cb** et **Cr** sont généralement sous-échantillonnées par exemple en 4:2:0. Cette action a pour objectif de réduire la quantité de données sans altérer visiblement l'image.

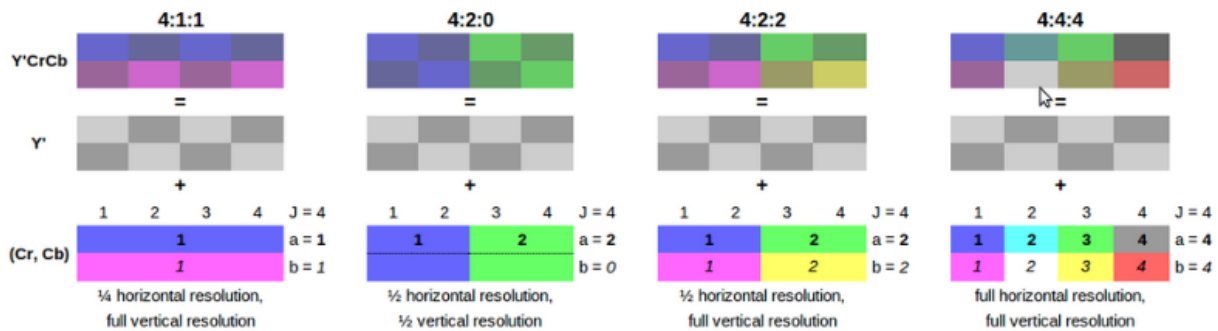


Figure 1.5 : Illustration des différents types de sous-échantillonnage [34].

Plus généralement, le principe de cette opération est la réduction de la taille des blocs de chrominance en un bloc unique. Le même traitement est appliqué aux blocs Cb et blocs Cr, tandis que les blocs de luminance Y ne sont pas changés. Le sous-échantillonnage peut être réalisé selon différents modes. La notation « $J:a:b$ » est spécifiée pour le type de mode utilisé dans une opération de compression où :

- J est la largeur de la plus petite matrice de pixels considérée généralement égale à 4
- a est le nombre de composantes de chrominance dans la première ligne
- b est le nombre de composantes de chrominance dans la deuxième ligne

Nous présentons maintenant quelques modes

- Cas 4:4:4 : il correspond à l'absence d'application de sous-échantillonnage.
- Cas 4:2:2 : il correspond à un sous-échantillonnage qui réduit 1/2 de la taille des blocs Cb/Cr. Pour cela, nous calculons la valeur moyenne de chrominance de deux pixels voisins horizontalement.
- Cas 4:2:0 : Dans ce cas la moyenne de la chrominance de quatre pixels adjacents est calculée et enregistrée dans le bloc généré par le sous-échantillonnage. Ces pixels adjacents forment des blocs carrés de 2×2 pixels. Le sous-échantillonnage 4:2:0 introduit ainsi une réduction verticale en plus de la réduction horizontale propre au mode 4:2:2, entraînant une division par 4 de la taille des blocs Cb et Cr.
- Cas 4:1:1 : ce dernier cas est rare en compression JPEG. Il est plutôt appliqué dans des applications vidéo telles que les formats NTSC DV, DVCAM, DVCPRO. Ce sous-échantillonnage permet de diminuer la taille des images, mais il engendre une perte d'information irréversible, qui ne peut être récupérée lors du décodage. À la fin de cette étape, les données sont organisées en blocs de coefficients Y, Cb et Cr, avec un nombre de blocs Cb et Cr équivalant à un quart, la moitié ou la totalité des blocs Y, selon le type de sous-échantillonnage utilisé. [20] [21].

1.6.3 DÉCOUPAGE EN BLOCS DE 8×8 PIXELS

L'image est ensuite divisée en blocs de 8×8 pixels, sur lesquels les traitements ultérieurs seront appliqués. Ce découpage permet une transformation et un codage localisés, facilitant l'analyse fréquentielle et la compression. L'image est divisée en blocs de 64 sous-pixels (8 × 8). Comme la luminance n'est pas sous-échantillonnée, chaque bloc représente directement 8 × 8 pixels de l'image d'origine. En revanche, pour la chrominance, selon le type de sous-échantillonnage utilisé, un bloc peut correspondre à une zone de 8 × 8, 16 × 8 ou 16 × 16 pixels dans l'image d'origine (dans le cas d'une image en couleur). [16].

1.6.4 APPLICATION DE LA DCT

La DCT est donnée par l'équation suivante :

$$DCT(i, j) = \frac{2}{N} C(i) C(j) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} \text{pixel}(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)j\pi}{2N} \right]$$

La DCT inverse est quant à elle donnée par l'équation suivante :

$$\text{pixel}(x, y) = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} C(i) C(j) DCT(i, j) \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)j\pi}{2N} \right]$$

où les coefficients $C(\bullet)$ sont donnés par :

$$C(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{pour } x = 0 \\ 1 & \text{pour } x > 0 \end{cases}$$

Dans le cadre de la compression, chaque bloc de 8×8 pixels subit une DCT. Celle-ci permet de passer du domaine spatial au domaine fréquentiel. Cette transformation génère un tableau de coefficients, où :

- les coefficients de basse fréquence, situés en haut à gauche, contiennent l'information visuelle principale : les basses fréquences composent les données majeures présentes dans une image,
- les coefficients de haute fréquence, situés en bas à droite, contiennent des détails qui ont la propriété d'être assez fins et très souvent imperceptibles à l'œil humain : les hautes fréquences caractérisent les zones à fort contraste. C'est sur celles-ci que la compression s'effectuera car ces données sont moins visibles.

Les coefficients DCT sont classés comme suit :

- DC : moyenne du bloc
- AC : les autres coefficients, porteurs de détail

Leur modification va être exploitée pour l'insertion discrète d'informations. La figure suivante présente la répartition dans un bloc 8×8 des coefficients DCT: le DC est situé au coin supérieur gauche et les AC sont situés dans le reste du bloc.

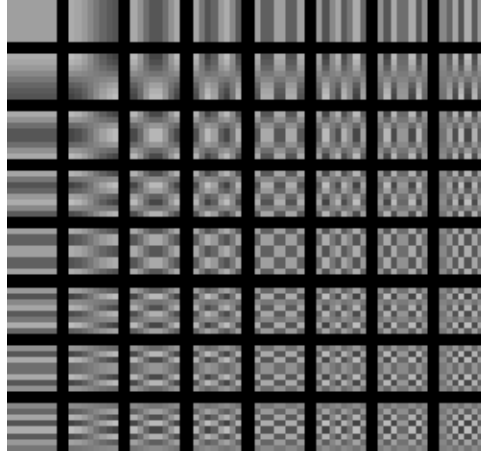


Figure 1.6: Répartition des coefficients DCT: DC (coin supérieur gauche), AC (autres coefficients)[32][33].

La DCT facilite l'opération de compression en regroupant l'énergie de l'image dans un petit nombre de coefficients significatifs. L'application de la DCT est, en théorie, réversible sans perte d'information, puisque les coefficients d'origine peuvent être récupérés via la DCT inverse. Cependant, en pratique, de légères pertes peuvent survenir à cause des erreurs d'arrondi lors des calculs. Par ailleurs, le calcul de la DCT constitue l'étape la plus coûteuse en temps et en ressources dans le processus de compression et de décompression JPEG, mais c'est très importante car elle permet de séparer les basses fréquences et les hautes fréquences d'image. Nous illustrons à présent l'application de la DCT sur une matrice 8×8 [20] [15] [16] [19]. Pour cela nous considérons la matrice suivante :

$$f = \begin{bmatrix} 139 & 144 & 149 & 153 & 155 & 155 & 155 & 155 \\ 144 & 151 & 153 & 156 & 159 & 156 & 156 & 156 \\ 150 & 155 & 160 & 163 & 158 & 156 & 156 & 156 \\ 159 & 161 & 162 & 160 & 160 & 159 & 159 & 159 \\ 159 & 160 & 161 & 162 & 162 & 155 & 155 & 155 \\ 161 & 161 & 161 & 161 & 160 & 157 & 157 & 157 \\ 162 & 162 & 161 & 163 & 162 & 157 & 157 & 157 \\ 162 & 162 & 161 & 161 & 163 & 158 & 158 & 158 \end{bmatrix}$$

L'application de la DCT produit le résultat suivant :

$$F = \begin{bmatrix} 236 & -1 & -12 & -5 & 2 & -2 & -3 & 1 \\ -23 & -17 & -6 & -3 & -3 & 0 & 0 & -1 \\ -11 & -9 & -2 & 2 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ -7 & -2 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 2 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 2 & 0 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 2 & 1 & -1 \\ -3 & 2 & -4 & -2 & 2 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

1.6.5 QUANTIFICATION

Les coefficients DCT obtenus sont divisés par une matrice dite de quantification préalablement définie au niveau du codeur. Par la suite, le résultat de la division est arrondi à l'entier le plus proche. Cette étape réduit la précision des valeurs, en particulier elle permet d'atténuer les hautes fréquences c'est-à-dire les fréquences auxquelles l'œil humain est moins sensible (les hautes fréquences sont considérées comme moins importantes visuellement). Plus précisément, Ces fréquences présentent de faibles amplitudes, qui sont davantage réduites lors de l'étape de quantification. D'ailleurs, certains coefficients sont même souvent ramenés à 0. Ces observations suggèrent, malheureusement, la quantification comme la principale source de perte dans le JPEG. En effet, la quantification est l'étape de l'algorithme de compression au cours de laquelle se produit la majeure partie de la perte d'information et par conséquent la dégradation de la qualité visuelle. Cependant, la quantification permet ce faisant une réduction significative de la taille donnée. En effet, elle permet de gagner un nombre assez important de place mémoire. Nous soulignons au passage que la DCT, contrairement à la quantification, n'est pas une opération de compression [17].

Le calcul qui permet la quantification est le suivant :

$$F^*(u, v) = \left\lfloor \frac{F(u, v) + \left\lfloor \frac{Q(u, v)}{2} \right\rfloor}{Q(u, v)} \right\rfloor \cong \text{entier le plus proche} \left(\frac{F(u, v)}{Q(u, v)} \right)$$

Comme le montre l'exemple ci-dessous :

- La quantification réduit de nombreux coefficients à zéro, surtout ceux situés en bas à droite dans la matrice c'est à dire là où se concentrent les hautes fréquences
- Seules les informations les plus importantes, concentrées dans le coin supérieur gauche du bloc, sont conservées pour le représenter.

Cela entraîne une augmentation significative de la redondance des données présentes dans le bloc, la longue suite de zéros nécessitera très peu de place. Cependant, si la quantification est exagérée, c'est à dire avec Un taux de compression trop élevé entraîne une réduction excessive du nombre de coefficients non nuls, ce qui nuit à la représentation fidèle du bloc. Ce problème se manifeste lors du décodage pour l'affichage, où la structure en blocs devient perceptible à l'écran, donnant à l'image un effet de « pixellisation ». Pour illustrer ce propos, nous considérons la matrice de quantification suivante et nous montrons son effet sur la matrice des fréquences quantifiées. En effet, avec la matrice de quantification suivante :

$$Q = \begin{bmatrix} 16 & 11 & 10 & 16 & 24 & 40 & 51 & 61 \\ 12 & 12 & 14 & 19 & 26 & 58 & 60 & 55 \\ 14 & 13 & 16 & 24 & 40 & 57 & 69 & 56 \\ 14 & 17 & 22 & 29 & 51 & 87 & 80 & 62 \\ 18 & 22 & 37 & 56 & 68 & 109 & 103 & 77 \\ 24 & 35 & 55 & 64 & 81 & 104 & 113 & 92 \\ 49 & 64 & 78 & 87 & 103 & 121 & 120 & 101 \\ 72 & 92 & 95 & 98 & 112 & 100 & 103 & 99 \end{bmatrix}$$

nous obtenons la matrice des fréquences quantifiées suivante :

$$F^* = \begin{bmatrix} 15 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

1.6.6 CODAGE ENTROPIQUE (RLE + HUFFMAN)

Enfin, les coefficients quantifiés sont linéarisés en zigzag puis compressés à l'aide :

- du codage par plage ou RLE (run-length encoding) pour éliminer les zéros consécutifs,
- et du codage d'Huffman qui est une méthode de compression sans pertes attribuant aux symboles les plus fréquents des mots de codes les plus courts et inversement [16].

Le codage suit un parcours en zigzag, comme illustré dans la figure ci-dessous, et se conclut par un symbole de fin.

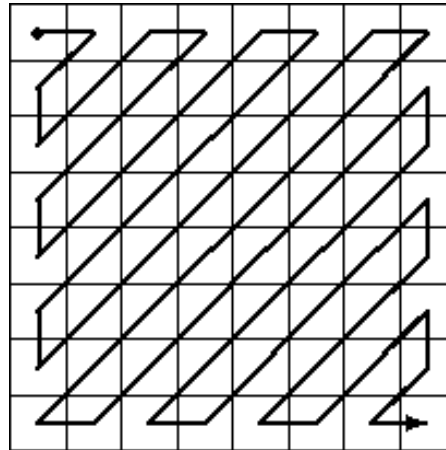


Figure 1.7 : Ordre de codage défini par la norme JPEG [15].

Ce résultat est ensuite compressé selon un algorithme RLE basé sur la valeur 0, puis un codage entropique de type Huffman ou arithmétique.

1.7 TECHNIQUES DE STEGANOGRAPHIE UTILISANT LA DCT

D'une manière générale, dans le domaine fréquentiel, l'insertion est généralement effectuée dans les coefficients AC en évitant le coefficient DC afin de limiter la dégradation visuelle. Dans ce paragraphe, nous présentons très succinctement quelques techniques de stéganographie basées sur l'utilisation de la DCT :

- **Méthodes classiques :**

- LSB : insertion du message dans le bit de poids faible des coefficients AC non nuls [10].
- Méthode F5 : réduction du biais de détection en utilisant un codage par syndrome [14].
- JSteg : insertion des bits du message dans les LSB des coefficients AC sans zero [18].

- **Méthodes avancées :**

- Modulation par blocs [24] [25].
- Codage par syndrome [26] [27].

Les techniques de stéganographie utilisant la DCT présente des avantages et des inconvénients que nous listons ci-après (liste non exhaustive) :

- **Avantages :**

- Insertion directe dans le JPEG (pas besoin de recompression)
- Robustesse modérée
- Bonne imperceptibilité (si coefficients bien choisis) [1] [6].

- **Limitations :**

- Capacité réduite (1 à 2 bits/bloc) [22] [1].
- Fragilité aux transformations lourdes (recompression forte) [23].

La figure suivante illustre un exemple d'insertion de données secrètes dans les coefficients AC d'un bloc DCT.

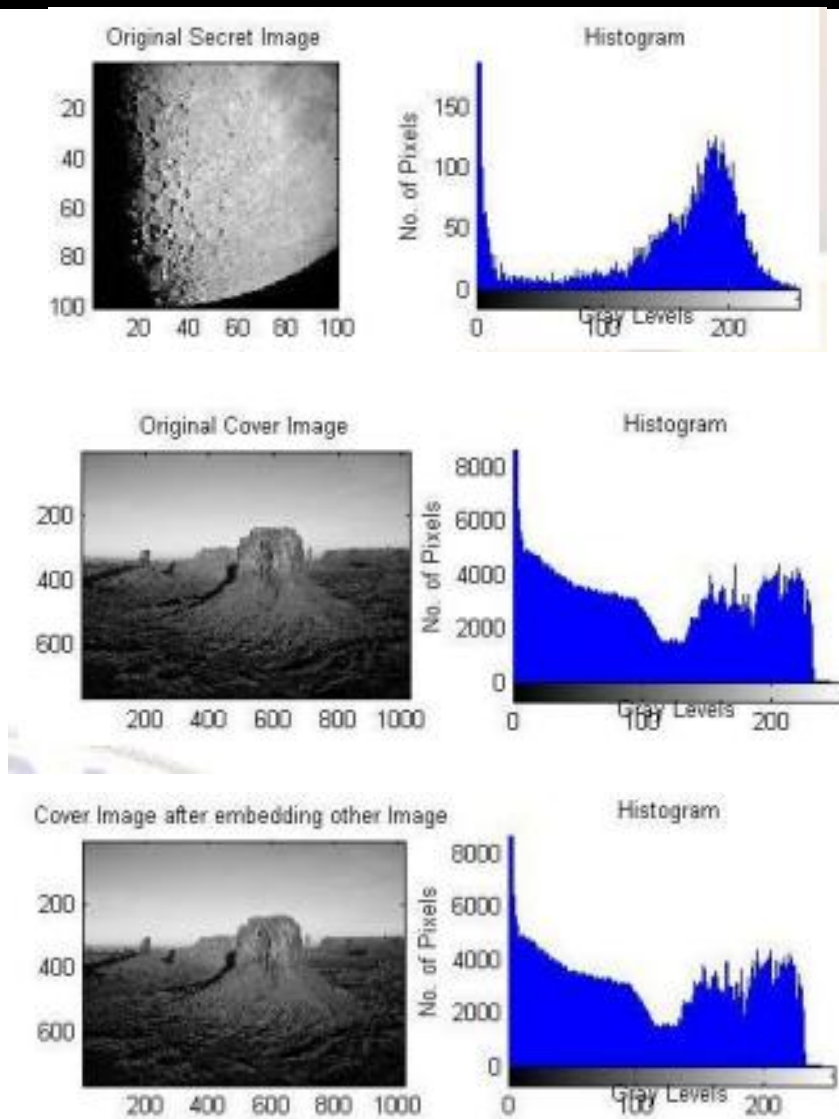


Figure 1.8 : Illustration de l'insertion de données secrètes dans les coefficients AC d'un bloc DCT [7]

1.8 CONCLUSION

Ce chapitre nous avons introduit la stéganographie comme une technique de dissimulation d'informations et les fondements de la stéganographie dans le domaine DCT, Son intégration dans le format JPEG, ainsi que les différentes approches utilisées. Il a mis en évidence les choix de codage et de sélection de coefficients, les performances Possibles et les limites de ces méthodes. Le chapitre suivant explorera les méthodes expérimentales et les résultats d'étude des performances d'un système de stéganographie appliqué à l'image dans le format JPEG basée sur la DC

CHAPITRE 2: ANALYSE EXPERIMENTALE DES PERFORMANCES DE LA STEGANOGRAPHIE JPEG BASEE SUR LA DCT

2.1 INTRODUCTION

Ce chapitre présente les méthodes expérimentales mises en œuvre ainsi que les résultats obtenus dans le cadre de l'étude des performances d'un système de stéganographie appliqué à l'image JPEG basé sur l'utilisation de la DCT. Les principaux objectifs sont l'évaluation :

- de la qualité de restitution du message,
- de la qualité visuelle des images stéganographiées
- de la robustesse des différentes configurations testées.

Pour cela, nous considérons un message binaire de taille K codé par l'algorithme d'Huffman qui permet une réduction de la taille effective à insérer. Ce codage est basé sur la fréquence d'apparition des symboles, augmentant ainsi la capacité de dissimulation sans compromettre la qualité visuelle. Pour les besoins de notre approche, le message, ainsi obtenu, est codé ou non par un codage de canal en bloc linéaire de type Hamming par exemple. Le résultat obtenu *in fine* est inséré dans les coefficients DCT des blocs JPEG selon plusieurs stratégies. Enfin, une attention particulière est accordée à la possible transmission de la séquence obtenue à travers un canal BSC.

2.2 PRESENTATION DE LA PLATEFORME UTILISEE

Pour l'analyse de performance système de stéganographie basée sur DCT d'une image JPEG, nous avons utilisé la configuration matérielle et logicielle suivante :

TABEAU 2.1 : Les paramètres du système.

Processeur	Intel(R) Celerons (R) CPU N2840 @ 216GHz 2.16GHz
Fabricant	Intel
Nombre de coeurs	2GHZ
Mémoire	4,00 Go
Système d'exploitation	Microsoft Windows 10 professionnel
Taille	64 bits
Environnement	Matlab R2013a

2.3 METHODOLOGIE DE STEGANOGRAPHIE JPEG-DCT ADOPTEE

Dans notre approche expérimentale, la stéganographie est réalisée dans le domaine fréquentiel en modifiant les bits d'un ou de plusieurs coefficients DCT des blocs JPEG considérés. Nous décrivons ci-après les principales étapes suivies dans notre travail.

2.3.1 INSERTION DU MESSAGE

Le message binaire initial, de taille K bits, est codé à l'aide de l'algorithme d'Huffman. Deux scénarios sont ensuite considérés :

- *Sans redondance* : insertion directe du message compressé.
- *Avec redondance* :
 - codage en bloc linéaire de type Hamming (7,4) appliqué au message initial de taille K pour obtenir un nouveau message de taille N
 - insertion du message de taille N.

Le codage de Hamming est utilisé pour garantir une meilleure restitution en présence d'erreurs.

2.3.2 SELECTION DES BLOCS

Pour la mise en œuvre de la procédure d'insertion, la sélection des blocs 8×8 dans l'image hôte se fait selon deux stratégies :

- *Méthode aléatoire* : La sélection, des K ou des N blocs des coefficients DCT, se fait de manière aléatoire dans le domaine fréquentiel.
- *Méthode adaptative* : Dans cette méthode, pour pouvoir choisir les K ou les N blocs des coefficients DCT, nous sélectionnons les blocs correspondants ou associés, dans le domaine spatial, qui présentant la plus grande variance. En fait il s'agit de sélectionner les blocs les plus texturés.

Après la sélection des blocs, l'opérateur envoie la séquence, des blocs sélectionnés, au récepteur pour pouvoir refaire les opérations inverses.

2.3.3 SELECTION DES COEFFICIENTS DCT POUR L'INSERTION

Pour chaque bloc retenu, plusieurs stratégies sont retenues pour l'insertion:

- Modification du coefficient en position (4,4)
- Modification de tous les coefficients situés dans le sous-bloc (3:5,3:5).
- Modification d'un seul coefficient choisi aléatoirement dans ce même sous-bloc.
- Modification de tous les coefficients sauf le coefficient DC.

2.3.4 MODIFICATION DES BITS DES COEFFICIENTS DCT

Une fois que nous avons pu sélectionner un ou plusieurs coefficients DCT, nous allons procéder à :

- la modification du LSB
- la modification de l'avant dernier LSB
- la modification du LSB et de l'avant dernier LSB
- la modification du 1^{er} bit : Il est bien entendu clair que la modification de ce bit ne peut qu'aboutir à de mauvaises performances. Néanmoins, celle-ci est abordée dans un souci de comparaison entre les différentes méthodes.

Les coefficients DCT modifiés sont ensuite quantifiés à l'aide de quatre matrices de quantification JPEG :

- **Q90** : représente une compression très faible, conservant une **qualité d'image élevée**.
- **Q75** : correspond à la **qualité standard** utilisée par défaut dans de nombreuses applications JPEG.
- **Q60** : applique une **compression plus forte**, réduisant davantage la taille mais avec une dégradation perceptible de la qualité
- **Q50** : offre un **taux de compression élevé**, au détriment d'une **perte de qualité visuelle plus importante**.

2.3.5 TRANSMISSION DE DONNEES A TRAVERS UN BSC

Une fois les données linéarisées en zigzag et codées avec le codage RLE puis Huffman, nous envisageons une transmission à travers un canal binaire symétrique (BSC) avec des probabilités d'erreur $p \in \{0.01, 0.05, 0.1, 0.15\}$. Dans ce but, un codage de canal en bloc linéaire de type Hamming est envisagé.

2.3.6 EVALUATION DES PERFORMANCES

Les performances sont évaluées selon plusieurs indicateurs :

- PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) : pour la mesure de la qualité visuelle.
- BER (Bit Error Rate) : pour la mesure du taux d'erreur de restitution du message.
- Évaluation visuelle et comparaison d'histogrammes : pour mesurer l'imperceptibilité.

Dans le cadre de cette étude, trois images standards ont été utilisées pour évaluer les performances des techniques d'insertion et d'extraction d'informations cachées à travers la transformée en cosinus discrète (DCT) et différentes matrices de quantification JPEG. Toutes les images ont été converties en **niveaux de gris** (grayscale) afin d'uniformiser le traitement et simplifier l'analyse.

1. Image Lena

- Dimensions : **250 × 250 pixels**
- Type d'origine : **RGB (24 bits)**
- Taille : **113 Ko**
- Format : **PNG**
- Utilisée principalement dans la recherche en traitement d'image, l'image Lenna est réputée pour son contenu équilibré en textures, détails fins et zones uniformes.

2. Image Cameraman

- Dimensions : **256 × 256 pixels**
- Type d'origine : **Grayscale (8 bits)**
- Taille : **64 Ko**
- Format : **TIF**

- Très utilisée dans les tests de traitement d'images en raison de ses contrastes nets et de sa simplicité visuelle.

3. Image Peppers

- Dimensions : **512 × 384 pixels**
- Type d'origine : **RGB (24 bits)**
- Taille : **288 Ko**
- Format : **PNG**
- Image riche en couleurs et textures (convertie ici en niveaux de gris), elle permet de tester les algorithmes sur des contenus plus complexes.

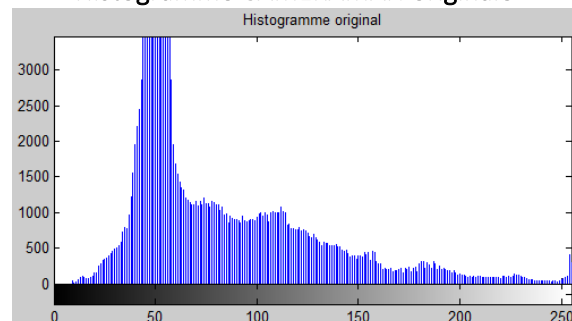
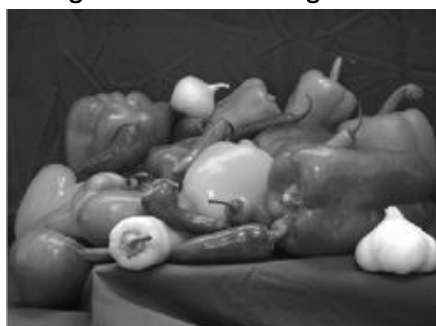
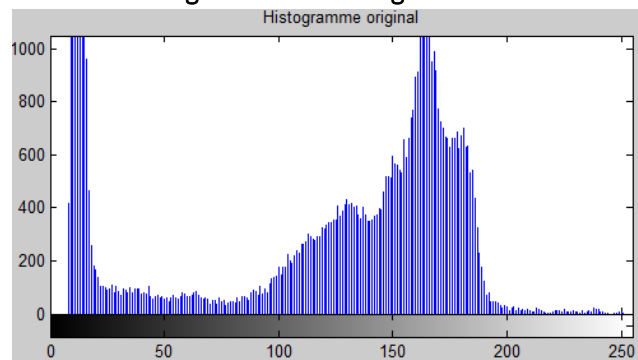
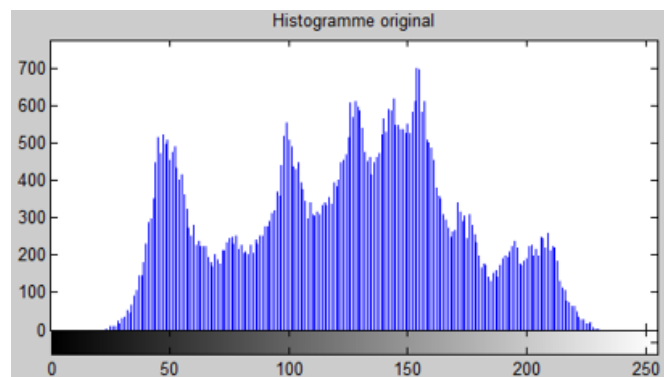


image POIVRON originale

Histogramme POIVRON originale

Figure 2.1 presentation des images originales utilisées et leurs histogrammes de niveaux de gris

2.4 REMARQUES

Pour la présentation des résultats « IMAGE », nous allons :

- Dans un premier temps présenter pour mieux quantifier le volume du travail fourni, tous les résultats obtenus avec l'image « LENA » lors de la 1^{ère} phase de simulation et uniquement les histogrammes pour Q50 et Q90 pour alléger la lecture du rapport
- Ensuite, toujours dans le souci d'alléger la lecture du mémoire, nous allons nous contenter uniquement de la présentation de quelques résultats « NOM IMAGE » obtenus » lors de la 1^{ère} phase de simulation. En effet, à titre d'exemple : Si pour Q50 et Q60 nous obtenons de mauvais résultats et pour Q75 et Q90 nous obtenons de bons résultats alors il suffit de présenter uniquement les résultats « NOM IMAGE » pour Q60 et Q75.
- Par la suite, nous allons présenter que quelques résultats (sans les histogrammes). Les tableaux présentés dans la suite résument tous les résultats obtenus.
- Pour les résultats de transmissions nous allons présenter uniquement les résultats obtenus avec l'image « POIVRON » pour uniquement les méthodes de modification de tous les coefficients DCT sauf DC et de modification du coefficient DCT (4,4).

2.5 RESULTATS

2.5.1 METHODE ALEATOIRE SANS REDONDANCE

TABLEAU 2.2 : Performances pour image LENA Methode aléatoire sans redondance

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
							X
Taille du message incrusté							94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
							X
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.00	Oui	37.2884	Moyenne	moyen
		Q60	0.00	Oui	37.9796	Bonne	Bon
		Q75	0.00	Oui	39.6085	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	44.0691	Très Bonne	Très Bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	37.2792	Moyenne	moyen
		Q60	0.00	Oui	37.9677	Bonne	Bon
		Q75	0.00	Oui	39.581	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	43.9777	Très Bonne	Très Bon
	LSB et avant	Q50	0.00	Oui	37.2733	Moyenne	Moyen
		Q60	0.00	Oui	37.9618	Bonne	Bon
		Q75	0.00	Oui	39.5728	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	43.915	Très Bonne	Très Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	37.2579	Très Mauvaise	Très Mauvais
		Q60	0.00	Oui	37.9399	Mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	39.5291	Mauvaise	Mauvais
		Q90	0.00	Oui	43.7006	Acceptable	Acceptable
Modification bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	35.1757	Moyenne	Moyen
		Q60	0.00	Oui	37.8889	Bonne	Bon
		Q75	0.00	Oui	39.5753	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	44.0964	Bonne	Bon
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	37.0671	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	37.7619	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	39.4278	Moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	43.974	Bonne	Bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	37.1995	Moyenne	Moyen
		Q60	0.00	Oui	37.885	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	39.5019	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	44.011	Bonne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	36.8802	Très Mauvaise	Très Mauvais
		Q60	0.00	Oui	37.5096	Mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	38.9476	Mauvaise	Mauvais
		Q90	0.00	Oui	42.2802	Mauvaise	Mauvais

TABLEAU 2.2 : Performances pour image LENA Methode aléatoire sans redondance (suite)

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
							X
Taille du message incrusté							94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
							X
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.00	Oui	33.6082	mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	34.5041	moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	36.5232	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	41.1998	Tres bonne	Tres bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	33.2986	mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	34.2439	moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	36.3725	moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	41.136	Bonne	Bonne
	LSB et avant	Q50	0.00	Oui	32.8208	moyenne	Moyen
		Q60	0.00	Oui	33.8942	moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	36.1572	Bonne	Bonne
		Q90	0.00	Oui	41.0021	Bonne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	- 40.0738	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	- 38.408	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q75	0.00	Oui	- 34.5249	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q90	0.00	Oui	- 26.2974	Tres mauvaise	Tres mauvais
Modification au hasard des coefficients (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	32.6578	acceptable	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	33.7238	bonne	Bon
		Q75	0.00	Oui	36.0048	Tres bonne	Tres bon
		Q90	0.00	Oui	40.964	Tres bonne	Tres bon
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	30.4855	mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	31.8756	mauvaise	mauvais
		Q75	0.00	Oui	34.6903	moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	40.2276	Tres bonne	Tres bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	28.2997	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	29.9218	mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	33.1013	moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	39.2578	bonne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-51.0018	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	-49.0416	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q75	0.00	Oui	-45.0685	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q90	0.00	Oui	-37.194	Tres mauvaise	Tres mauvais

Ce tableau montre que la qualité visuelle et le PSNR augmentent avec la qualité de la matrice Q. La modification de tous les coefficients sauf le DC donne de très bons résultats visuels avec Q90. Les autres méthodes montrent également une robustesse satisfaisante. Les modifications localisées comme (4,4) ou (3:5,3:5) préservent l'imperceptibilité. En revanche, les insertions sur le premier bit sont fortement déconseillées en raison de leur impact visuel négatif.

TABLEAU 2.3 :Performances pour image CAMERAMAN methode aléatoire sans redondance

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui		Non		
					X		
Taille du message incrusté					94 bits		
Canal binaire symétrique			Oui		Non		
					X		
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.00	Oui	35.9322	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	36.458	Moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	37.9488	Bonne	Bonne
		Q90	0.00	Oui	42.8784	Bonne	Bonne
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	35.9266	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	36.4502	Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	37.9284	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	42.8132	Bonne	Bonne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	35.9239	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	36.4474	Moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	37.9233	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	42.7636	Bonne	Bonne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	35.9085	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	36.4283	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	37.8888	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	42.6032	Tres mauvaise	Tres mauvaise
Modification bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	35.8411	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	36.3988	Moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	37.9378	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	42.9023	Bonne	Bonne
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	35.7631	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	36.3198	Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	37.8198	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	42.8032	Bonne	Bonne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	35.8418	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	36.3983	Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	37.8881	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	42.8178	Bonne	Bonne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	35.6461	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	36.1259	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	37.469	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	41.4877	Tres mauvaise	Tres mauvaise

TABLEAU 2.3 : Performances pour image CAMERAMAN methode aléatoire sans redondance (suite)

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui			Non	
						X	
Taille du message incrusté						94 bits	
Canal binaire symétrique			Oui			Non	
						X	
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.00	Oui	31.579	mauvaise	mauvaise
		Q60	0.00	Oui	32.5107	moyenne	moyenne
		Q75	0.00	Oui	34.5933	Bonne	Bonne
		Q90	0.00	Oui	39.9493	Tres bonne	Tres bonne
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	31.4141	Mauvaise	mauvaise
		Q60	0.00	Oui	32.3316	Moyenne	moyenne
		Q75	0.00	Oui	34.496	Moyenne	moyenne
		Q90	0.00	Oui	39.9083	Bonne	Bonne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	31.1716	Moyenne	moyenne
		Q60	0.00	Oui	32.1654	Moyenne	moyenne
		Q75	0.00	Oui	34.3605	Bonne	Bonne
		Q90	0.00	Oui	39.8241	Bonne	Bonne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-40.251	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	-38.1499	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	-34.778	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	-26.3888	Tres mauvaise	Tres mauvaise
Modification au hasard des coefficients (3:5,3:5) du blocs	LSB	Q50	0.00	Oui	30.9616	Moyenne	Moyenne
		Q60	0.00	Oui	32.007	Acceptable	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	34.2564	Bonne	Bonne
		Q90	0.00	Oui	39.7665	Bonne	Bonne
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	29.3673	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	30.6792	Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	33.3408	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	39.2408	Bonne	Bonne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	27.6025	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	29.0359	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	32.1195	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	38.3838	Bonne	Bonne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-51.0018	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	-49.0416	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	-45.0685	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	-37.3579	Tres mauvaise	Tres mauvaise

Les résultats sont cohérents avec ceux de Lena. Les insertions LSB donnent de bons PSNR, particulièrement avec les matrices de haute qualité. Les méthodes ciblant des blocs spécifiques (comme (3:5,3:5)) affichent une imperceptibilité moyenne à bonne. L'utilisation du premier bit continue à produire des résultats de très mauvaise qualité, rendant cette méthode inappropriée même en faible compression.

TABLEAU 2.4 : Performances pour image POIVRON Methode aléatoire sans redondance

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
							X
Taille du message incrusté							94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
							X
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme Visuelle
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.00	Oui	41.7884	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.553	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	44.0663	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	47.6222	Tres Bonne	Tres Bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	41.7794	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.541	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	44.0416	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	47.556	Bonne	Bon
	LSB et avant	Q50	0.00	Oui	41.7754	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.5362	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	44.0317	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	47.5066	Tres Bonne	Tres Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	41.7599	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.5132	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q75	0.00	Oui	43.9904	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q90	0.00	Oui	47.359	Tres mauvaise	Tres mauvais
Modification bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	41.7045	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.4954	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	44.0513	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	47.6364	Bonne	Bon
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	41.5678	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.3378	Mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	43.9018	Moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	47.5518	Bonne	Bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	41.6789	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.4651	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	43.9985	Moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	47.567	Bonne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	41.4019	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.0979	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q75	0.00	Oui	43.4363	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q90	0.00	Oui	46.181	Tres mauvaise	Tres mauvais

TABLEAU 2.4 : Performances pour image POIVRON Methode aléatoire sans redondance (suite)

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
							X
Taille du message incrusté							94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
							X
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme Visuelle
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.00	Oui	38.6316	bonne	Bon
		Q60	0.00	Oui	39.4405	Tres bonne	Tres bon
		Q75	0.00	Oui	41.1253	Tres bonne	Tres bon
		Q90	0.00	Oui	44.8182	Tres bonne	Tres bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	38.3162	mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	39.1955	moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	40.9815	moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	44.7641	bonne	Bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	37.8581	moyenne	Moyen
		Q60	0.00	Oui	38.8812	moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	40.7826	moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	44.6784	bonne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-35.7329	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	-29.8397	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q75	0.00	Oui	-29.3916	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q90	0.00	Oui	-21.8809	Tres mauvaise	Tres mauvais
Modification au hasard des coefficients (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	37.6196	Moyenne	Moyen
		Q60	0.00	Oui	38.6532	Bonne	Bon
		Q75	0.00	Oui	40.6445	Tres bonne	Tres bon
		Q90	0.00	Oui	44.6368	Tres bonne	Tres bon
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	35.3699	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	36.7631	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	39.3502	Tres bonne	Tres bon
		Q90	0.00	Oui	44.0626	Tres bonne	Tres bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	33.1376	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	34.7472	Mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	37.7944	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	43.2564	Tres Bonne	Tres Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-46.2306	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	-44.2704	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q75	0.00	Oui	-40.2973	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q90	0.00	Oui	-32.3385	Tres mauvaise	Tres mauvais

Cette image réagit très favorablement à la stéganographie : les scores PSNR sont élevés et la qualité visuelle globalement conservée. Les modifications aléatoires dans les sous-blocs (3:5,3:5) ou du coefficient (4,4) sont bien tolérées. À noter que même les modifications combinées (LSB et avant LSB) restent performantes. Encore une fois, le premier bit provoque une forte dégradation.

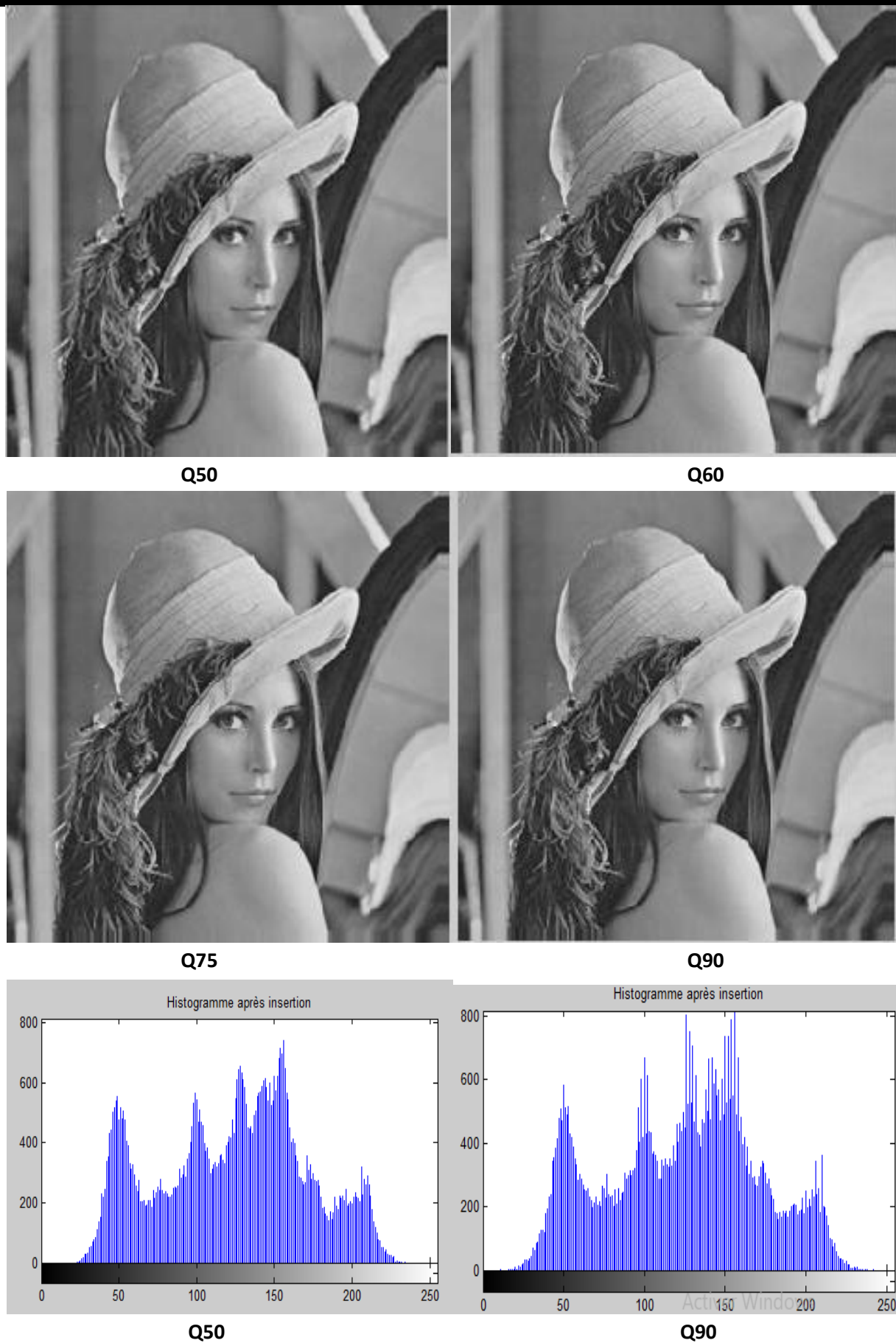


Figure 2.2 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images pour Q50 et Q90 : *modification aléatoire LSB des coefficients DCT sauf DC sans redondance.*

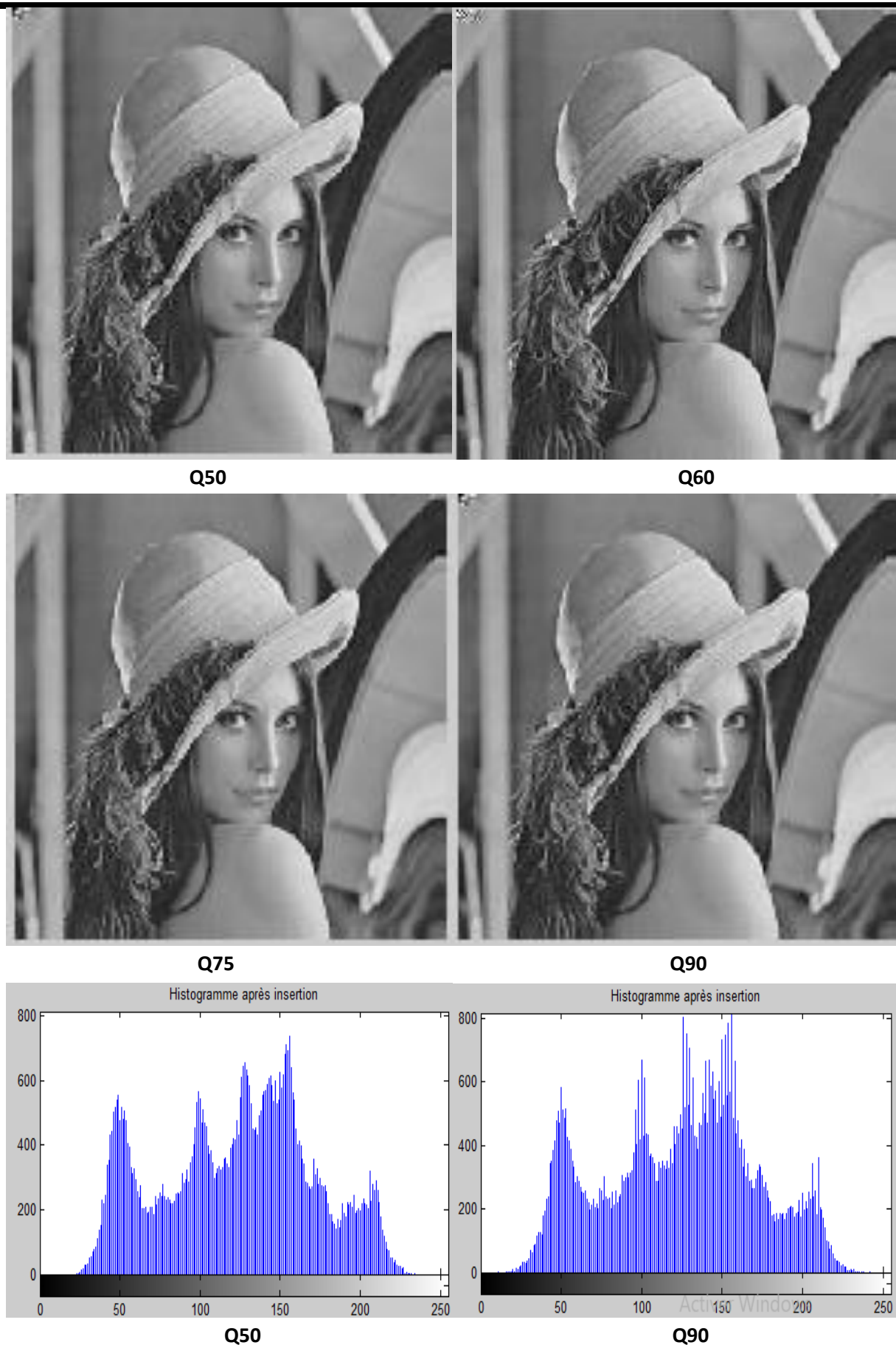


Figure 2.3 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images pour Q50 et Q90 : *modification aleatoire avant LSB des coefficients DCT sauf DC sans redondance.*

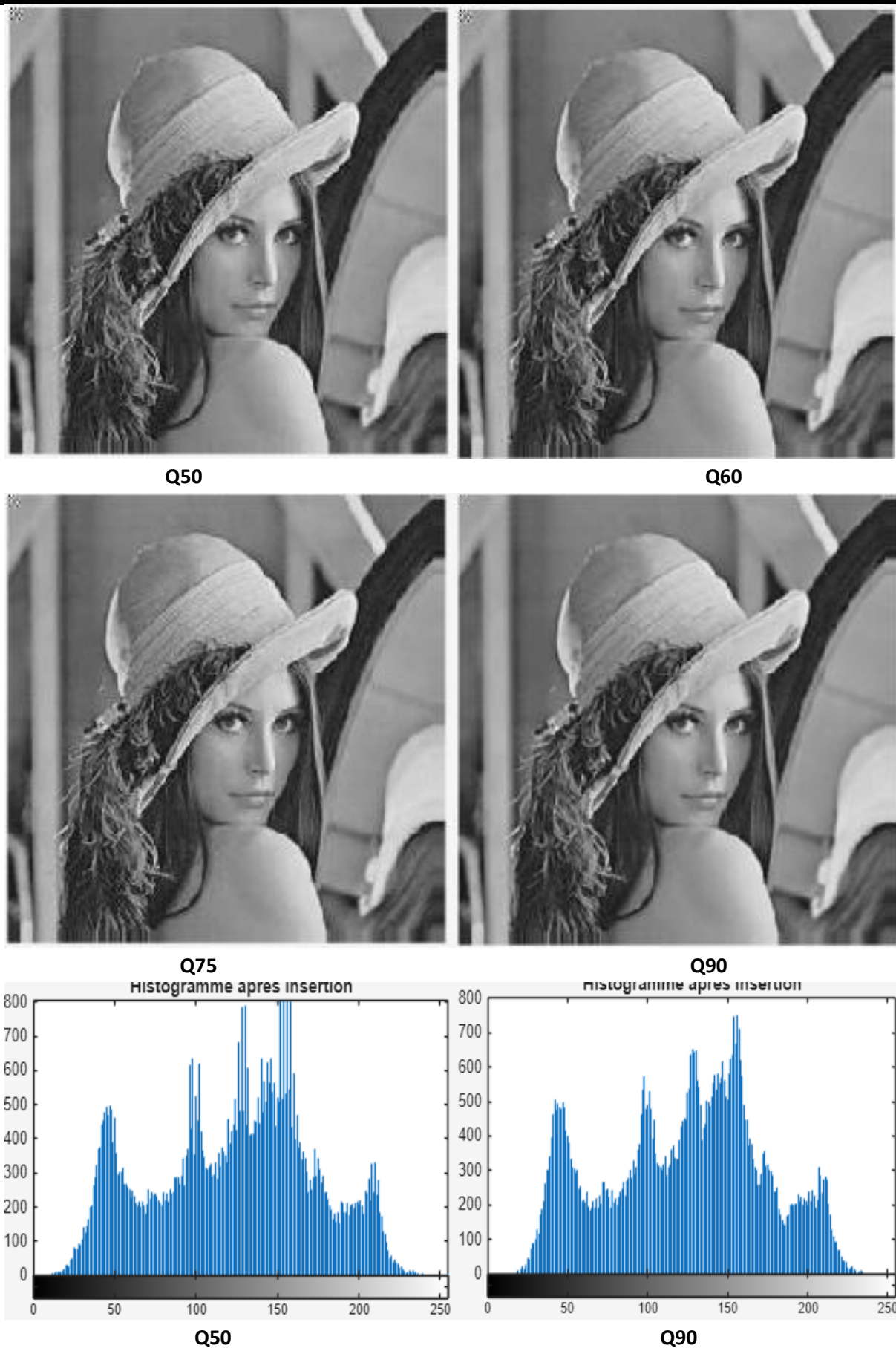


Figure 2.4 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images pour Q50 et Q90 : modification aleatoire LSB & avant LSB des coefficients DCT sauf DC sans redondance

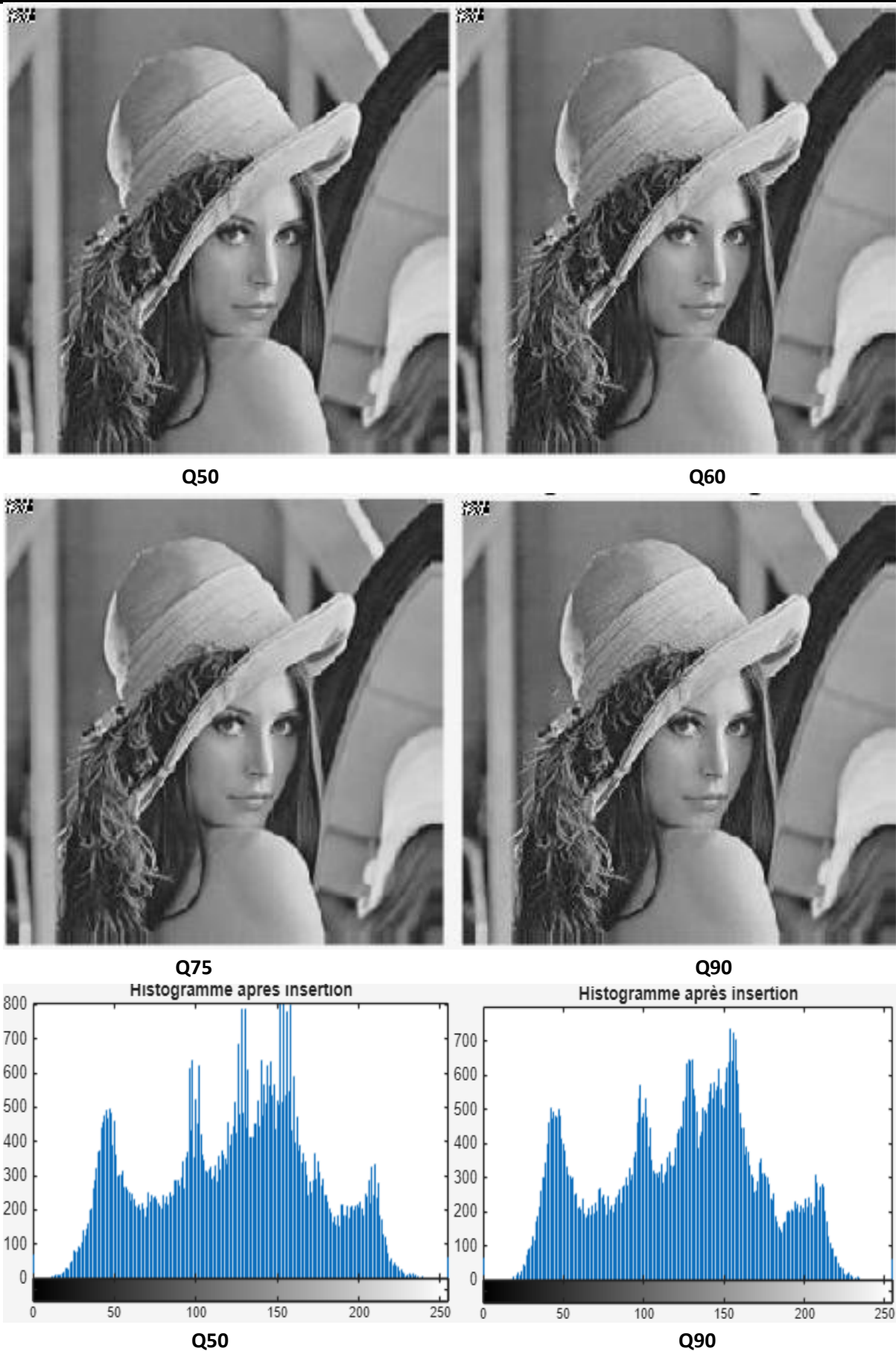


Figure 2.5 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images pour Q50 et Q90 : *modification aléatoire MSB des coefficients DCT sauf DC sans redondance.*

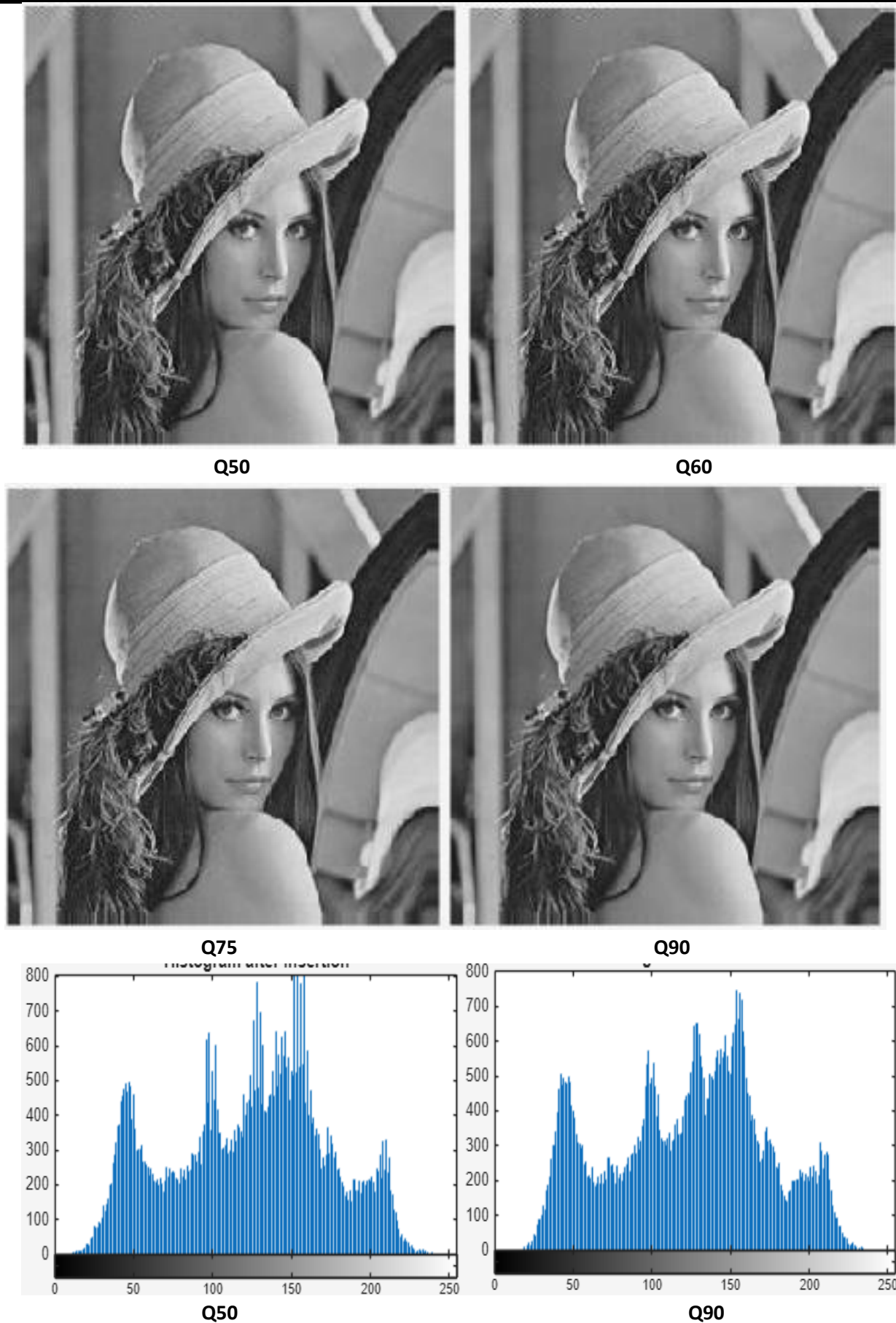


Figure 2.6 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images, pour Q50 et Q90 : *modification aleatoire LSB des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) sans redondance.*

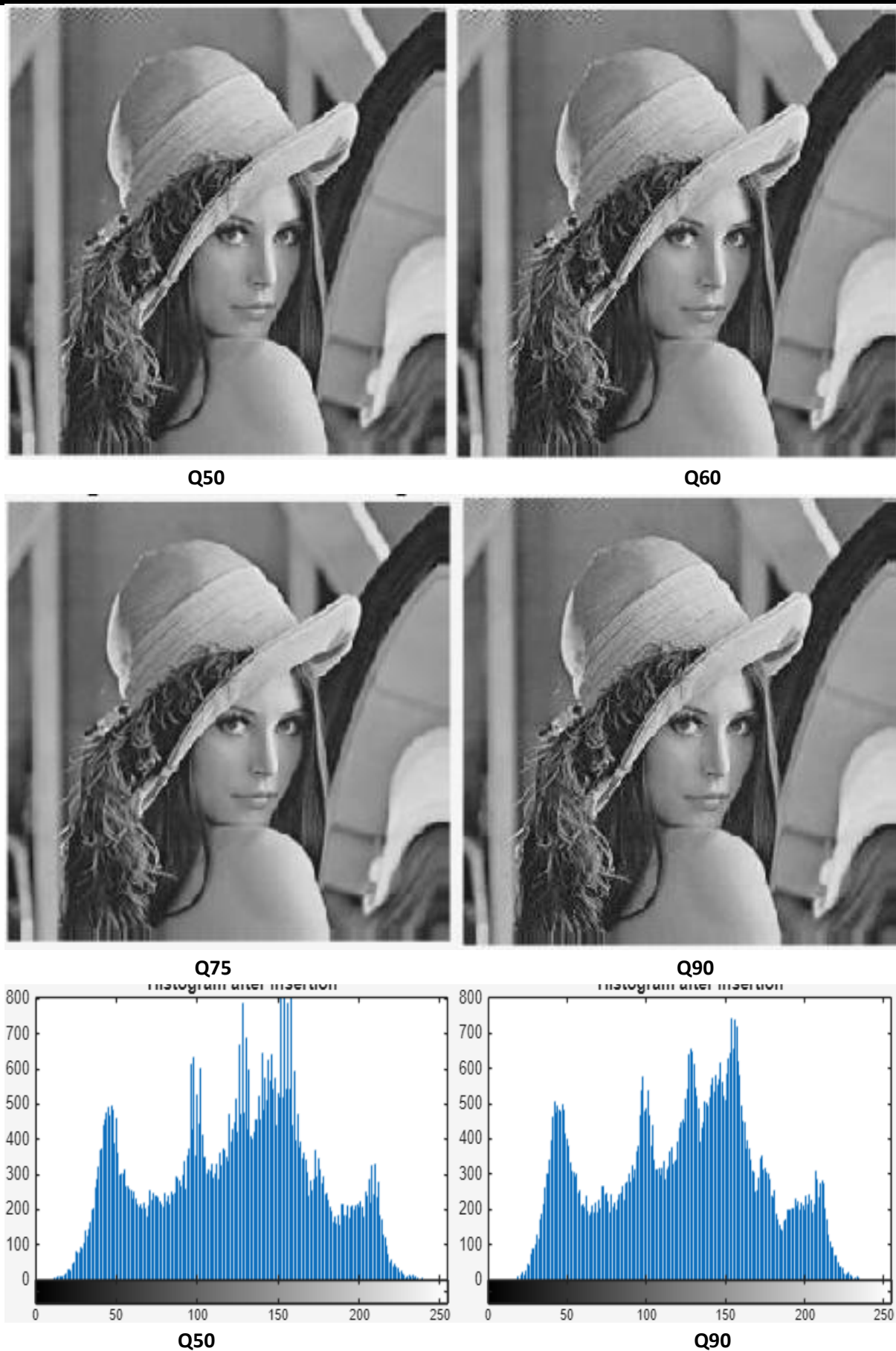


Figure 2.7 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images pour Q50 et Q90 : *modification aleatoire avant LSB des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) sans redondance*

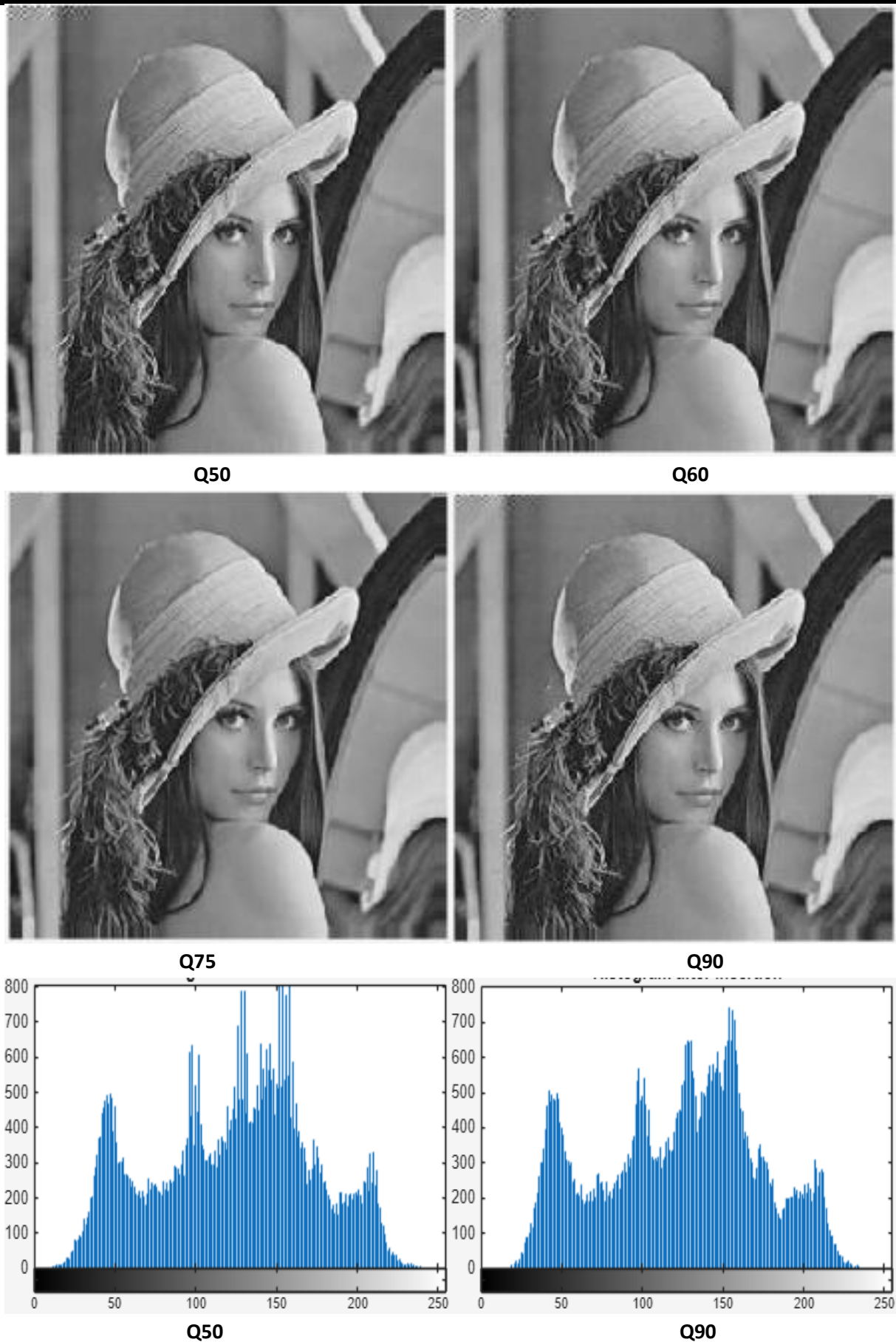


Figure 2.8 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images pour Q50 et Q90 : modification aleatoire LSB & avant LSB des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) sans redondance

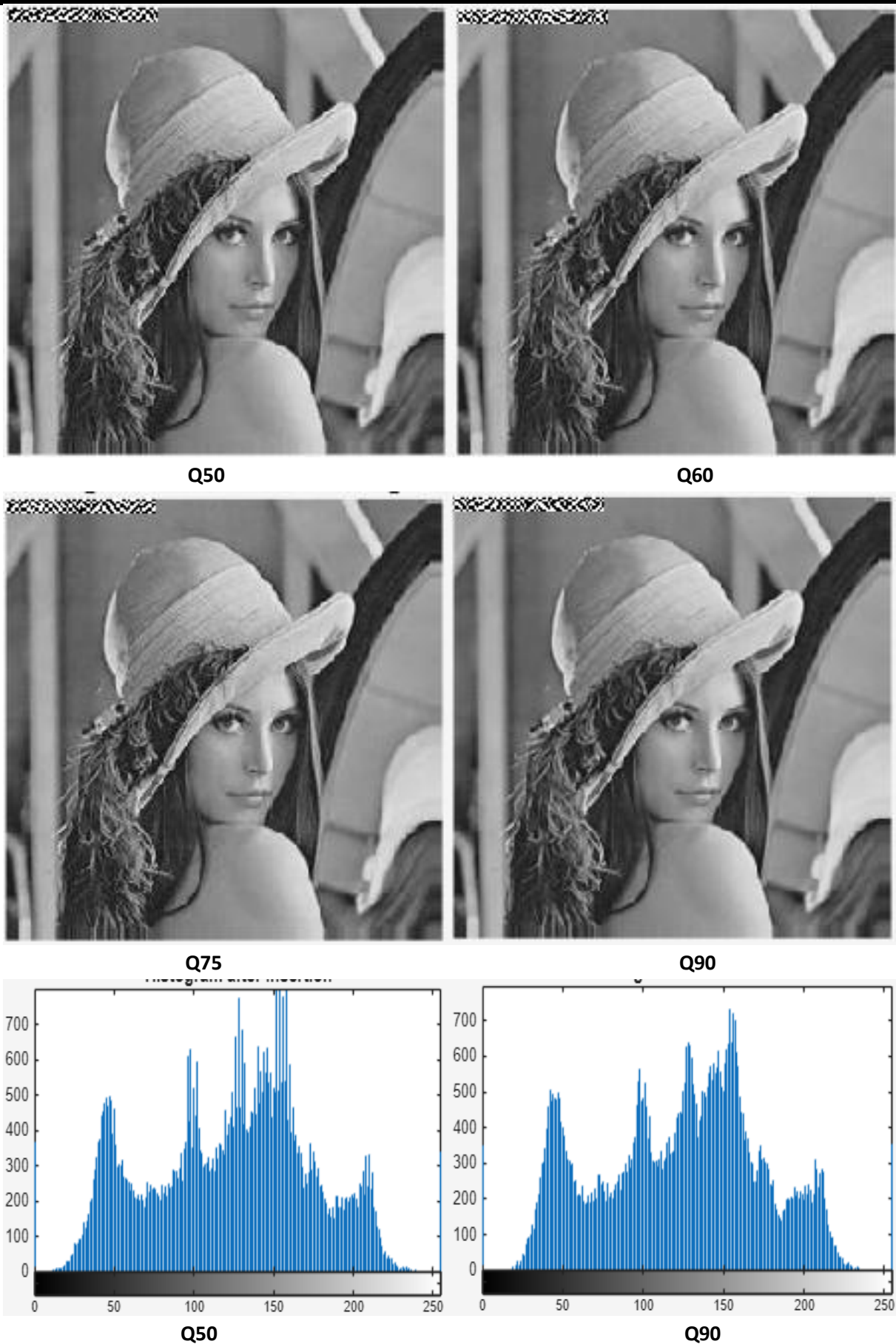


Figure 2.9 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images pour Q50 et Q90 : *modification aléatoire MSB des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) sans redondance*

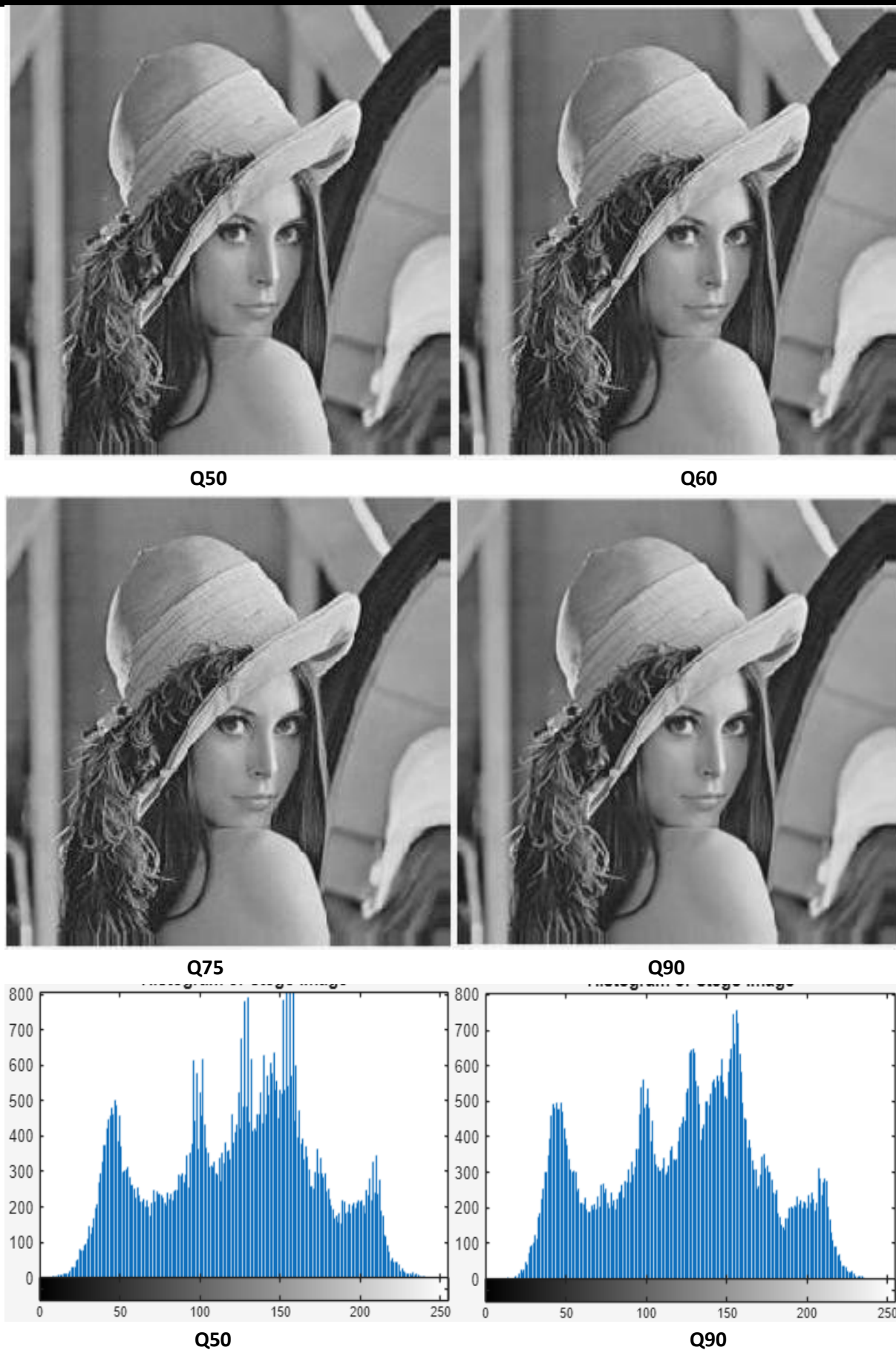


Figure 2.10 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images, pour Q50 et Q90 : modification aléatoire LSB du coefficient DCT(4,4) sans redondance

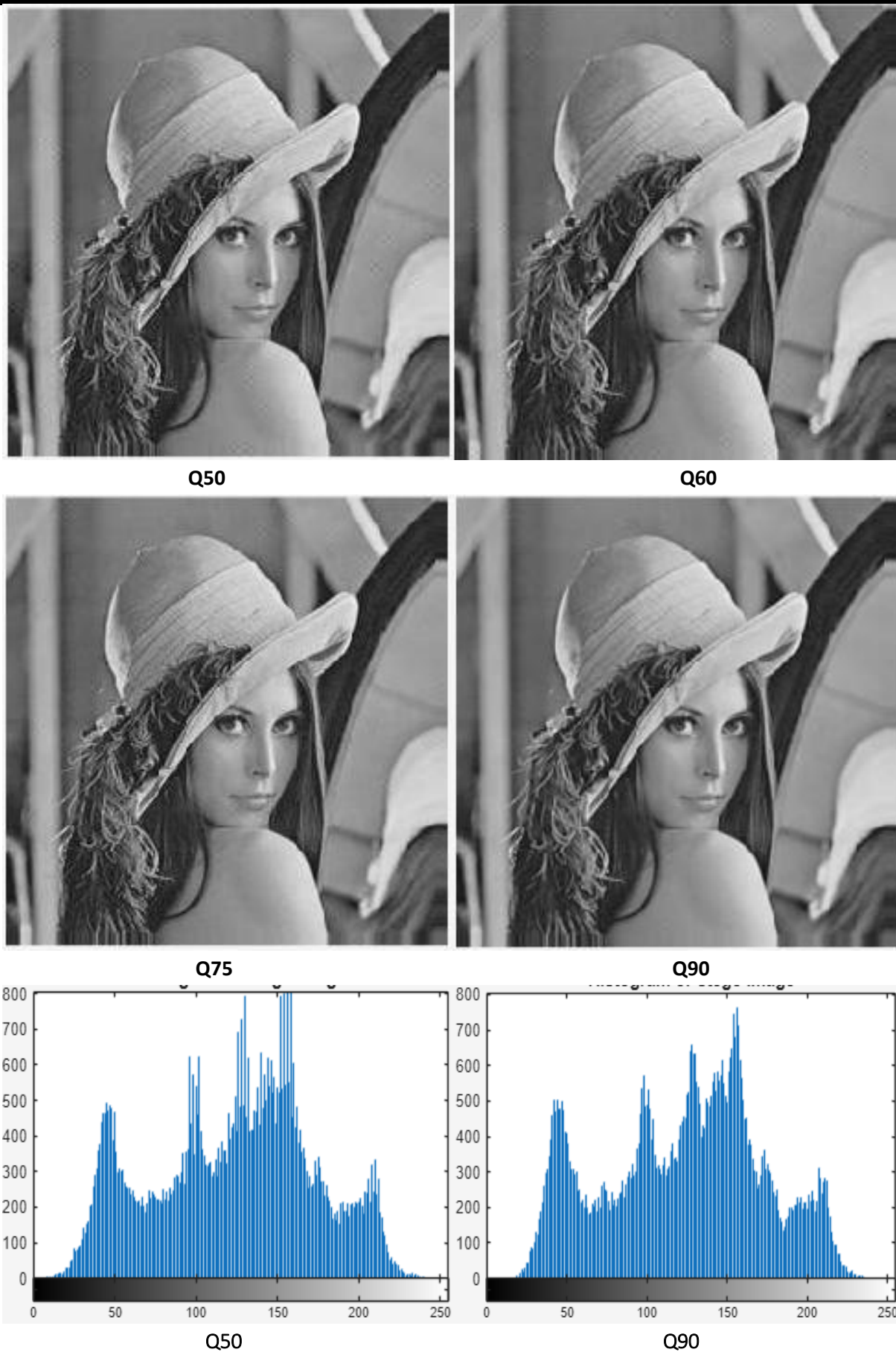


Figure 2.11 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images, pour Q50 et Q90 : modification aleatoire avant LSB du coefficient DCT(4,4) sans redondance

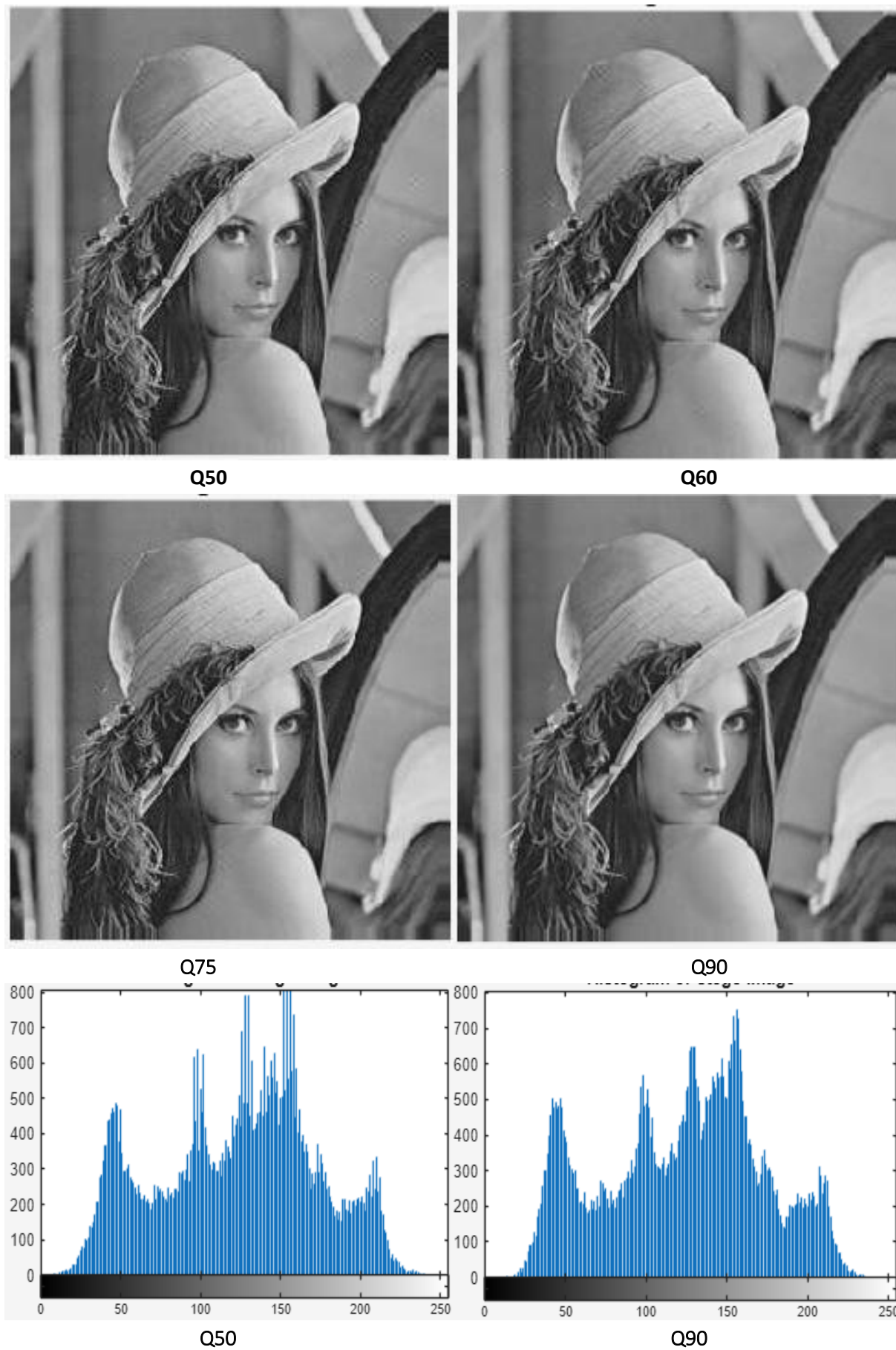


Figure 2.12 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images, pour Q50 et Q90 : modification aleatoire LSB & avant LSB du coefficient DCT(4,4) sans redondance

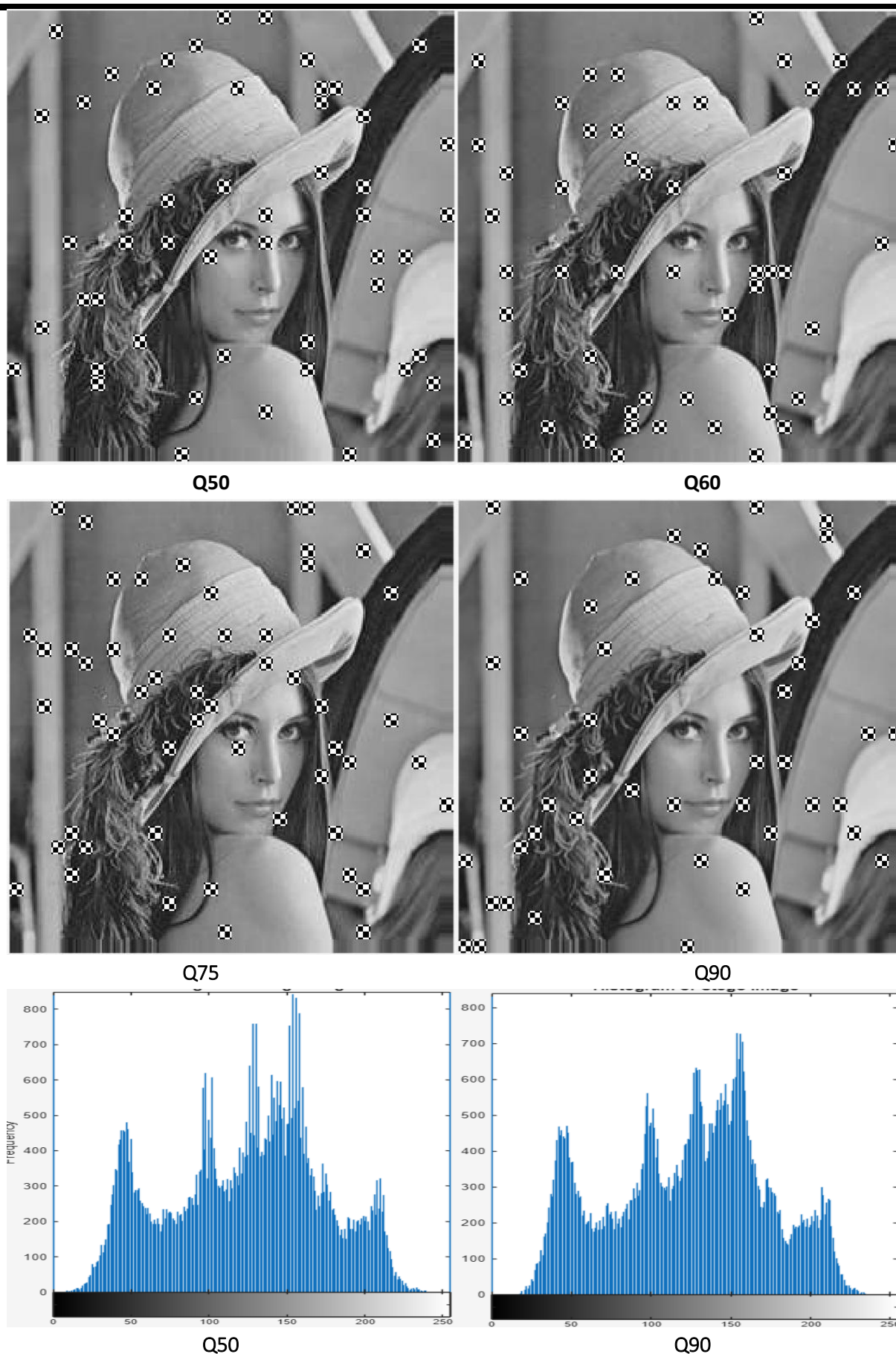


Figure 2.13 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images pour Q50 et Q90 : modification aléatoire MSB du coefficient DCT(4,4) sans redondance

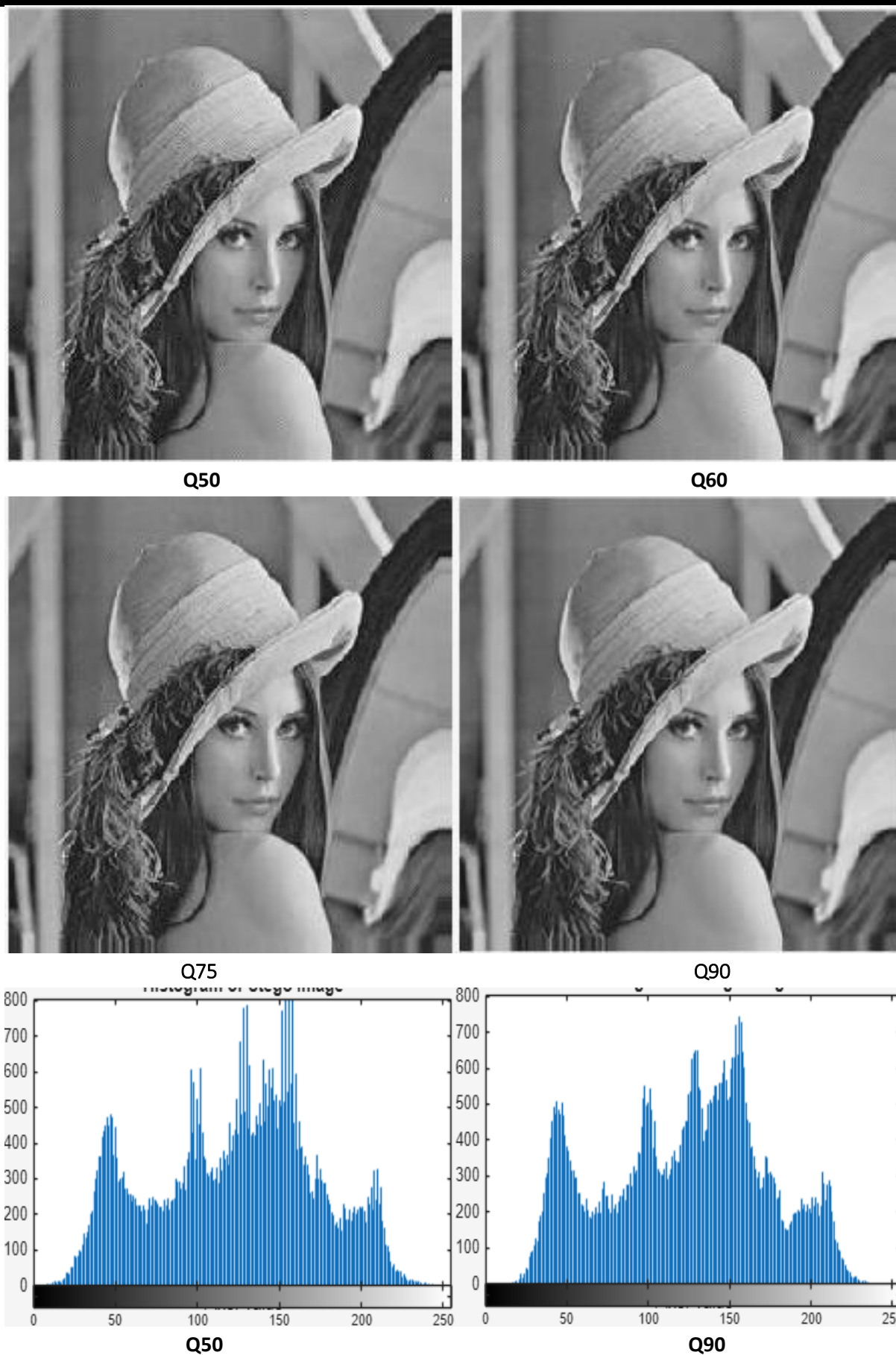


Figure 2.14 : Images Lenna pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images pour Q50 et Q90 : *modification aleatoire LSB d'un coefficient DCT au hasard du bloc (3:5,3:5) sans redondance*

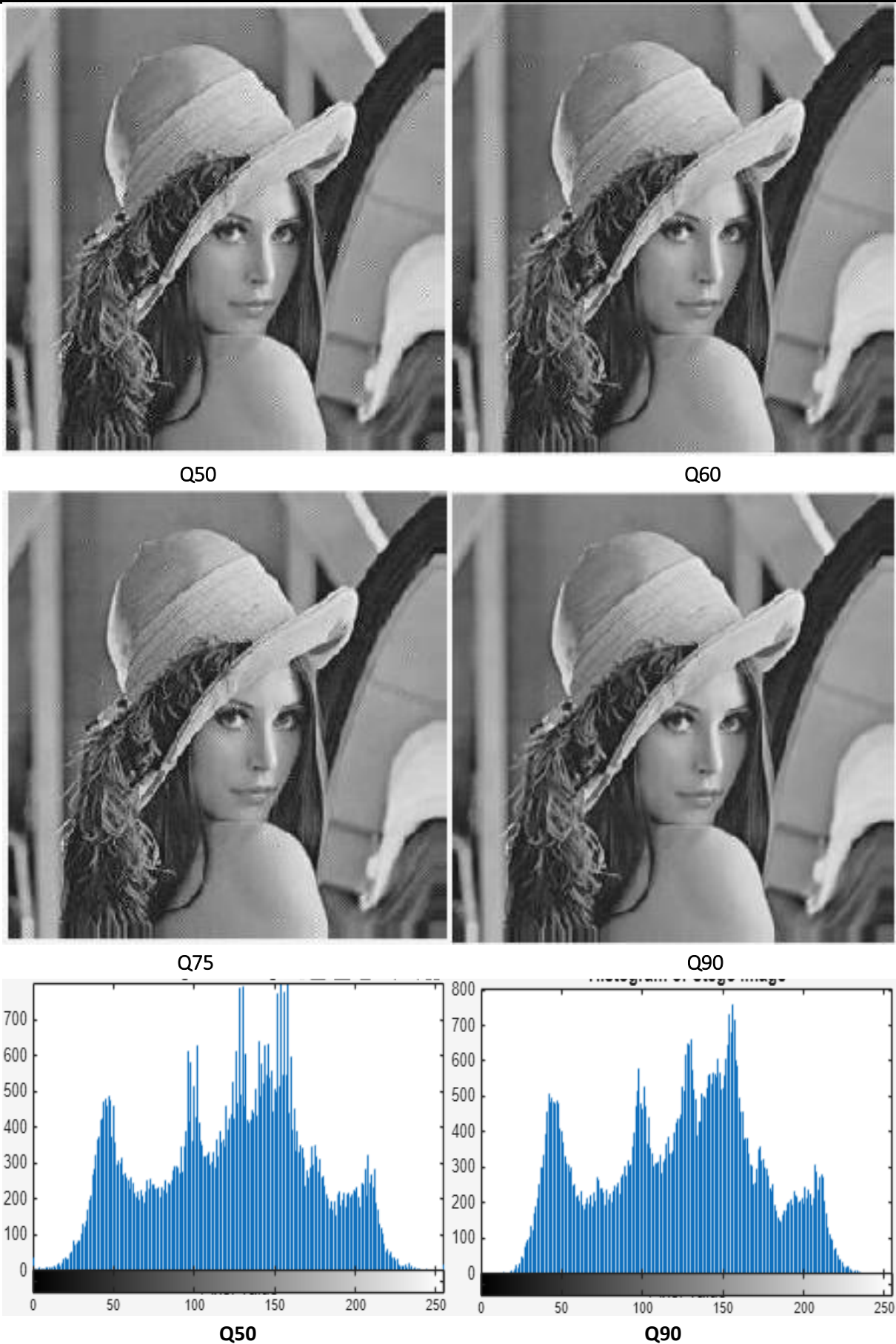


Figure 2.15 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images pour Q50 et Q90 : *modification aleatoire AVANT LSB d'un coeff. DCT au hasard du bloc (3:5,3:5) sans redondance*

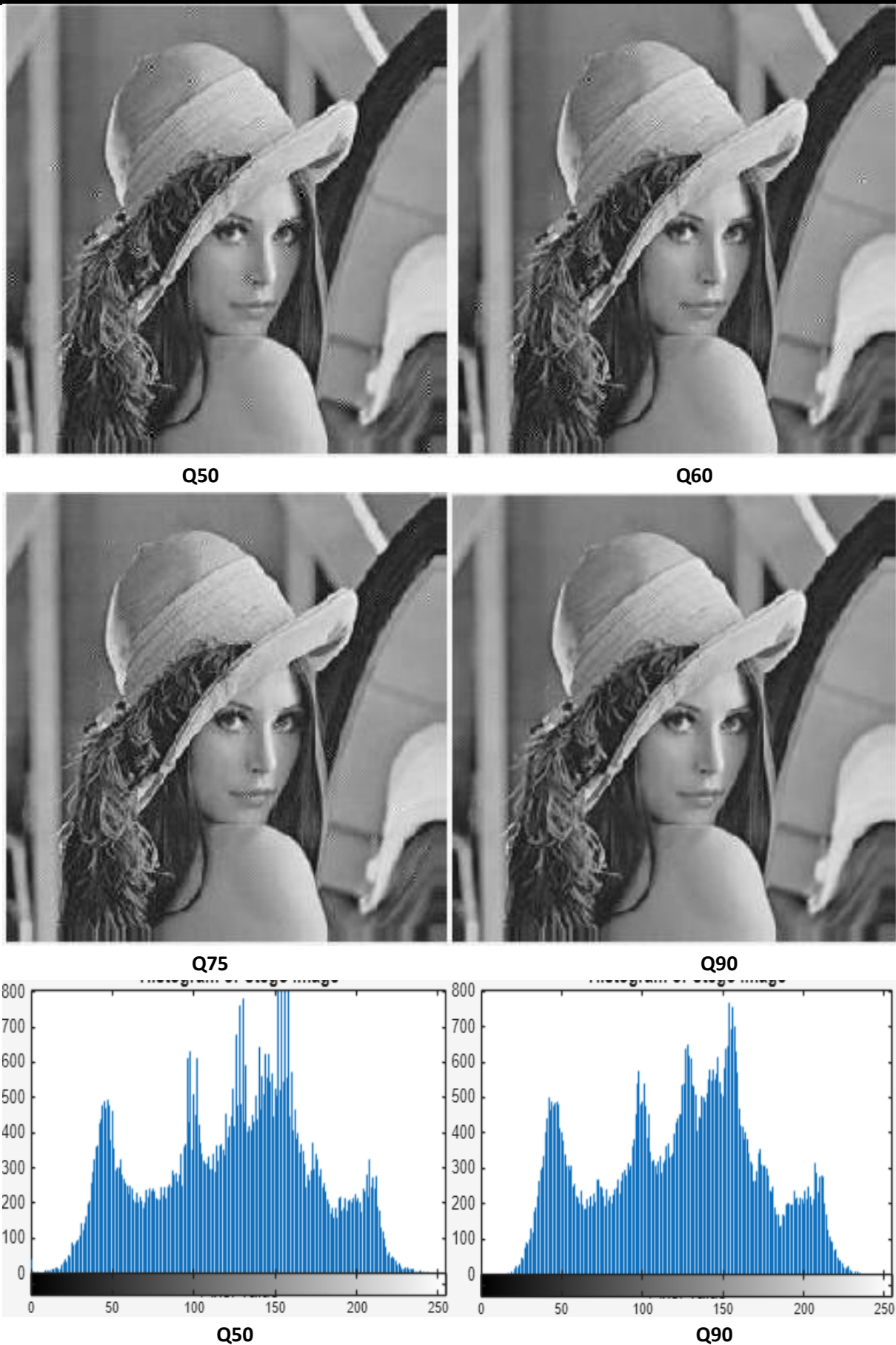


Figure 2.16 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images pour Q50 et Q90 : modification aleatoire LSB & avant LSB d'un coefficient DCT hasard bloc(3:5,3:5)sans redondance

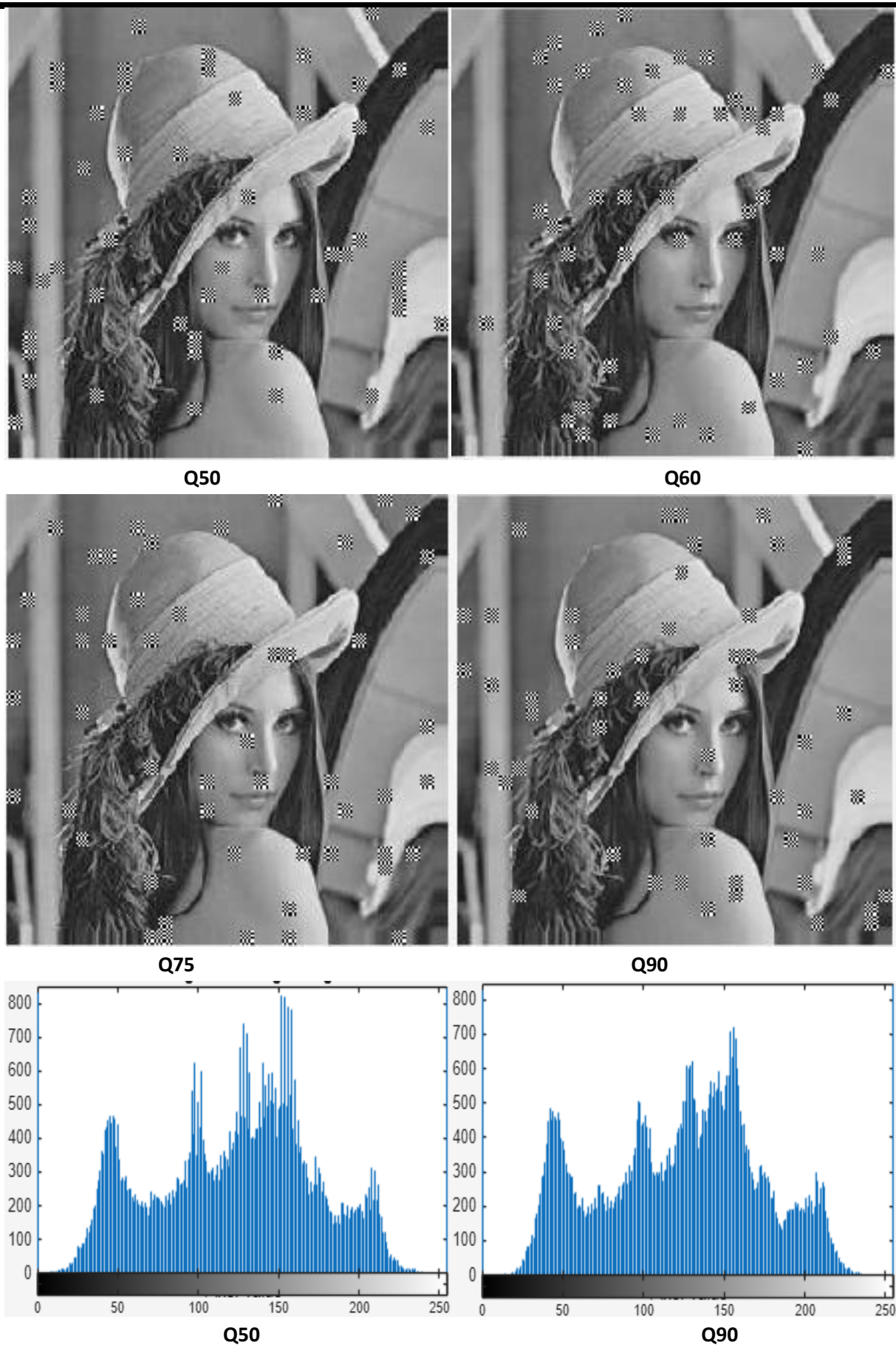


Figure 2.17 : Images Lena pour Q50, Q60, Q75 et Q90 et histogrammes des images pour Q50 et Q90 : *modification aléatoire MSB d'un coefficient DCT au hasard bloc (3:5,3:5) sans redondance*

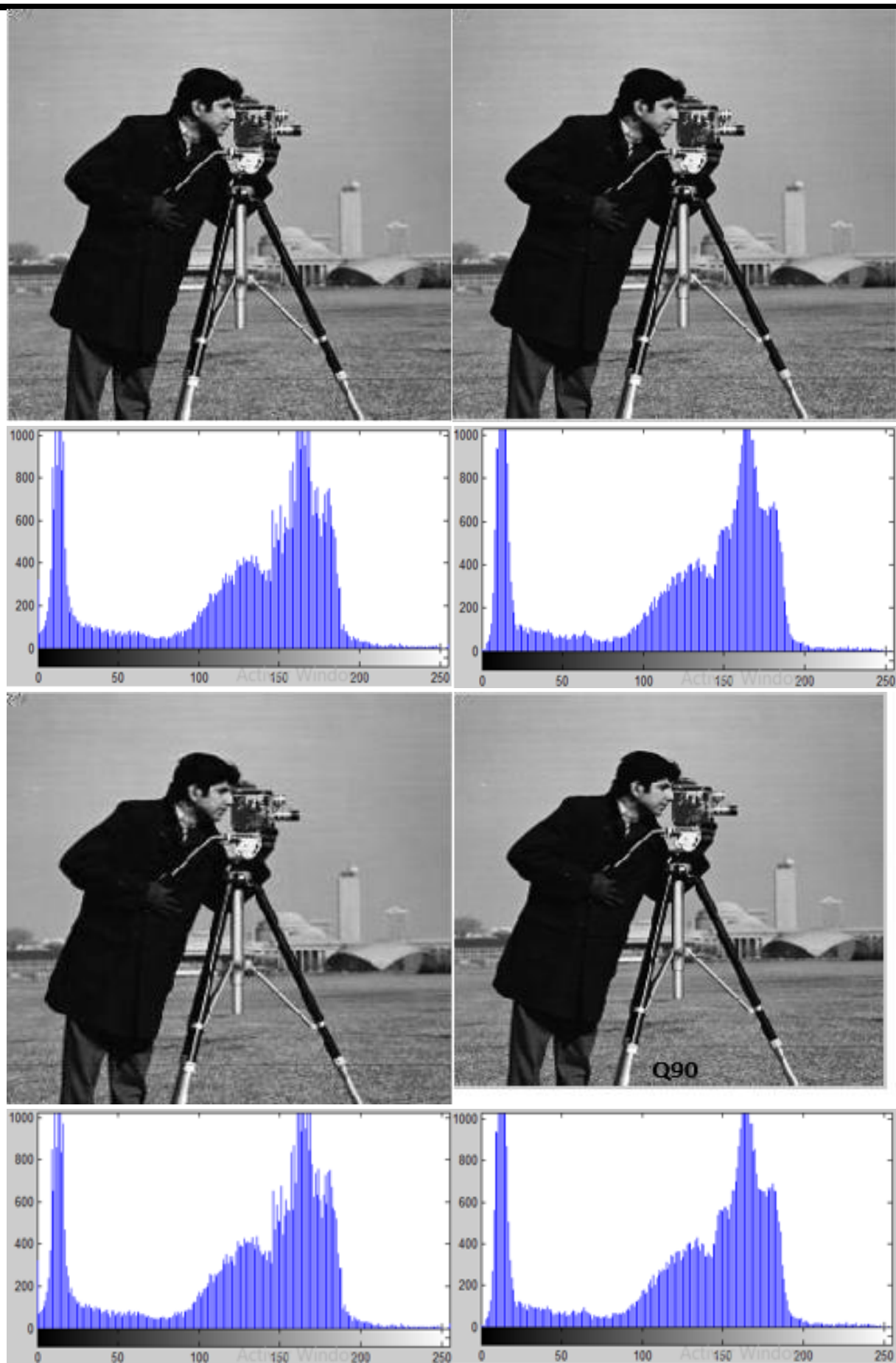


Figure 2.18 : Images Cameraman et histogrammes pour Q60 et Q90 : **modification aleatoire LSB** (puis **avant LSB**) des coefficients DCT sauf DC sans redondance

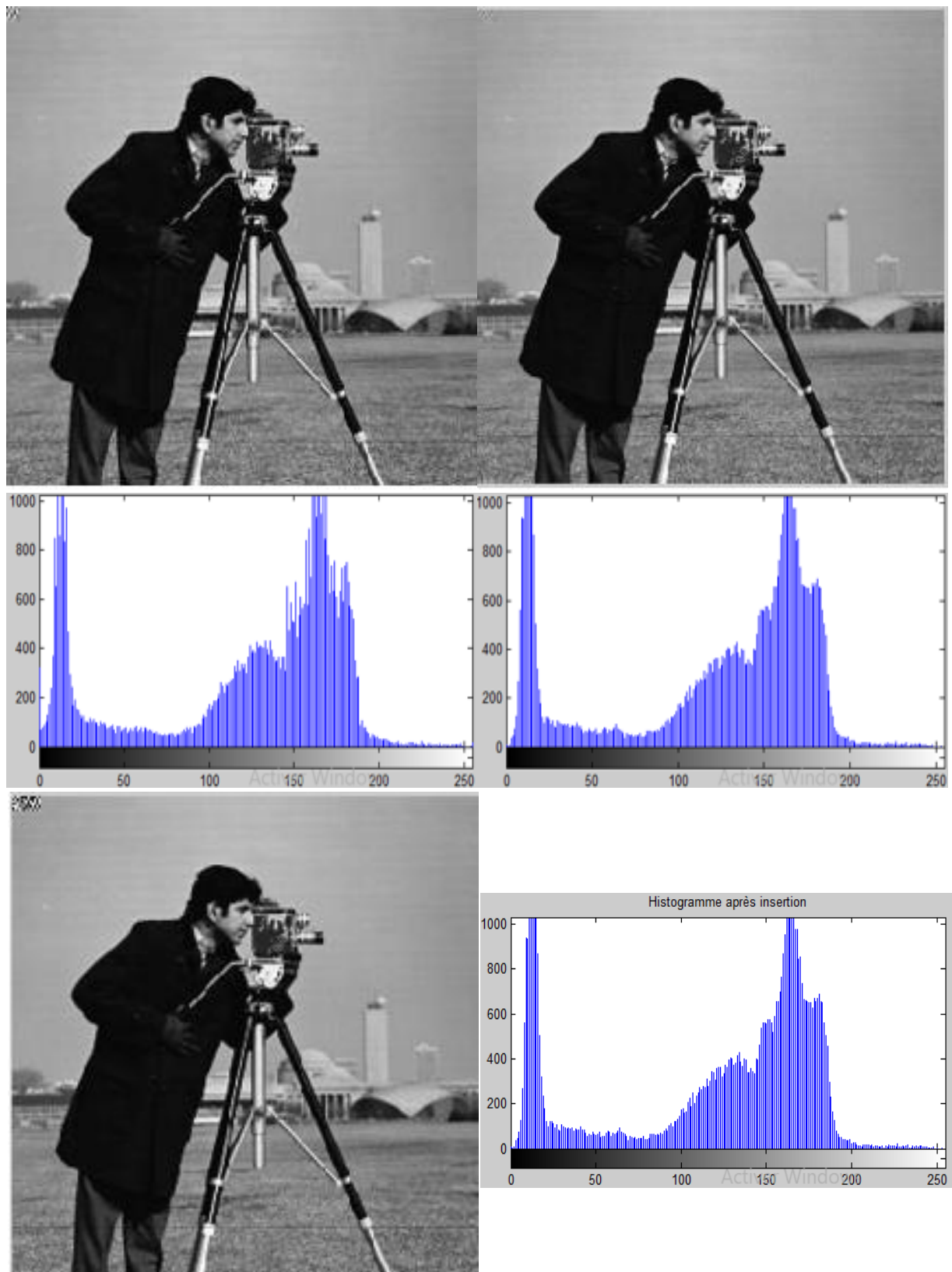


Figure 2.19 : Images Cameraman et histogrammes pour Q60 et Q90 : **modification aleatoire LSB & avant LSB** des coefficients DCT sauf DC sans redondance (puis resultat Q90 pour MSB).

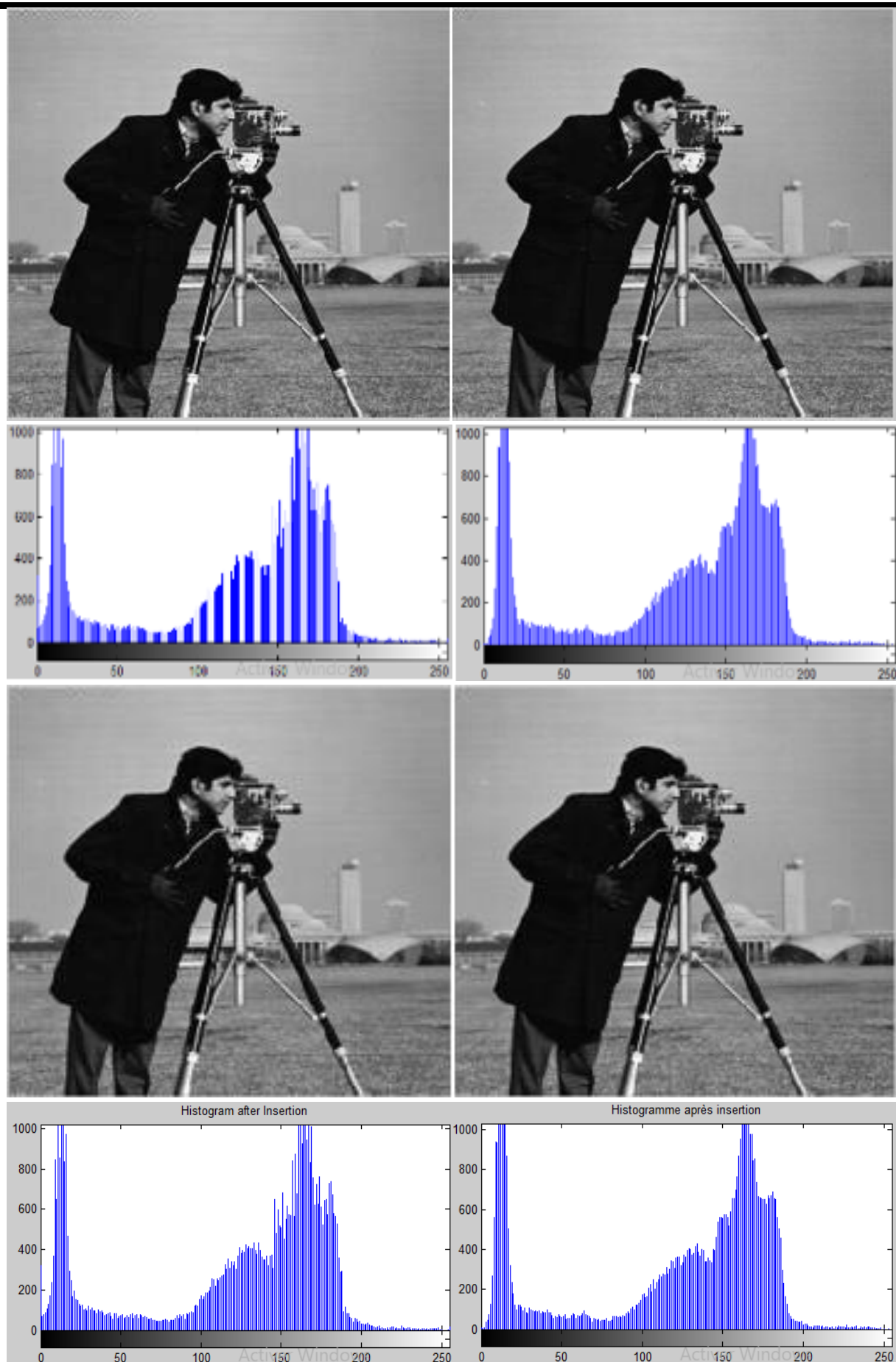


Figure 2.20 : Images Cameraman et histogrammes pour Q60 et Q90 : **modification aléatoire LSB** (puis **avant LSB**) des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) sans redondance

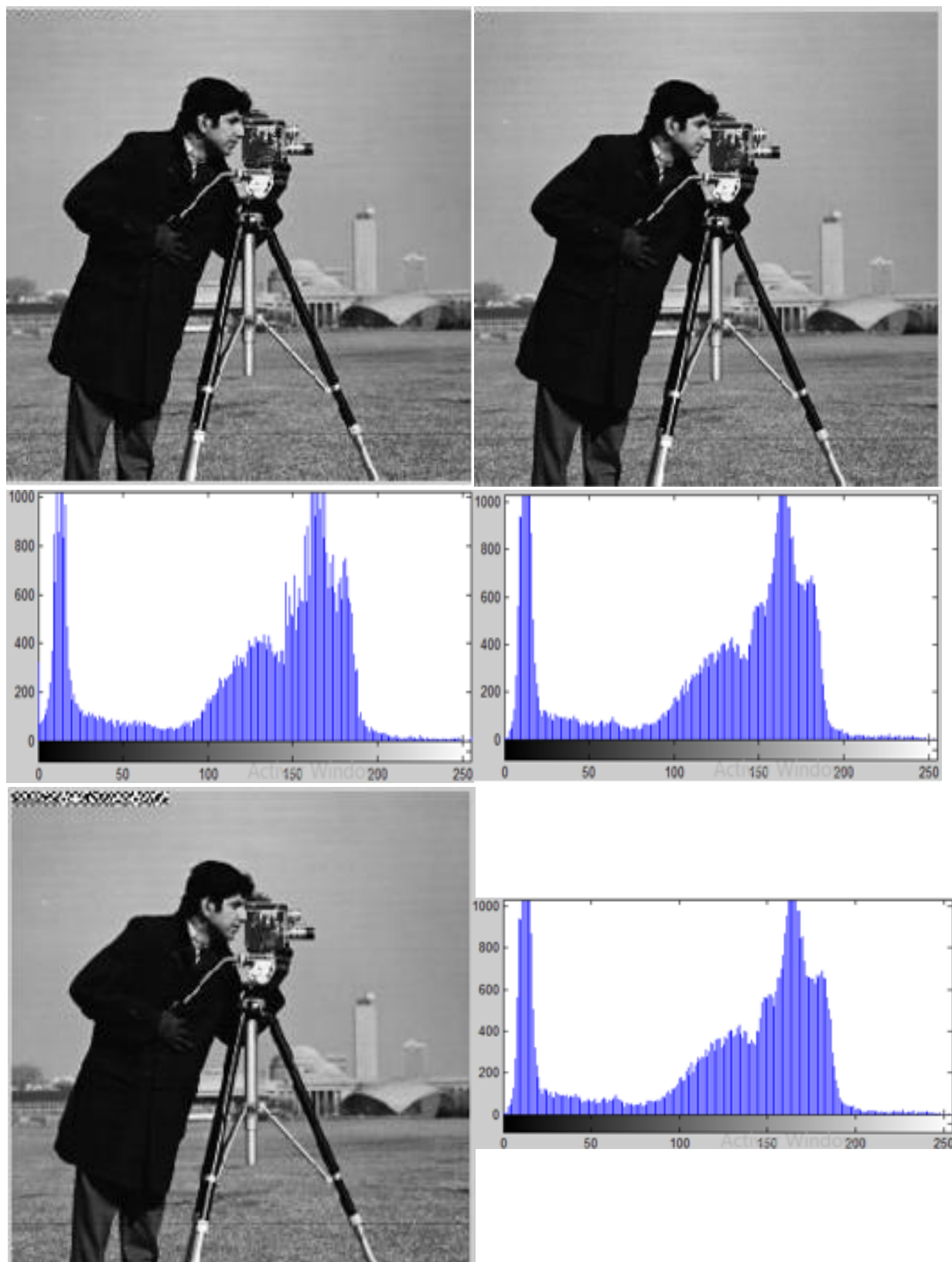


Figure 2.21: Images Cameraman et histogrammes pour Q60 et Q90 : **modification aleatoire LSB & avant LSB** des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) sans redondance (puis resultat Q90 pour MSB).

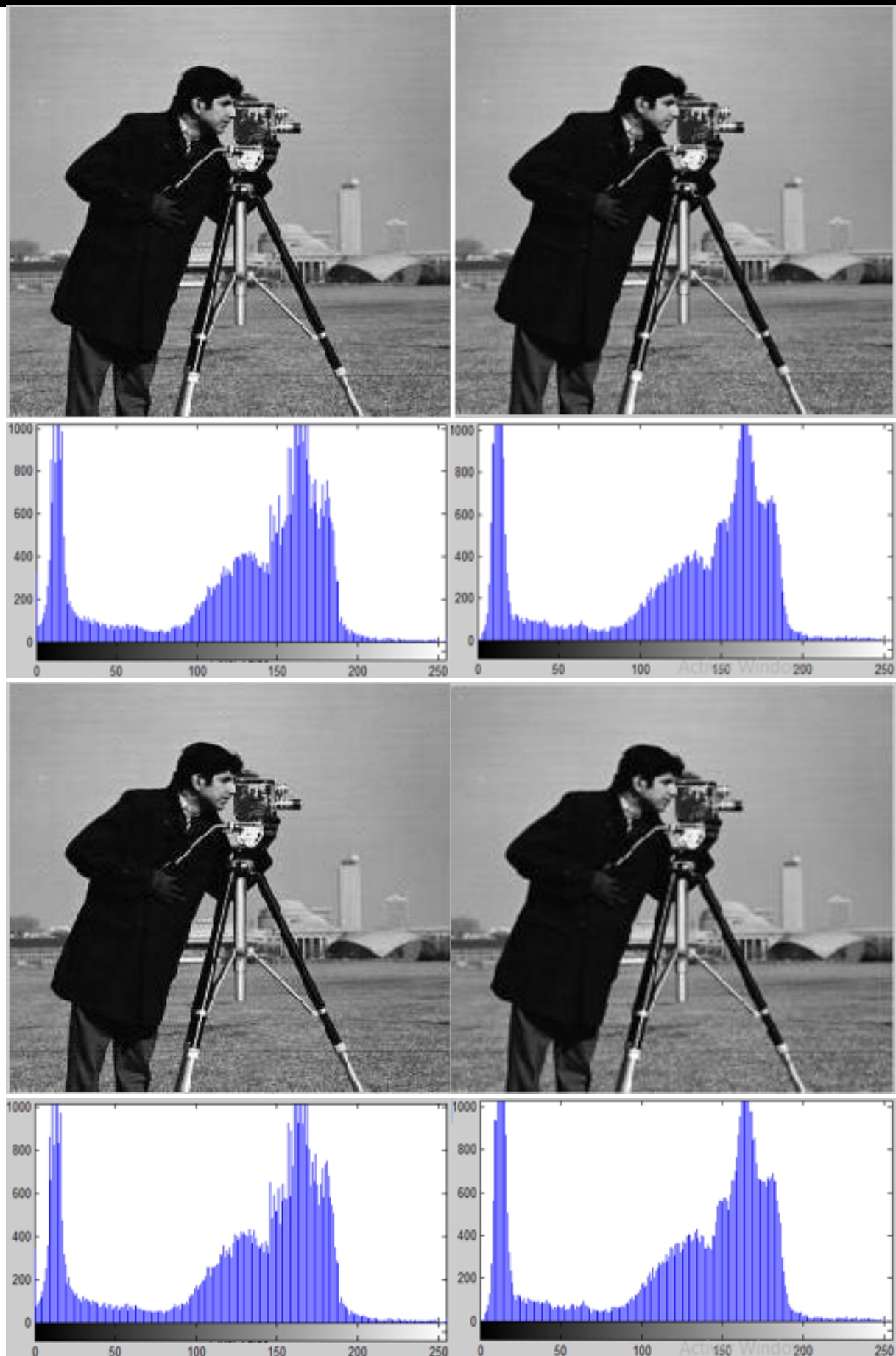


Figure 2.22 : Images Cameraman et histogrammes pour Q60 et Q90 : **modification aleatoire LSB (puis avant LSB) du coefficient DCT (4,4) sans redondance**

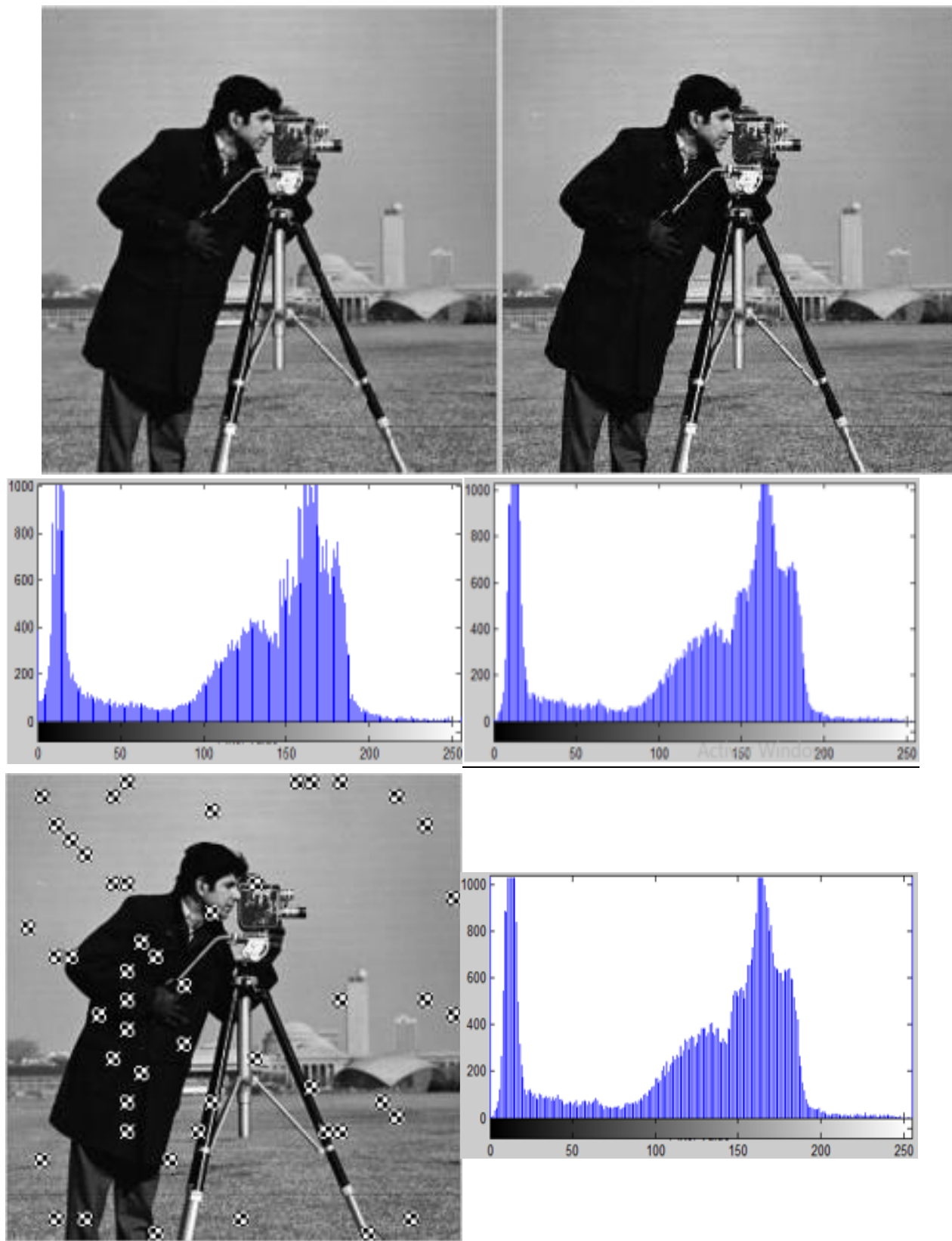


Figure 2.23: Images Cameraman et histogrammes pour Q60 et Q90 : *modification aleatoire LSB & avant LSB du coefficient DCT (4,4) sans redondance (puis resultat Q90 pour MSB).*

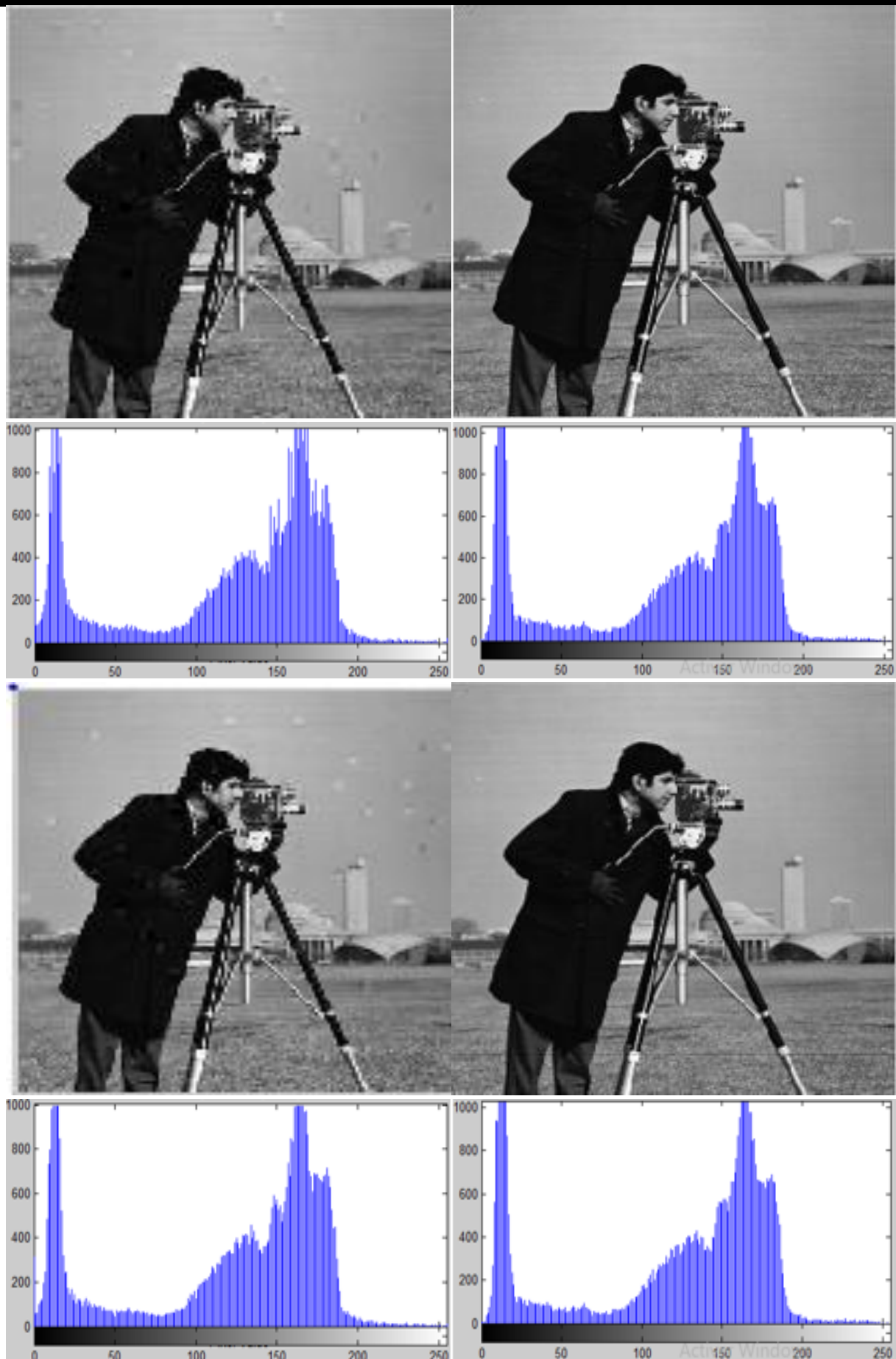


Figure 2.24 : Images Cameraman et histogrammes pour Q60 et Q90 : **modification aléatoire LSB** (puis Q75 et Q90 pour **avant LSB**) d'un coefficient DCT au hasard bloc (3:5,3:5) sans redondance

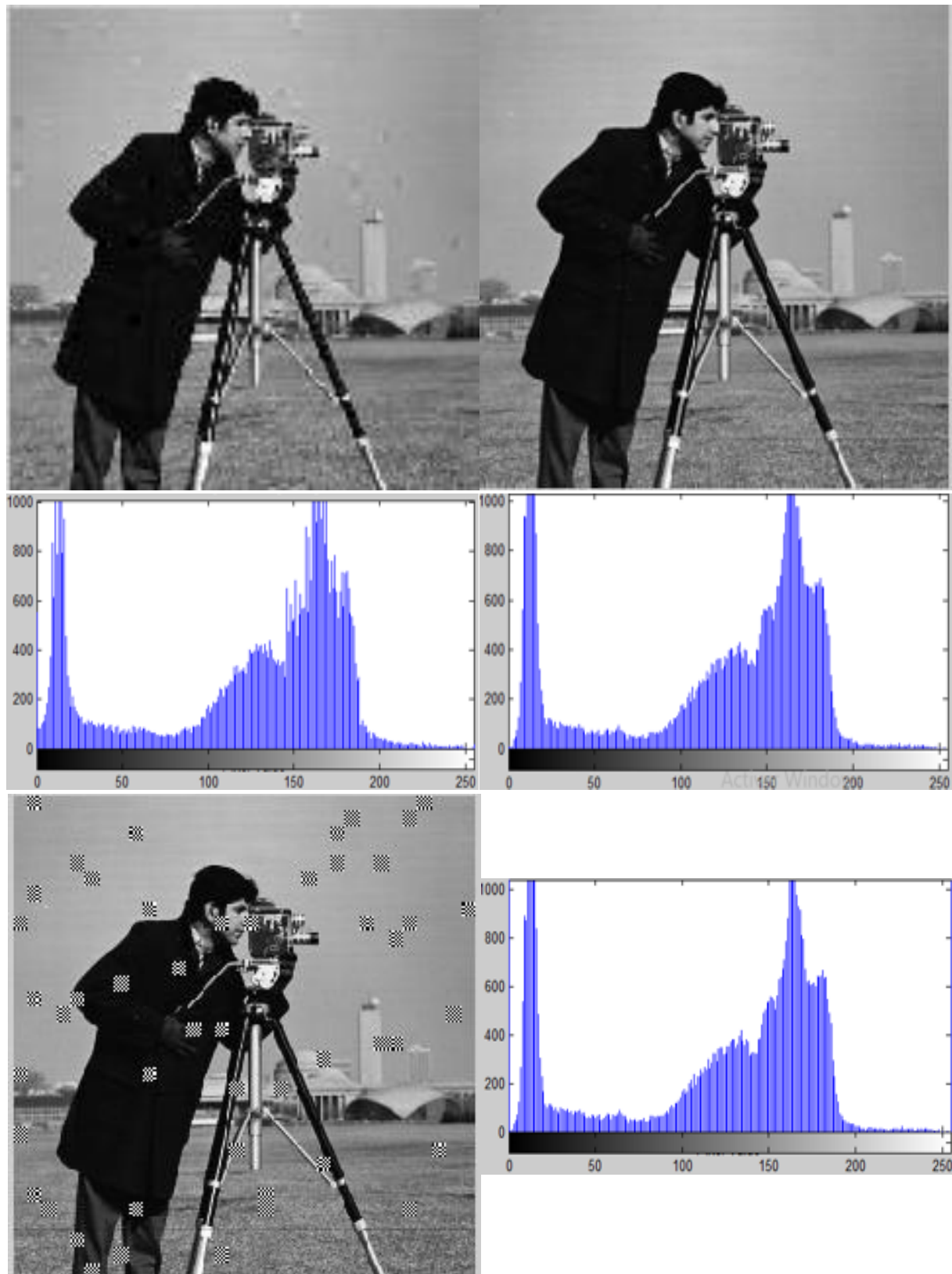


Figure 2.25 : Images Cameraman et histogrammes pour Q60 et Q90 : **modification aleatoire LSB & avant LSB** d'un coefficient DCT au hasard bloc (3:5,3:5) sans redondance (puis resultat Q90 pour MSB).

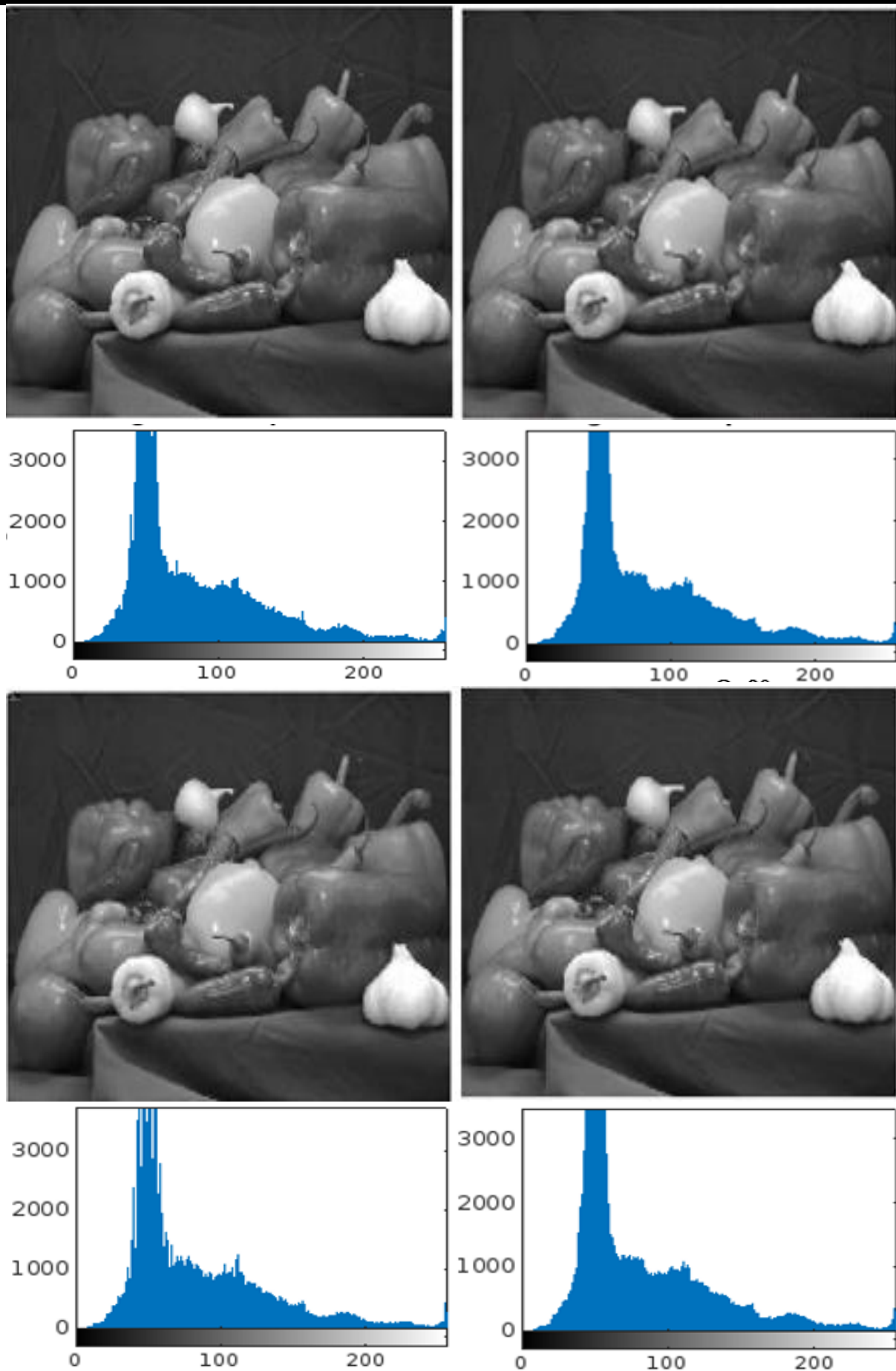


Figure 2.26: Images Poivron et histogrammes pour Q60 et Q90 : *modification aleatoire LSB (puis avant LSB) des coefficients DCT sauf DC sans redondance*

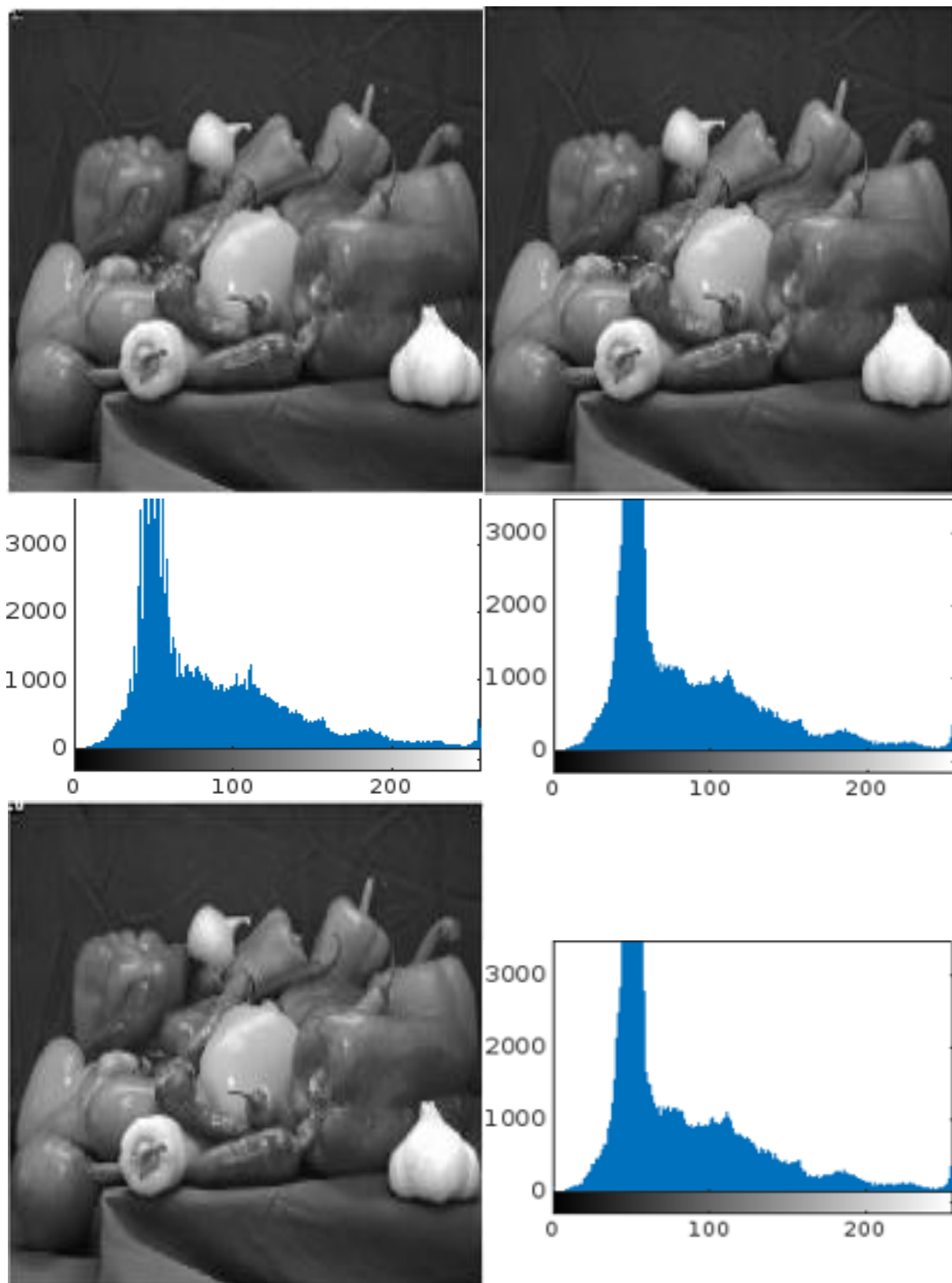


Figure 2.27 : Images Poivron et histogrammes pour Q50 et Q90 : *modification aleatoire LSB & avant LSB des coefficients DCT sauf DC sans redondance (puis resultat Q90 pour MSB)*.

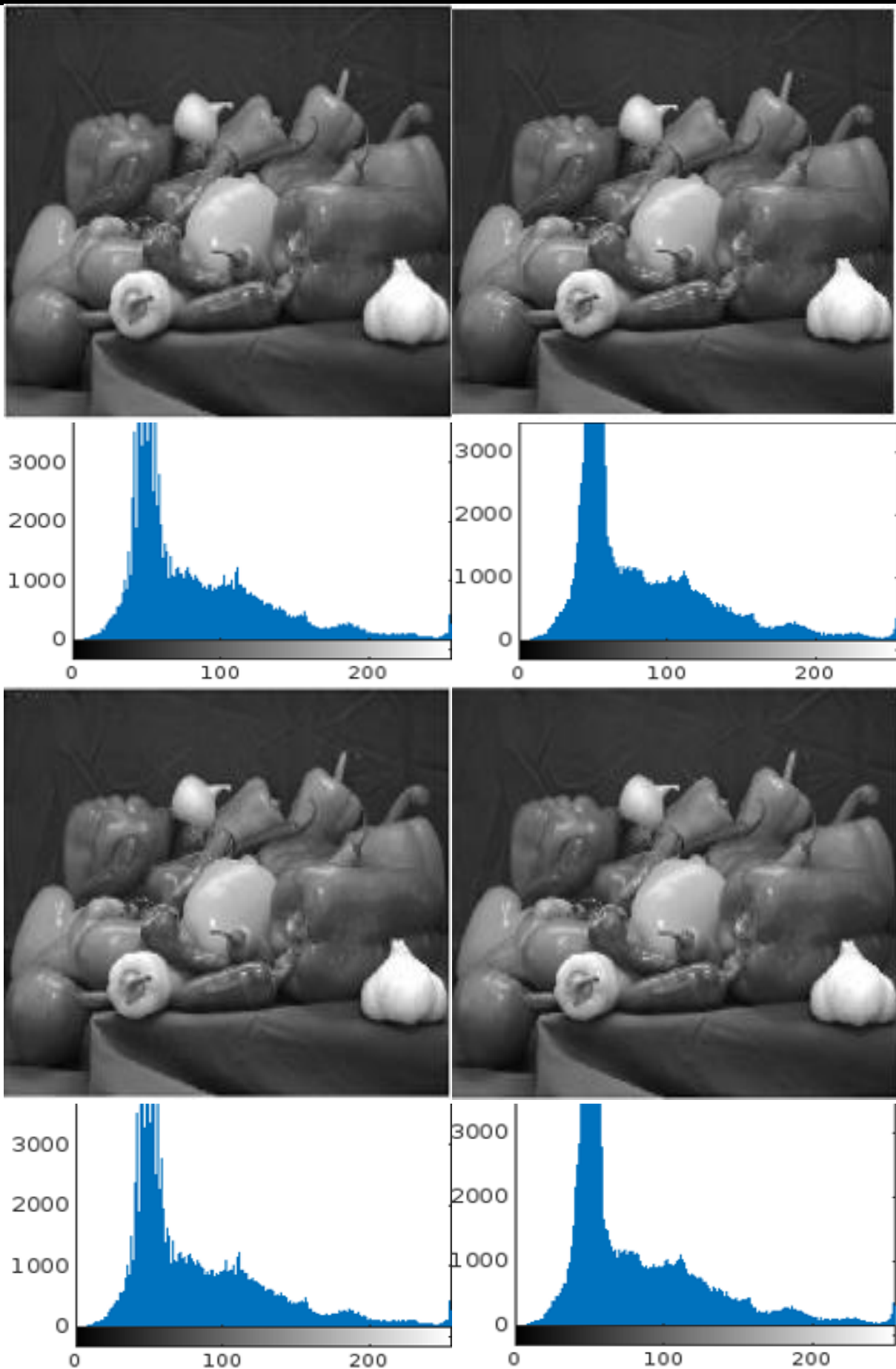


Figure 2.28 : Images Poivron et histogrammes pour Q50 et Q90 : *modification aleatoire LSB (puis avant LSB) des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) sans redondance*

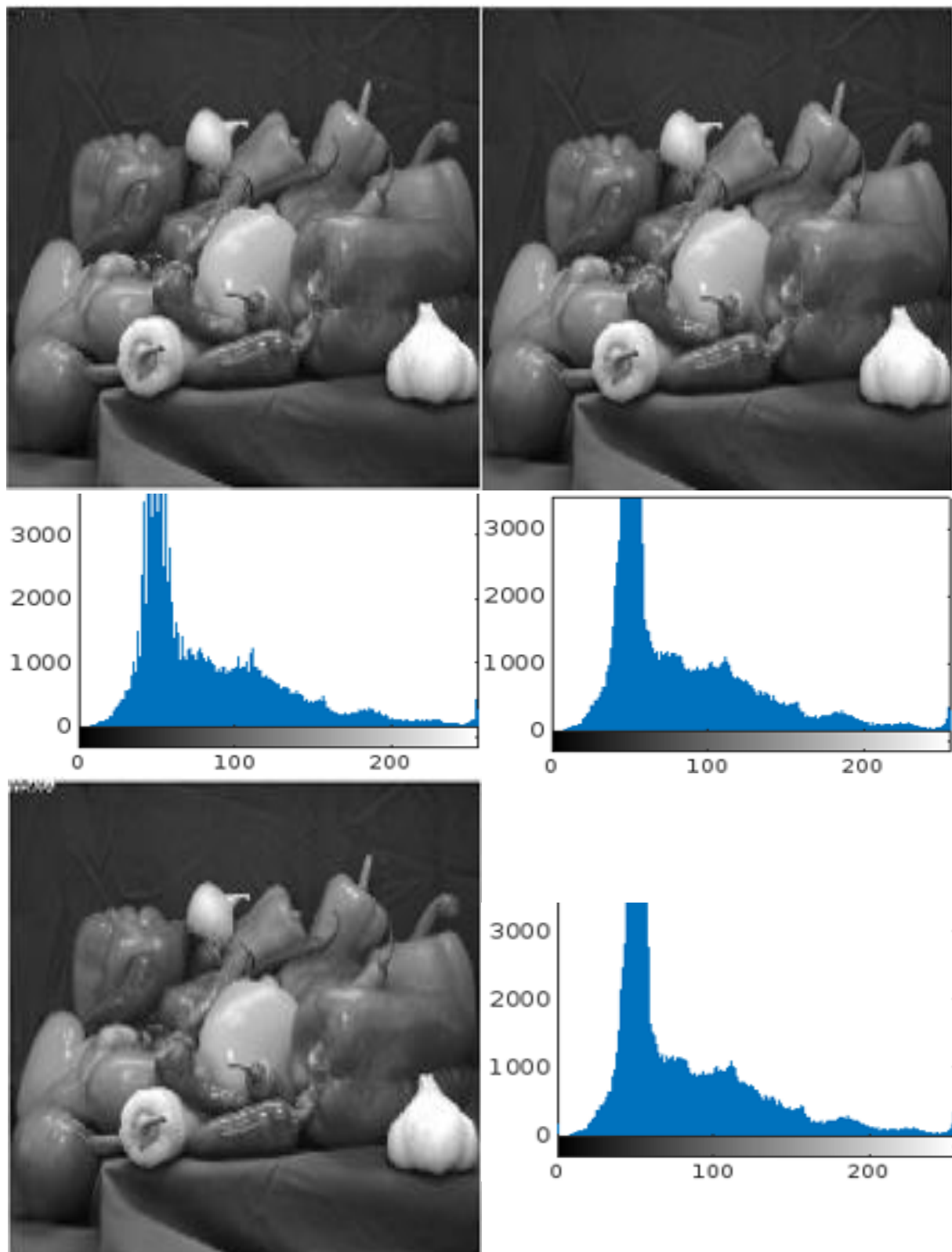


Figure 2.29 : Images Poivron et histogrammes pour Q50 et Q90 : **modification aleatoire LSB & avant LSB** des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) sans redondance (puis resultat Q90 pour MSB).

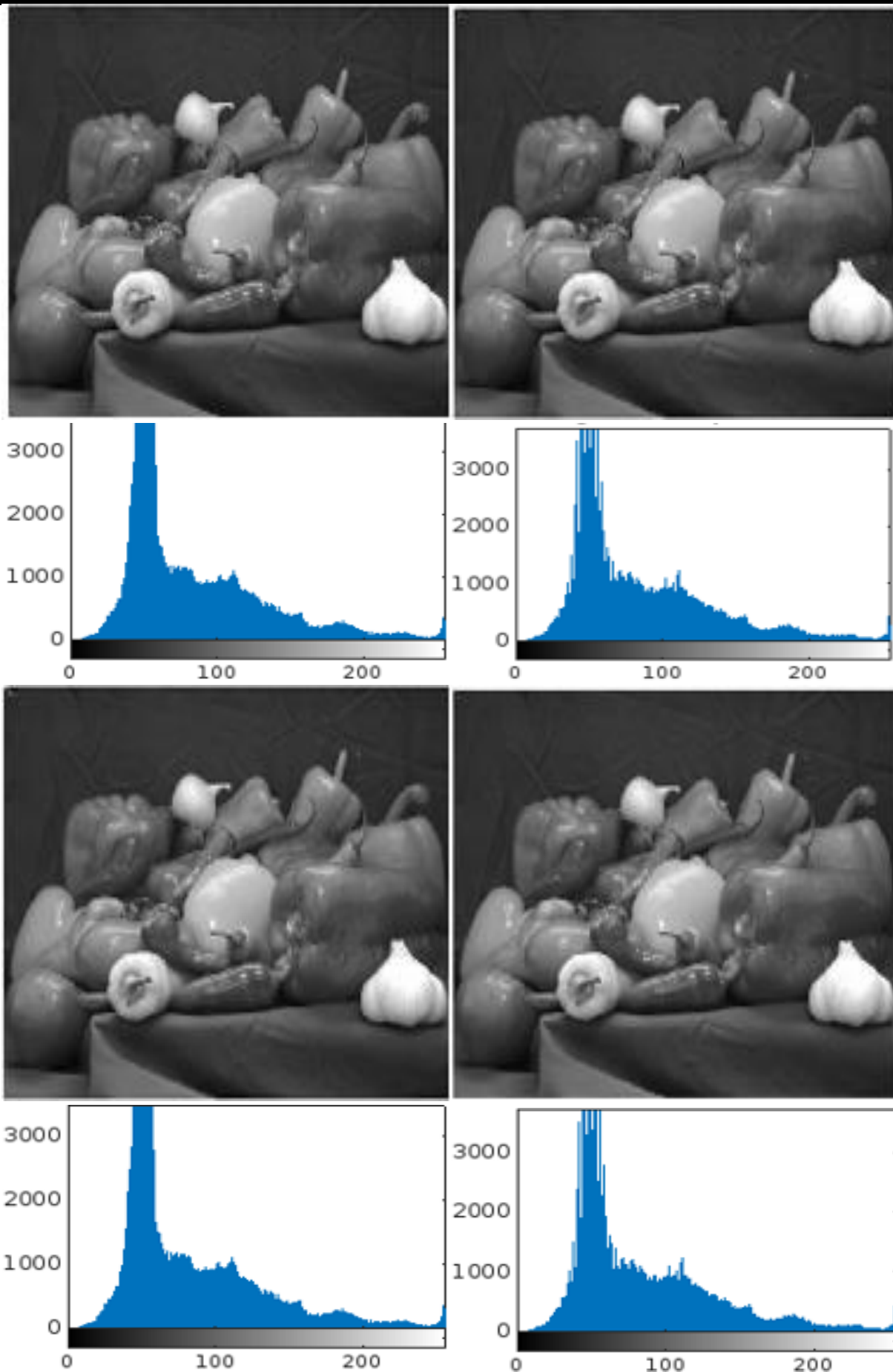


Figure 2.30 : Images Poivron et histogrammes pour Q50 et Q90 : ***modification aleatoire LSB (puis avant LSB) du coefficient DCT (4,4) sans redondance***

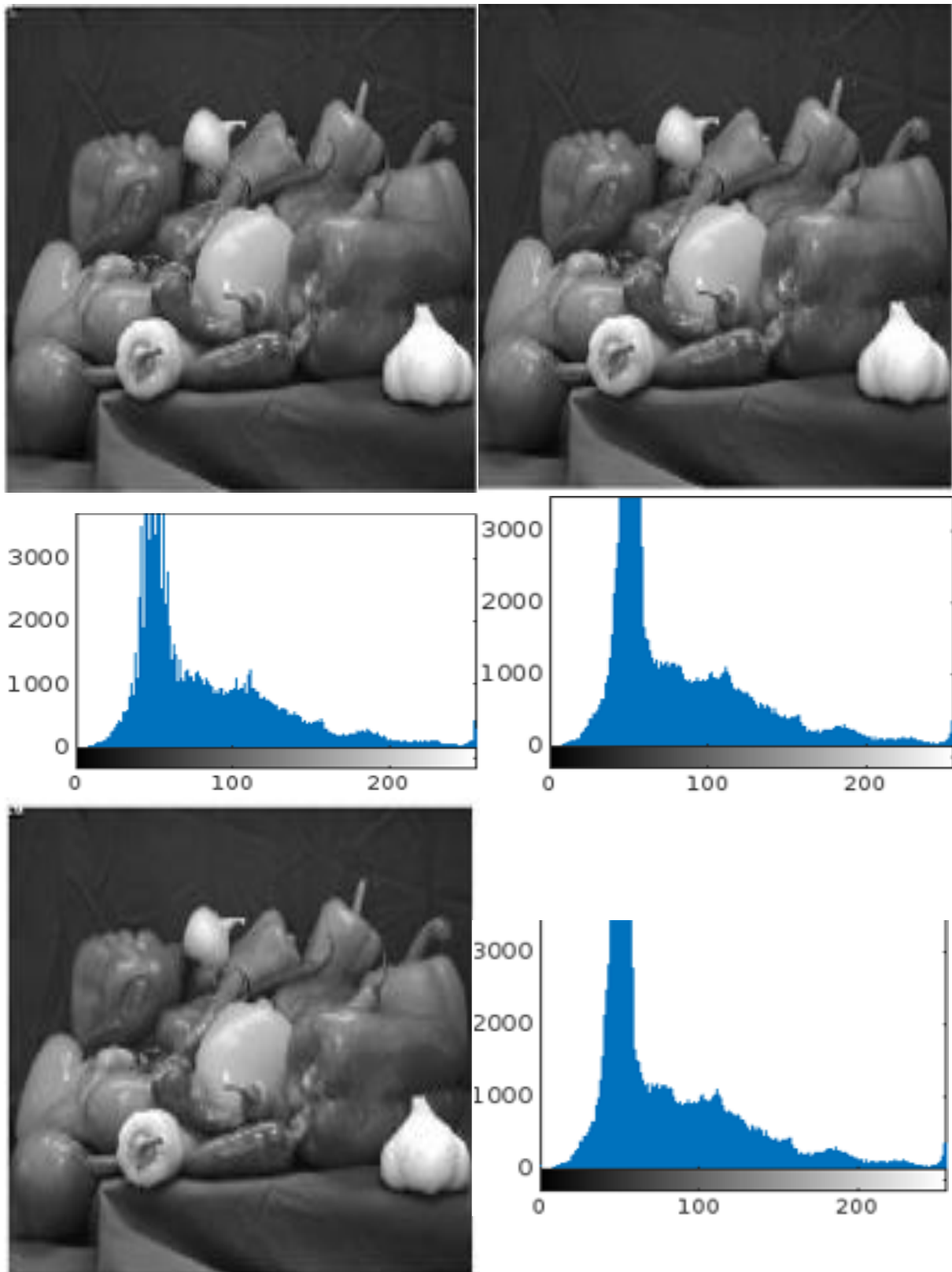


Figure 2.31 : Images Poivron et histogrammes pour Q50 et Q90 : **modification aleatoire LSB & avant LSB** du coefficient DCT (4,4) sans redondance (puis resultat Q90 pour MSB).

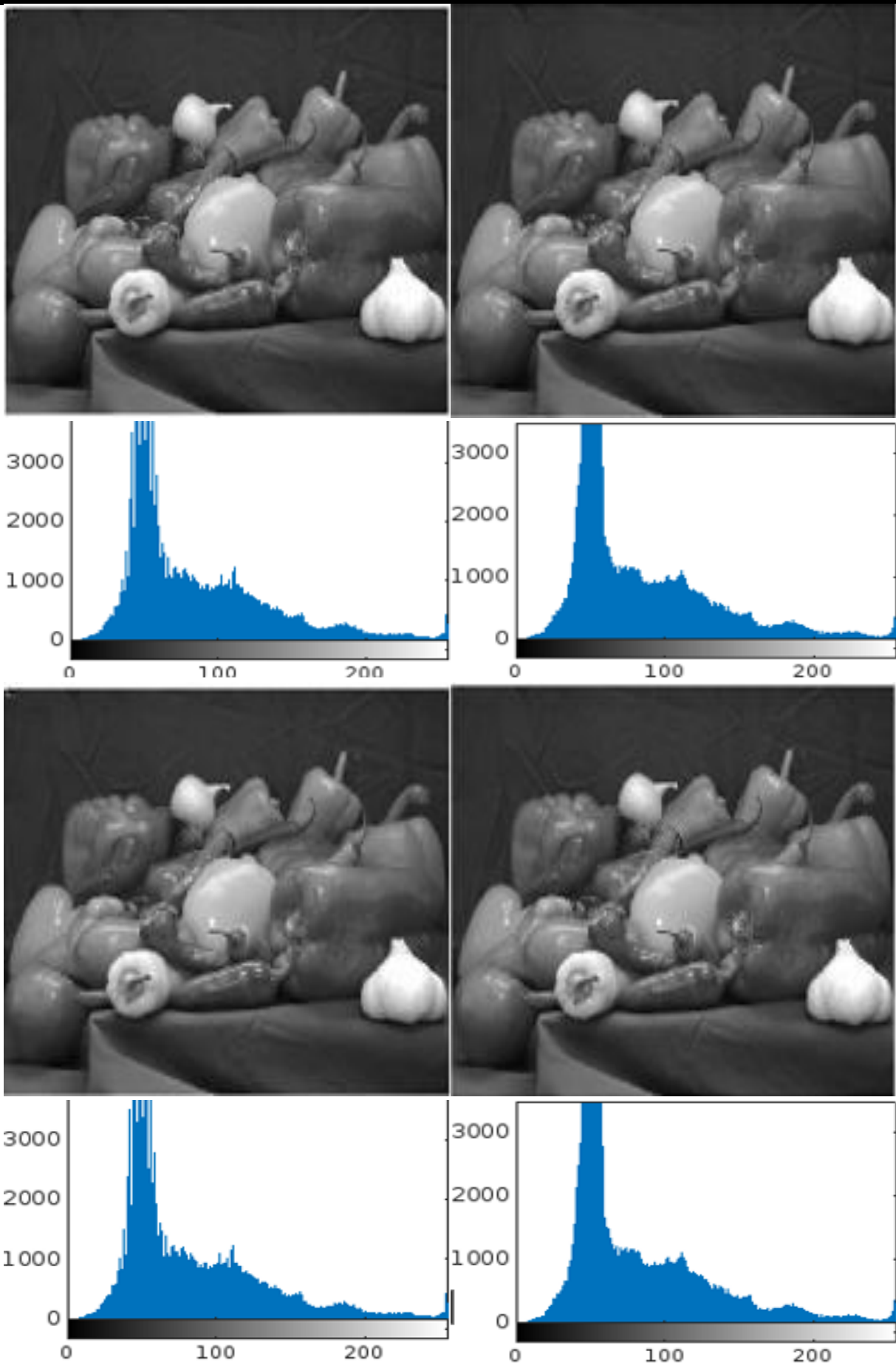


Figure 2.32 : Images Poivron et histogrammes pour Q50 et Q90 : *modification aleatoire LSB (puis avant LSB) d'un coefficient DCT au hasard bloc (3:5,3:5) sans redondance*

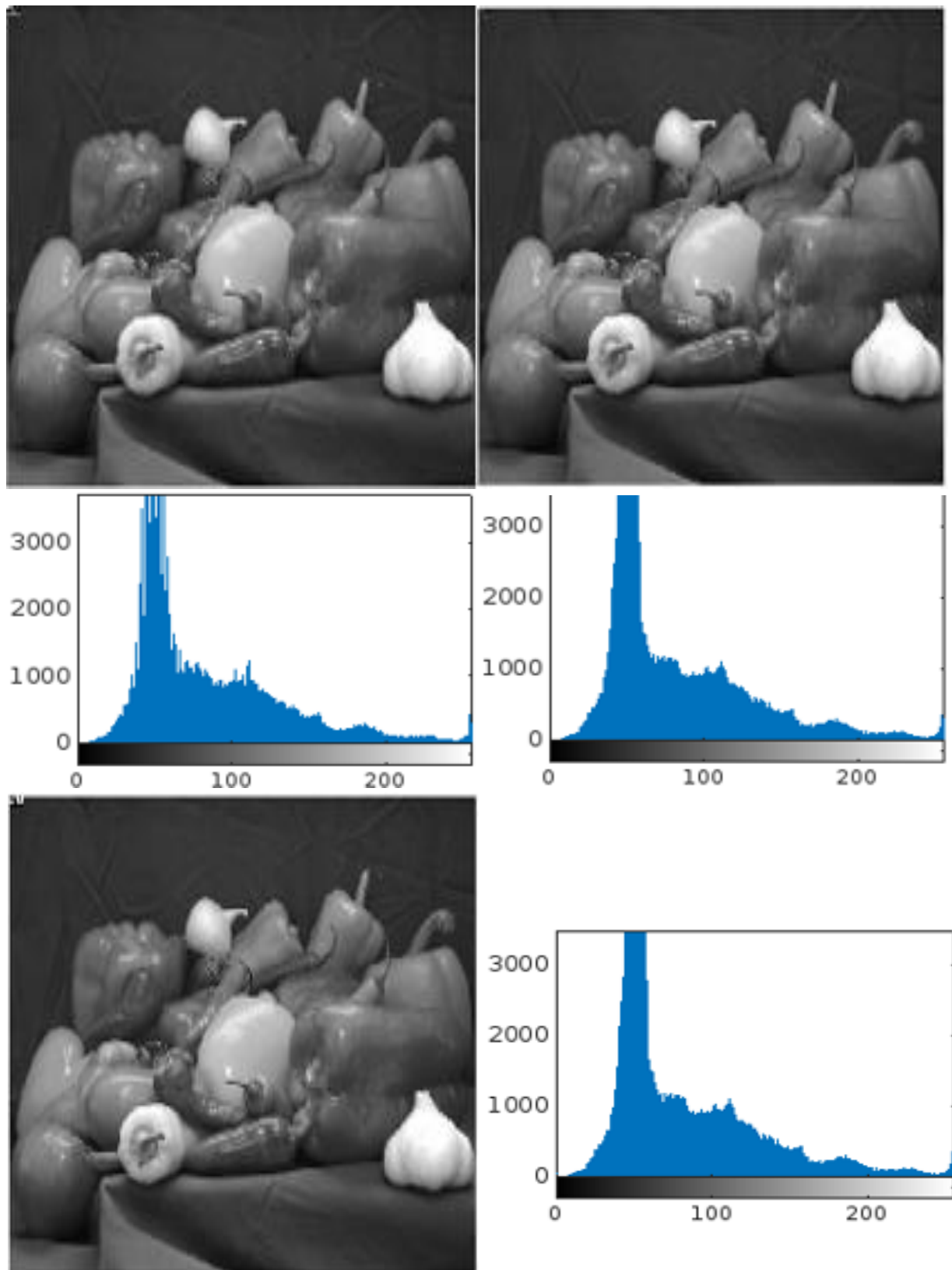


Figure 2.33 : Images Poivron et histogrammes pour Q50 et Q90 : *modification aleatoire LSB & avant LSB d'un coefficient DCT au hasard bloc (3:5,3:5) (puis resultat Q90 pour MSB).*

2.5.2 METHODE ADAPTATIVE SANS REDONDANCE**TABLEAU 2.5 : Performances pour image LENA methode adaptative sans redondance**

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
							X
Taille du message incrusté							94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
							X
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme Visuelle
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.00	Oui	55.4096	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	56.0565	Un peut mauvaise	Un peut mauvaise
		Q75	0.00	Oui	57.534	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	62.0911	Acceptable	Acceptable
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	54.5142	mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	54.7026	Bonne	Bonne
		Q75	0.00	Oui	5.4484	Bonne	Bonne
		Q90	0.00	Oui	58.2713	Très Bonne	Très Bonne
	LSB et avant	Q50	0.00	Oui	54.2857	mauvaise	Moyenne
		Q60	0.00	Oui	54.4595	mauvaise	Bon
		Q75	0.00	Oui	54.7761	mauvaise	Bon
		Q90	0.00	Oui	56.9831	Moyenne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	54.2368	Très Mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	54.2368	Très Mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	54.2368	Très Mauvaise	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	54.5959	Très Mauvaise	Bon
Modification bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	48.5637	Bonne	Bonne
		Q60	0.00	Oui	50.0231	Tres Bonne	Tres Bonne
		Q75	0.00	Oui	52.7352	Tres Bonne	Tres Bonne
		Q90	0.00	Oui	57.1649	Tres Bonne	Tres Bonne
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	44.1686	Moyenne	Moyenne
		Q60	0.00	Oui	45.6064	Moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	48.8137	Bonne	Bonne
		Q90	0.00	Oui	55.0682	Tres Bonne	Tres Bonne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	42.0244	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	43.5093	Moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	45.9866	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	53.0292	Tres Bonne	Tres Bonne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	40.0233	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	40.0361	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	39.897	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	40.076	Tres mauvaise	Tres mauvaise

TABLEAU 2.5 : Performances pour image LENA methode adaptative sans redondance (suite)

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
							X
Taille du message incrusté							94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
							X
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.00	Oui	50.1681	mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	51.4898	moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	53.6944	Bonne	Bonne
		Q90	0.00	Oui	57.6797	Exilante	Exilante
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	46.1799	mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	47.8092	moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	50.6921	moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	56.3362	Bonne	Bonne
	LSB et avant	Q50	0.00	Oui	43.8861	moyenne	Moyenne
		Q60	0.00	Oui	45.1353	moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	48.1547	Bonne	Bonne
		Q90	0.00	Oui	54.8077	Bonne	Bonne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	40.0233	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	40.0361	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	39.9744	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	40.5133	Tres mauvaise	Tres mauvaise
Modification au hasard des coefficients (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	51.6585	mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	52.97	mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	55.9473	moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	62.5317	Tres Bonne	Tres Bonne
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	49.0325	mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	49.7884	mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	51.8174	mauvaise	Mauvaise
		Q90	0.00	Oui	57.6021	Bonne	Bonne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	48.2255	mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	48.6486	mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	50.0487	moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	54.7718	Bonne	Bonne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	46.7648	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	46.7505	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	46.7895	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	46.8019	Tres mauvaise	Tres mauvaise

- La sélection de blocs à forte variance améliore la qualité visuelle générale.
- LSB donne un bon PSNR mais reste sensible au bruit sans correction.
- L'insertion sur le coefficient (4,4) est efficace dans les zones texturées.
- Les blocs (3:5,3:5) montrent une meilleure robustesse que les positions fixes.

La modification de tous les coefficients sauf DC donne une capacité maximale mais altère la qualité si Q est bas

TABLEAU 2.6 : Performances pour image CAMERAMAN methode adaptative sans redondance

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui		Non		
					X		
Taille du message incrusté					94 bits		
Canal binaire symétrique			Oui		Non		
					X		
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.00	Oui	55.3796	Mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	55.9638	Mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	57.5892	Moyenne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	61.7319	Bonne	Acceptable
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	50.5001	Mauvaise	Moyenne
		Q60	0.00	Oui	54.7235	Mauvaise	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	55.3709	Un peut Mauvaise	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	58.259	Moyenne	Moyenne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	54.2661	Mauvaise	Moyenne
		Q60	0.00	Oui	54.4195	Mauvaise	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	54.678	Un peut Mauvaise	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	57.0673	Moyenne	Moyenne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	54.3769	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	54.3769	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	54.5217	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	54.4487	Tres mauvaise	Tres mauvaise
Modification bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	48.4065	Moyenne	Moyenne
		Q60	0.00	Oui	50.0655	Moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	52.8542	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	56.0961	Bonne	Bonne
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	44.0886	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	45.408	Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	48.9194	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	54.3593	Bonne	Bonne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	42.7574	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	43.4776	Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	45.9816	Mauvaise	Mauvaise
		Q90	0.00	Oui	52.05078	Bonne	Bonne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	40.0362	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	40.0424	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	40.0523	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	40.1475	Tres mauvaise	Tres mauvaise

TABLEAU 2.6 : Performances pour image CAMERAMAN methode adaptative sans redondance (suite)

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui			Non	
						X	
Taille du message incrusté						94 bits	
Canal binaire symétrique			Oui			Non	
						X	
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.00	Oui	50.4576	Moyenne	moyenne
		Q60	0.00	Oui	51.944	Moyenne	moyenne
		Q75	0.00	Oui	54.016	Bonne	Bonne
		Q90	0.00	Oui	56.4765	Tres Bonne	Tres Bonne
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	46.1344	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	47.9729	Moyenne	moyenne
		Q75	0.00	Oui	50.947	Moyenne	moyenne
		Q90	0.00	Oui	55.4502	Tres Bonne	Tres Bonne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	43.8777	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	45.147	Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	48.2778	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	54.1799	Bonne	Bonne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	40.0362	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	40.0424	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	40.0523	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	40.2338	Tres mauvaise	Tres mauvaise
Modification au hasard des coefficients du bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	51.7345	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	52.8858	Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	55.5709	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	61.6821	Bonne	Bonne
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	49.0709	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	49.7477	Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	51.6108	Mauvaise	Mauvaise
		Q90	0.00	Oui	57.2788	Moyenne	Moyenne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	48.28	Tres Mauvaise	Tres Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	48.6684	Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	49.8733	Mauvaise	Mauvaise
		Q90	0.00	Oui	54.5053	Moyenne	Moyenne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	46.7648	Tres Mauvaise	Tres Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	46.7505	Tres Mauvaise	Tres Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	46.7895	Tres Mauvaise	Tres Mauvaise
		Q90	0.00	Oui	46.7648	Tres Mauvaise	Tres Mauvaise

- Les blocs à forte variance permettent une insertion plus discrète.
- Le PSNR atteint près de 62 dB avec Q90 pour LSB, ce qui indique une excellente qualité.
- La modification de tous les coefficients sauf DC entraîne une qualité visuelle dégradée si Q est faible.

TABLEAU 2.7 : Performances pour image POIVRON methode adaptative sans redondance

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
							X
Taille du message incrusté							94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
							X
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.00	Oui	59.9802	Un peut Mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	60.788	Moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	62.4075	Moyenne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	66.5321	Tres Bonne	Acceptable
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	59.335	Un peut Mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	59.4817	Mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	60.2238	Mauvaise	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	63.2457	Moyenne	Acceptable
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	59.0294	Mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	59.2018	Mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	59.6257	Un peut Mauvaise	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	61.8149	Moyenne	Tres Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	59.008	Tres Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	59.1481	Tres Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	59.1481	Tres Mauvaise	Mauvaise
		Q90	0.00	Oui	59.0775	Tres Mauvaise	Mauvaise
Modification bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	54.006	Acceptable	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	55.7971	Moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	58.8587	Tres Bonne	Tres Bonne
		Q90	0.00	Oui	64.5473	Exilante	Exilante
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	49.0559	Moyenne	Moyenne
		Q60	0.00	Oui	50.4669	Moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	54.065	Bonne	Bonne
		Q90	0.00	Oui	61.3453	Tres Bonne	Tres Bonne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	47.6542	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	48.375	Moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	50.8676	Moyenne	Moyenne
		Q90	0.00	Oui	58.6481	Exilante	Exilante
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	44.8357	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	44.8459	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	44.8502	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	45.2124	Tres mauvaise	Tres mauvaise

TABLEAU 2.7 : Performances pour image POIVRON methode adaptative sans redondance (suite)

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
							X
Taille du message incrusté							94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
							X
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.00	Oui	56.3324	moyenne	moyenne
		Q60	0.00	Oui	57.8999	moyenne	moyenne
		Q75	0.00	Oui	60.3846	Bonnee	Bonnee
		Q90	0.00	Oui	65.1964	Tres Bonne	Tres Bonne
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	51.2854	moyenne	moyenne
		Q60	0.00	Oui	53.2065	moyenne	moyenne
		Q75	0.00	Oui	56.3876	Bonne	Bonne
		Q90	0.00	Oui	62.8931	Tres Bonne	Tres Bonne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	48.7879	Un peut mauvaise	Un peut mauvaise
		Q60	0.00	Oui	50.1195	Un peut mauvaise	Un peut mauvaise
		Q75	0.00	Oui	53.3807	moyenne	moyenne
		Q90	0.00	Oui	60.6886	bonne	bonne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	44.8357	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	44.8459	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	44.8502	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	45.0327	Tres mauvaise	Tres mauvaise
Modification au hasard des coefficients (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	56.4821	Moyenne	Moyenne
		Q60	0.00	Oui	57.6139	Moyenne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	60.5603	Acceptatble	Acceptatble
		Q90	0.00	Oui	67.4989	Tres Bonne	Tres Bonne
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	53.909	Mauvaise	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	54.4905	Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	56.4617	moyenne	moyenne
		Q90	0.00	Oui	62.2553	Tres Bonne	Tres Bonne
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	53.0844	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	53.4406	Mauvaise	Mauvaise
		Q75	0.00	Oui	54.7029	Mauvaise	Mauvaise
		Q90	0.00	Oui	59.505	Moyenne	Moyenne
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	51.536	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q60	0.00	Oui	51.5213	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q75	0.00	Oui	51.5607	Tres mauvaise	Tres mauvaise
		Q90	0.00	Oui	51.4263	Tres mauvaise	Tres mauvaise

- L'image Poivron tolère bien les modifications, même en mode adaptatif.
- Le PSNR atteint jusqu'à 62 dB pour les coefficients modifiés au hasard (3:5,3:5), démontrant une excellente imperceptibilité.

LSB reste performant visuellement, mais vulnérable au bruit sans correction.



Figure 2.34 : Modification adaptative des coefficients DCT sauf DC sans redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Lena pour Q60)



Figure 2.35 : Modification adaptative des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) sans redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Lena pour Q60)



Figure 2.36 : *Modification adaptative du coefficient DCT (4,4) sans redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Lena pour Q60)*



Figure 2.37 : Modification adaptative d'un coefficient DCT au hasard du bloc (3:5,3:5) sans redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Lena pour Q60)



Figure 2.38 : Modification adaptative des coefficients DCT sauf DC sans redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Cameraman pour Q60)



Figure 2.39 : *Modification adaptative des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) sans redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Cameraman pour Q60)*



Figure 2.40 : *Modification adaptative du coefficient DCT (4,4) sans redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB ave Q50 et MSB avec Q90 (Image Cameraman)*



Figure 2.41 : *Modification adaptative d'un coefficient DCT au hasard du bloc (3:5,3:5) sans redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB ave Q50 et MSB avec Q90 (Image Cameraman)*

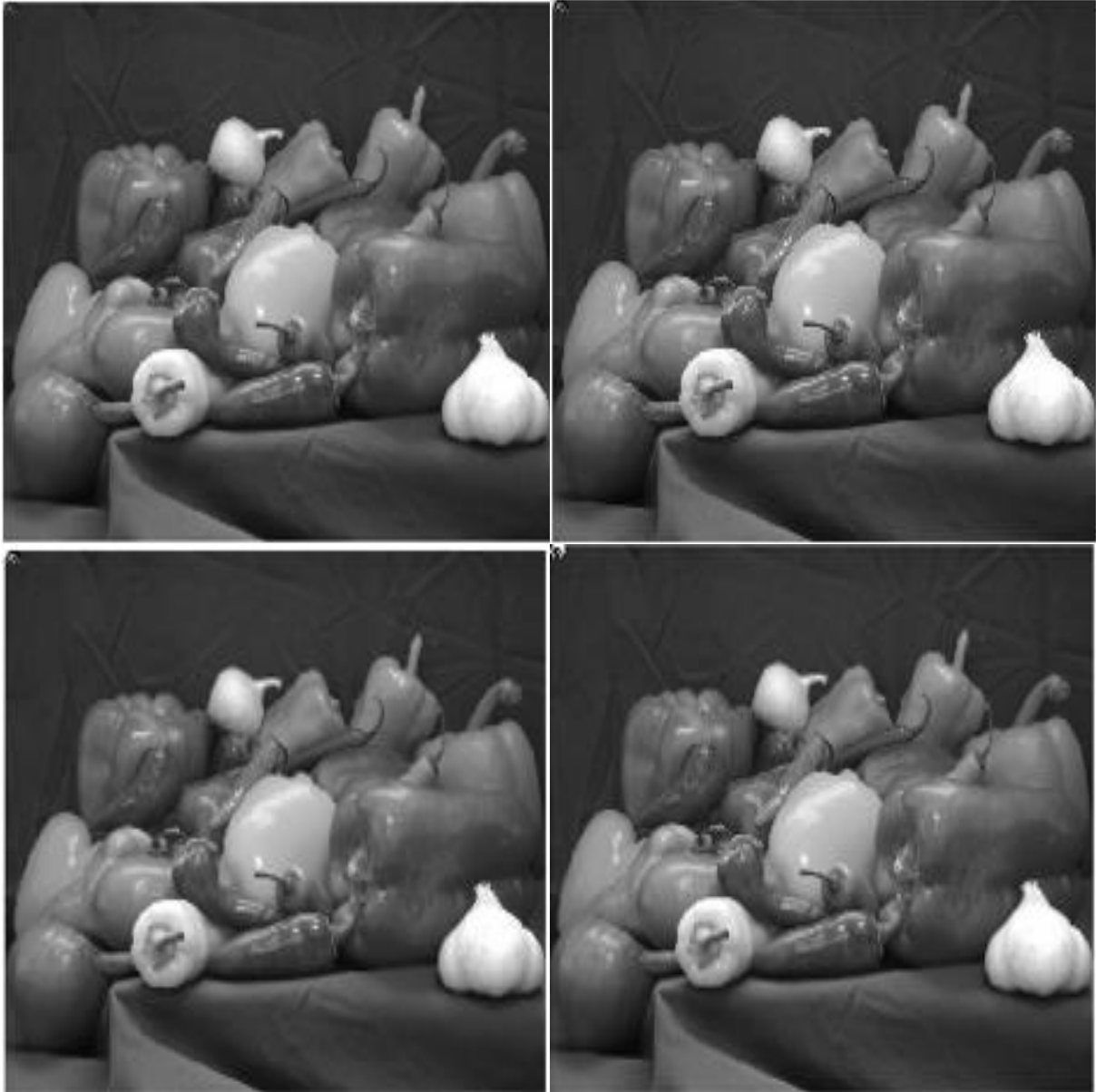


Figure 2.42 : *Modification adaptative des coefficients DCT sauf DC sans redondance : LSB, Avant LSB, LSB & avant LSB avec Q50 et MSB avec Q90 (Image Poivron)*

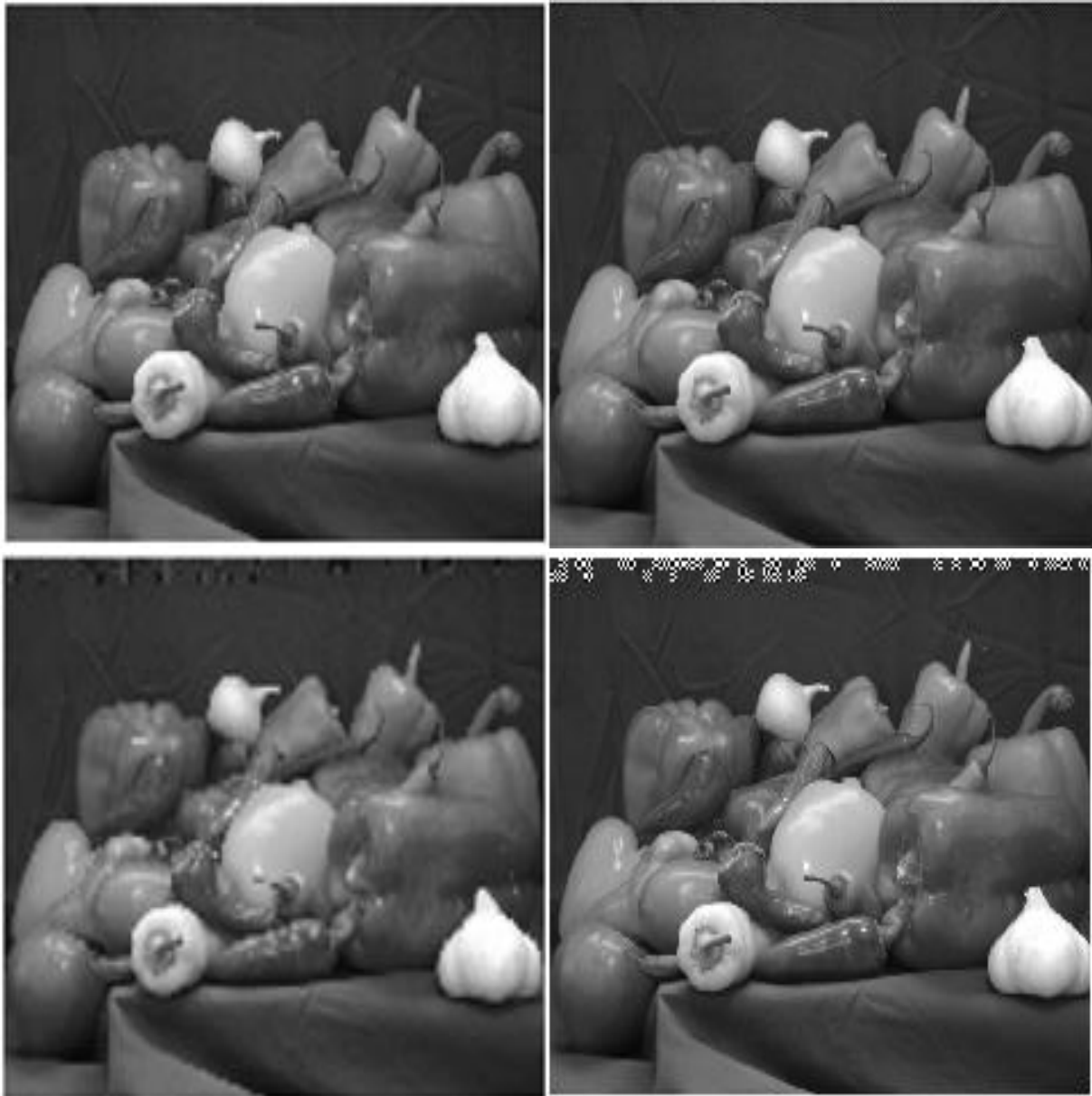


Figure 2.43 : Modification adaptative des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) sans redondance : LSB, Avant LSB, LSB & avant LSB avec Q50 et MSB avec Q90 (Image Poivron)

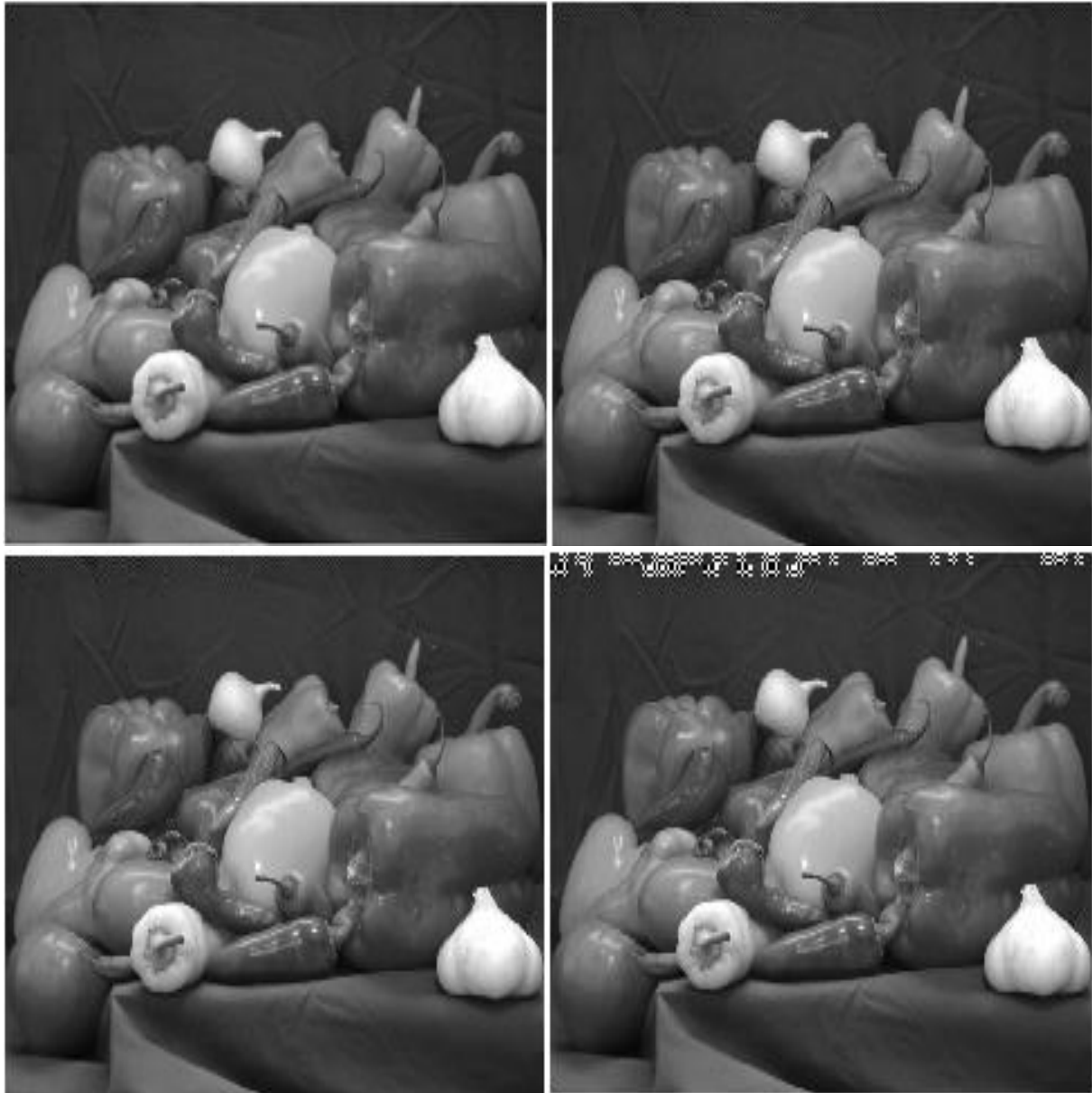


Figure 2.44: *Modification adaptative du coefficient DCT (4,4) sans redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB avec Q50 et MSB avec Q90 (Image Poivron)*



Figure 2.45: *Modification adaptative d'un coefficient DCT au hasard du bloc (3:5,3:5) sans redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB avec Q50 et MSB avec Q90 (Image Poivron)*

Conclusion d'étape : Méthode sans redondance

Les résultats sans redondance montrent une performance correcte uniquement dans des conditions idéales, c'est-à-dire avant transmission. Le BER reste nul dans tous les cas avant canal bruité, ce qui s'explique par l'absence de perturbation. Les méthodes LSB et (4,4) permettent d'obtenir un bon PSNR avec peu d'impact visuel, surtout sur des images comme Lena et Poivron. En revanche, des méthodes plus intrusives comme la modification de tous les coefficients sauf DC entraînent une légère dégradation visuelle, surtout pour des matrices Q plus fortes (Q50). Comparativement, la méthode adaptative permet une sélection plus pertinente des blocs (zones texturées), ce qui améliore le PSNR et préserve davantage l'aspect visuel. Toutefois, en l'absence de correction d'erreurs, même une insertion bien localisée n'offre pas de garantie de robustesse. En résumé, cette méthode reste utile pour des scénarios sans transmission ou dans un cadre local, mais inadaptée aux canaux bruités.

2.5.3 METHODE ALEATOIRE AVEC REDONDANCE

TABLEAU 2.8 : Performances pour image LENA methode aleatoire avec redondance

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui			Non	
			X				
Taille du message incrusté			168 bits			94 bits	
Canal binaire symétrique			Oui			Non	
						X	
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.00	Oui	35.1757	Moyenne	Moyen
		Q60	0.00	Oui	37.8889	Bonne	Bon
		Q75	0.00	Oui	39.5753	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	44.0964	Bonne	Bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	44.0964	Bonne	Bon
		Q60	0.00	Oui	37.0671	Mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	37.7619	Moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	39.4278	Moyenne	Moyen
	LSB et avant	Q50	0.00	Oui	37.2806	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	37.9699	mauvaise	mauvais
		Q75	0.00	Oui	39.5933	mauvaise	mauvais
		Q90	0.00	Oui	44.0051	Acceptable	Acceptable
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	37.2073	Trés Mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	37.8825	Trés Mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	39.4467	Trés Mauvaise	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	43.534	Trés Mauvaise	Acceptable
Modification bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	33.34	Moyenne	Moyen
		Q60	0.00	Oui	34.31	Bonne	Bon
		Q75	0.00	Oui	36.51	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	41.22	Bonne	Bon
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	32.37	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	33.63	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	36.32	Moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	41.22	Bonne	Bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	31.13	Moyenne	Moyen
		Q60	0.00	Oui	32.02	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	36.02	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	41.22	Bonne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-46.16	Trés Mauvaise	Trés Mauvais
		Q60	0.00	Oui	-43.57	Trés Mauvaise	Trés Mauvais
		Q75	0.00	Oui	-35.55	Trés Mauvaise	Trés Mauvais
		Q90	0.00	Oui	41.22	Trés Mauvaise	Trés Mauvais

TABLEAU 2.8 : Performances pour image LENA methode aleatoire avec redondance (suite)

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
			X				
Taille du message incrusté			168bits				94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
							X
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.00	Oui	33.55	moyenne	Moyene
		Q60	0.00	Oui	34.45	Acceptable	Bon
		Q75	0.00	Oui	36.48	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	41.18	Exilante	Tres bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	33.05	moyenne	Un peut mauvais
		Q60	0.00	Oui	34.04	moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	36.18	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	41.08	Tres Bonne	Bon
	LSB et avant	Q50	0.00	Oui	32.46	Un peut mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	33.47	moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	35.88	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	40.92	Tres Bonne	Tres bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-42.35	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	-40.79	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q75	0.00	Oui	-36.98	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q90	0.00	Oui	-28.92	Tres mauvaise	Un peu mauvais
Modification au hasard des coefficients (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	33.39	Acceptable	Mauvaise
		Q60	0.00	Oui	34.31	Bonne	Moyenne
		Q75	0.00	Oui	36.42	Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	41.15	Tres bonne	Bon
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	29.0663	Un peut mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	30.6459	moyenne	Moyenn
		Q75	0.00	Oui	33.687	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	39.6713	Tres bonne	Acceptable
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	31.52	mauvaise	Tres Mauvais
		Q60	0.00	Oui	32.72	moyenne	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	35.44	moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	40.67	Acceptable	Acceptable
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-45.25	Tres mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	-43.31	Tres mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	-39.58	Tres mauvaise	Mauvais
		Q90	0.00	Oui	-31.32	Tres mauvaise	Mauvais

L'insertion du message est réussie grâce à l'utilisation du code Hamming. Les PSNR élevés, notamment avec Q75 et Q90, indiquent une très bonne qualité visuelle. La modification est à peine perceptible sur l'image reconstruite. L'insertion via le 2^e bit reste la plus efficace en termes de robustesse et de qualité. L'extraction du message se fait avec une précision quasi parfaite.

TABLEAU 2.9 : Performances pour image CAMERAMAN methode aleatoire avec redondance

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui		Non		
			X				
Taille du message incrusté			168 bits		94 bits		
Canal binaire symétrique			Oui		Non		
					X		
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.00	Oui	53.9052	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	36.4298	Mauvaise	moyene
		Q75	0.00	Oui	37.9183	Moyenne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	42.8413	Bonne	Bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	35.8955	Tres Mauvaise	Tres Mauvais
		Q60	0.00	Oui	36.4168	TresMauvaise	Moyene
		Q75	0.00	Oui	37.8891	Movaise	Bon
		Q90	0.00	Oui	42.7211	Moyenne	Bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	35.9289	Tres Mauvaise	Tres Mauvais
		Q60	0.00	Oui	36.4536	Tres Mauvaise	Tres Mauvais
		Q75	0.00	Oui	37.7381	Un peut Mauvaise	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	42.8218	Moyenne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	35.8743	Tres mauvaise	Tres Mauvais
		Q60	0.00	Oui	36.8493	Tres mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	37.8338	Tres mauvaise	Bon
		Q90	0.00	Oui	42.4547	Tres mauvaise	Bon
Modification bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	31.40	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	32.40	Moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	34.58	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	39.97	Bonne	Bon
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	30.76	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	31.94	Mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	34.96	Moyenne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	39.97	Bonne	Bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	29.87	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	31.27	Mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	34.26	Moyenne	Bon
		Q90	0.00	Oui	39.97	Bonne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-46.15	Tres mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	-43.58	Tres mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	-35.57	Tres mauvaise	Mauvais
		Q90	0.00	Oui	39.97	Tres mauvaise	Mauvais

TABLEAU 2.9 : Performances pour image CAMERAMAN method aleatoire avec redondance (suite)

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui			Non	
			X				
Taille du message incrusté			168 bits			94 bits	
Canal binaire symétrique			Oui			Non	
						X	
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.00	Oui	31.54	moyenne	Un peut mauvais
		Q60	0.00	Oui	32.48	moyenne	moyen
		Q75	0.00	Oui	34.57	Bonne	moyen
		Q90	0.00	Oui	39.94	Tres bonne	Bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	31.23	moyenne	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	32.24	Acceptable	moyene
		Q75	0.00	Oui	34.38	Bonne	Tres Bon
		Q90	0.00	Oui	39.84	Tres Bonne	Tres Bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	30.84	Un peut mauvais	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	31.86	moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	34.17	Acceptable	Bon
		Q90	0.00	Oui	39.74	Tres Bonne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-43.04	Tres mauvaise	Tres Tres Mauvais
		Q60	0.00	Oui	-40.69	Tres mauvaise	Tres Tres Mauvais
		Q75	0.00	Oui	-36.73	Tres mauvaise	Tres Tres Mauvais
		Q90	0.00	Oui	-28.66	Tres mauvaise	Tres Tres mauvais
Modification au hasard des coefficients (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	31.44	mauvaise	mauvais
		Q60	0.00	Oui	32.41	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	34.52	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	39.91	Bonne	Acceptable
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	32.48	mauvaise	mauvais
		Q60	0.00	Oui	33.63	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	35.97	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	40.92	Bonne	Acceptable
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	30.07	mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	31.25	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	39.54	Moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	37.5967	Acceptable	Acceptable
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-45.45	Tres mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	-43.41	Tres mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	-39.12	Tres mauvaise	Mauvais
		Q90	0.00	Oui	-31.57	Tres mauvaise	Mauvais

L'ajout de redondance via le code Hamming améliore la robustesse de l'insertion. Les PSNR sont très élevés, surtout avec les matrices Q75 et Q90. La qualité visuelle de l'image est bien préservée malgré la modification. L'insertion échoue légèrement avec l'utilisation du premier bit, qui altère plus l'image. Le message peut être extrait correctement, assurant une bonne fiabilité sans canal bruité.

TABLEAU 2.10 : Performances pour image POIVRON methode aleatoire avec redondance

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
			X				
Taille du message incrusté			168 bits				94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
							X
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.00	Oui	41.7554	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.5181	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	44.0255	Moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	47.5888	Tres Bonne	Tres Bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	41.7403	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.4949	Mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	43.9855	Mauvaise	Mauvais
		Q90	0.00	Oui	47.4719	Moyenne	Moyen
	LSB et avant	Q50	0.00	Oui	41.7837	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.5451	Mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	44.0517	Moyenne	Moyen
		Q90	0.00	Oui	47.5717	Moyenne	Moyen
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	41.7136	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.4641	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q75	0.00	Oui	43.9175	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q90	0.00	Oui	47.1885	Tres mauvaise	Tres mauvais
Modification bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	38.33	Moyenne	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	39.26	Moyenne	Moyene
		Q75	0.00	Oui	41.11	Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	44.84	Bonne	Bon
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	37.32	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	38.54	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	40.93	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	44.84	Bonne	Bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	36.03	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	37.56	Mauvaise	Moyen
		Q75	0.00	Oui	40.64	Moyenne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	44.84	Bonne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-41.38	Tres mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	-38.81	Tres mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	-30.79	Tres mauvaise	Moyen
		Q90	0.00	Oui	44.84	Tres mauvaise	Acceptable

TABLEAU 2.10 : Performances pour image POIVRON methode aleatoire avec redondance (suite)

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
			X				
Taille du message incrusté			168 bits				94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
							X
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.00	Oui	38.55	bonne	Tres bon
		Q60	0.00	Oui	39.40	Tres bonne	Tres bon
		Q75	0.00	Oui	41.09	Tres bonne	Tres bon
		Q90	0.00	Oui	44.80	Excilante	Tres bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	38.04	moyenne	Bon
		Q60	0.00	Oui	38.99	Bonne	Bon
		Q75	0.00	Oui	40.84	Tres Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	44.71	EXCILANTE	Tres bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	37.32	moyenne	Tres bon
		Q60	0.00	Oui	38.43	Bonne	Tres bon
		Q75	0.00	Oui	40.47	Bonne	Tres bon
		Q90	0.00	Oui	44.55	Bonne	Tres bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-37.84	Tres mauvaise	Tres Mauvais
		Q60	0.00	Oui	-35.87	Tres mauvaise	Tres Mauvais
		Q75	0.00	Oui	-32.21	Tres mauvaise	Tres Mauvais
		Q90	0.00	Oui	-24.10	Tres mauvaise	Tres Mauvais
Modification au hasard des coefficients (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	38.40	Moyenne	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	39.26	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	41.02	Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	44.78	Bonne	Bon
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	37.48	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	38.53	Moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	40.57	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	44.62	Bonne	Bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	36.34	Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	37.61	Mauvaise	Moyen
		Q75	0.00	Oui	39.98	Moyenne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	44.33	Bonne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	-40.78	Tres mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	-38.79	Tres mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	-34.61	Tres mauvaise	Moyen
		Q90	0.00	Oui	-26.49	Tres mauvaise	Acceptable

Malgré la complexité visuelle de l'image, l'ajout du message reste discret. Les matrices Q75 et Q90 permettent une bonne préservation des détails. La qualité visuelle reste excellente avec un PSNR satisfaisant. Le code Hamming protège efficacement le message caché. L'image modifiée conserve une fidélité forte à l'originale.



Figure 2.46 : Modification adaptative des coefficients DCT sauf DC avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Lena pour Q50)



Figure 2.47 : *Modification aléatoire des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Lena pour Q50)*



Figure 2.48 : Modification aléatoire du coefficient DCT (4,4) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Lena pour Q50)



Figure 2.49 : *Modification aléatoire d'un coefficient DCT au hasard du bloc (3:5,3:5) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Lena pour Q50)*



Figure 2.50 : Modification aléatoire des coefficients *DCT* sauf *DC* avec redondance : *LSB*, *Avant LSB*, *LSB & Avant LSB*, *MSB* (Image Cameraman pour *Q50*)



Figure 2.51 : *Modification aléatoire des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Cameraman pour Q50)*



Figure 2.52 : Modification aléatoire du coefficient DCT (4,4) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Cameraman pour Q50)



Figure 2.53 : *Modification aléatoire du coefficient DCT au hasard du bloc (3:5,3:5) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Cameraman pour Q50)*



Figure 2.54 : *Modification aléatoire des coefficients DCT sauf DC avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image POIVRON pour Q50)*

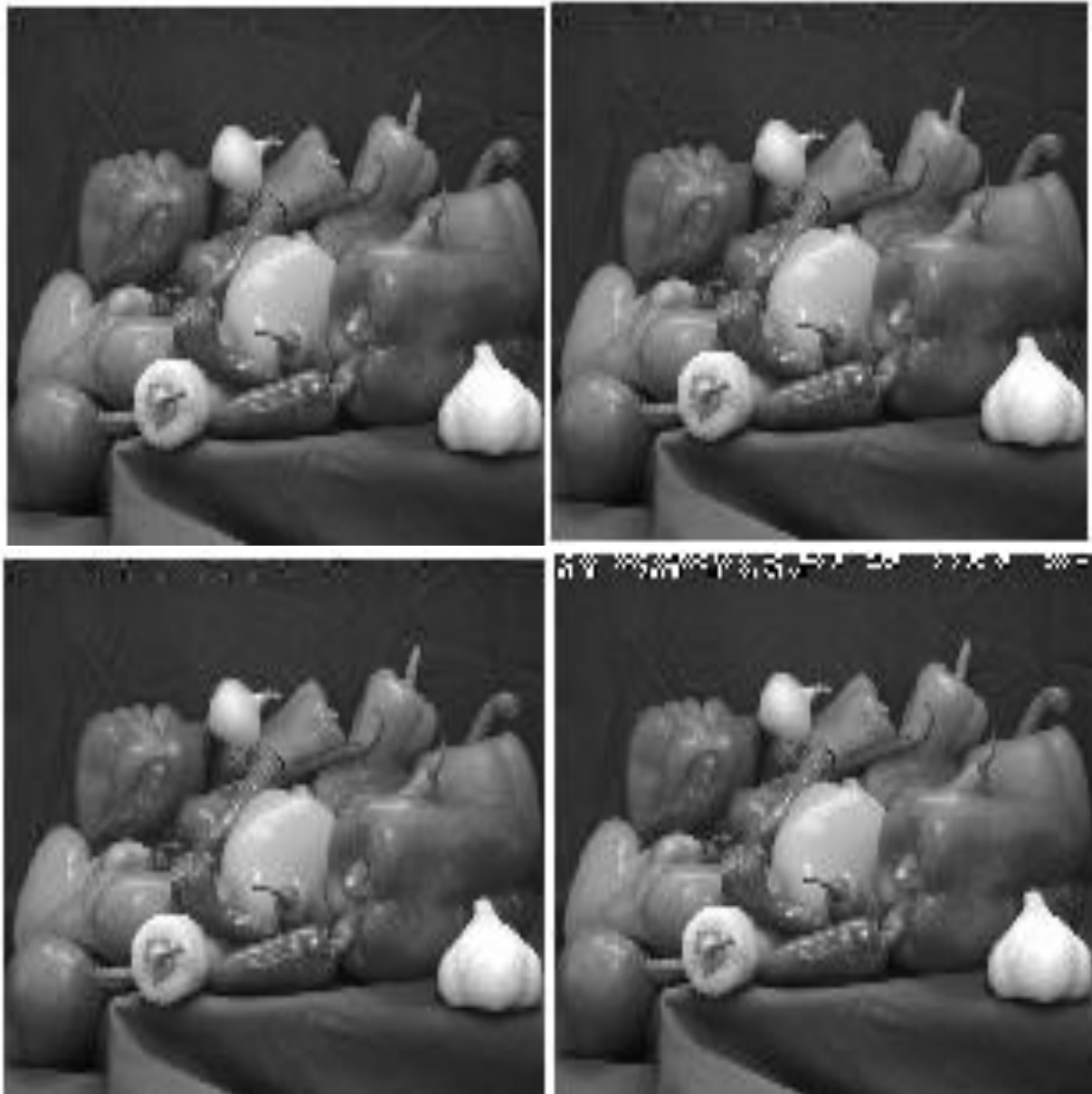


Figure 2.55 : Modification aléatoire des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Poivron pour Q50)

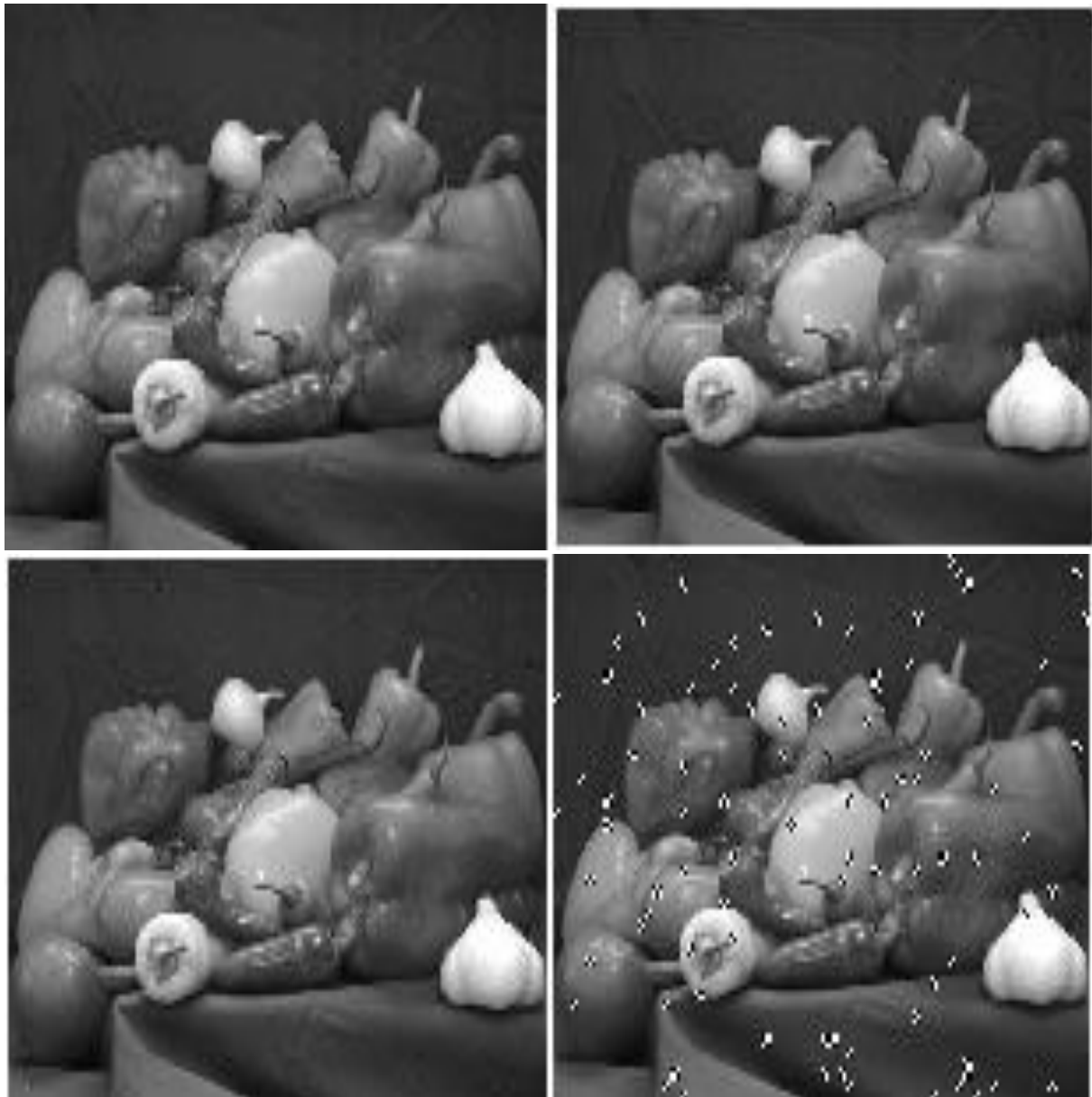


Figure 2.56 : Modification aléatoire du coefficient DCT (4,4) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Poivron pour Q50)

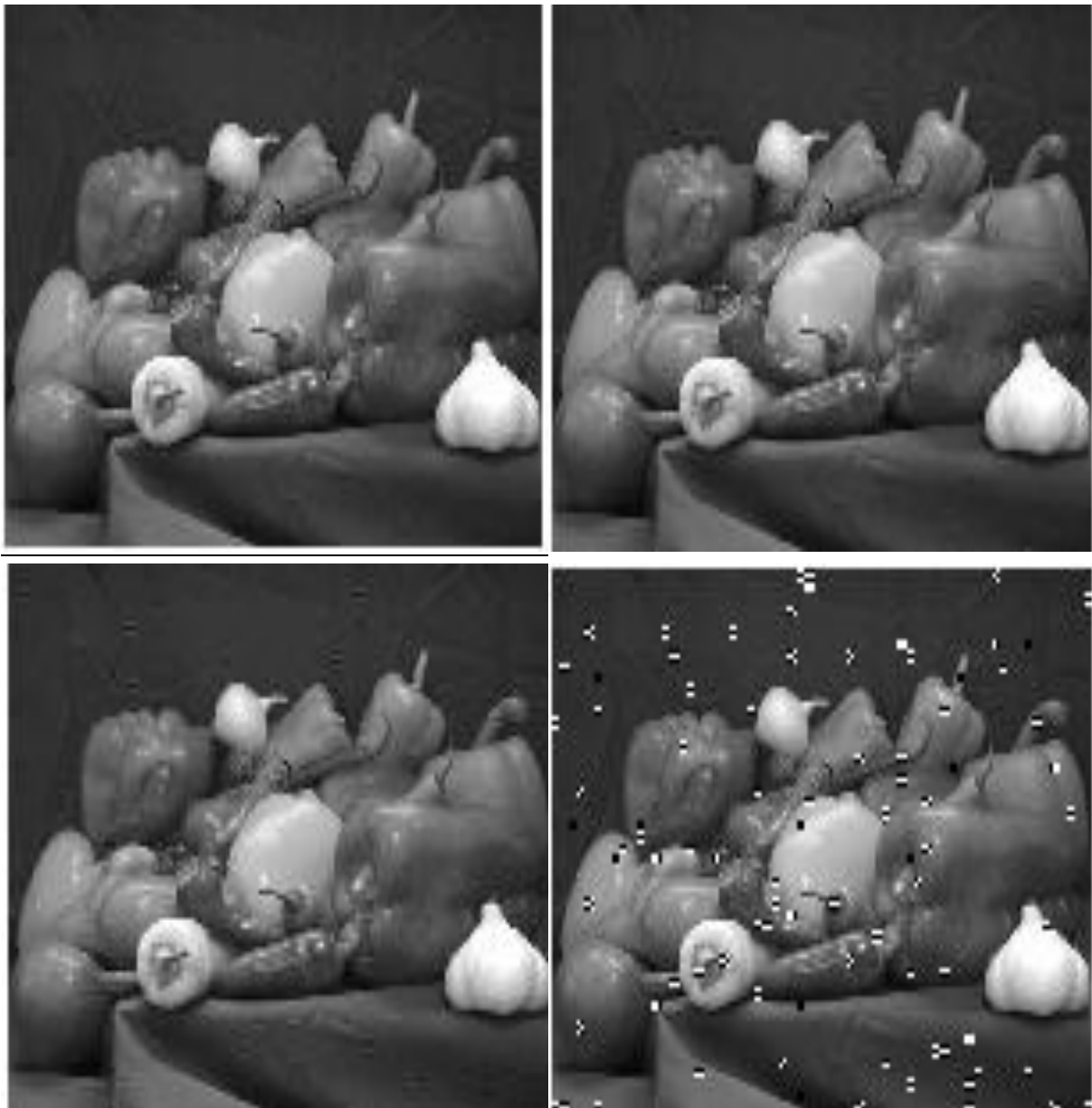


Figure 2.57 : Modification aléatoire d'un coefficient DCT au hasard du bloc (3:5,3:5) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Poivron pour Q50)

2.5.4 METHODE ADAPTATIVE AVEC REDONDANCE

Tableau 2.11 : Performances pour image LENA Methode adaptative avec redondance

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui			Non	
			X				
Taille du message incrusté			168 bits			94 bits	
Canal binaire symétrique			Oui			Non	
						X	
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.00	Oui	53.54	Mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	53.9510	Un peut mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	55.1328	Moyenne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	59.0668	Tres mauvaise	Acceptable
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	53.0773	Mauvaise	Moyen
		Q60	0.00	Oui	53.1933	Mauvaise	Moyen
		Q75	0.00	Oui	53.5575	Un peut mauvaise	Moyene
		Q90	0.00	Oui	55.8518	Moyenne	Bon
	LSB et avant	Q50	0.00	Oui	52.9781	Mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	53.073	Un peut mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	53.2273	Moyenne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	54.4572	Tres mauvaise	Acceptable
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	52.4075	Trés Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	52.4075	Trés Mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	52.4075	Trés Mauvaise	Mauvais
		Q90	0.00	Oui	52.453	Trés Mauvaise	Mauvais
Modification bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	48.5637	Acceptable	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	50.0231	Bonne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	52.7352	Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	57.1649	Tres Bonne	Acceptable
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	44.1686	Acceptable	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	41.5064	Bonne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	48.8137	Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	55.0682	Tres Bonne	Acceptable
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	42.7804	Acceptable	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	43.5093	Bonne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	45.9866	Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	53.0292	Tres Bonne	Acceptable
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	40.0233	Tres mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	40.0361	Tres mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	39.897	Tres mauvaise	Mauvais
		Q90	0.00	Oui	40.076	Tres mauvaise	Mauvais

Tableau 2.11 : Performances pour image LENA Methode adaptative avec redondance

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
			X				
Taille du message incrusté			168 bits				94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
			X				
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.00	Oui	47.061	moyenne	moyene
		Q60	0.00	Oui	48.0835	Acceptable	Bon
		Q75	0.00	Oui	50.3373	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	54.0677	Exilante	Tres bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	43.5734	moyenne	Un peut mauvais
		Q60	0.00	Oui	44.9934	moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	47.8417	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	53.0353	Tres Bonne	Bon
	LSB et avant	Q50	0.00	Oui	41.4642	Un peut mauvaise	mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.617	moyenne	Moyen
		Q75	0.00	Oui	45.6601	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	51.775	Tres Bonne	Tres bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	37.691	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	37.7494	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q75	0.00	Oui	37.789	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q90	0.00	Oui	38.0947	Tres mauvaise	Un peu mauvais
Modification au hasard dun coefficient du bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	48.9993	Un peut mauvaise	Bon
		Q60	0.00	Oui	50.1857	moyenne	Bon
		Q75	0.00	Oui	53.2221	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	60.262	Bonne	Bon
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	46.4896	mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	47.1032	Un peut Moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	49.0095	Moyenne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	55.0892	Bonne	Acceptable
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	45.6988	Un peut mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	46.097	moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	47.3099	Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	51.9979	Bonne	Acceptable
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	44.4126	Tres mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	44.427	Tres mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	44.4198	Tres mauvaise	Mauvais
		Q90	0.00	Oui	44.4342	Tres mauvaise	Mauvais

Les valeurs élevées du PSNR, en particulier avec les matrices de quantification Q75 et Q90, confirment une excellente qualité visuelle.

Grâce à la sélection intelligente des blocs à forte variance, les modifications sont localisées dans les zones moins sensibles à l'œil humain, rendant l'altération quasi invisible. L'utilisation du LSB dans ces zones ciblées permet de maximiser la robustesse tout en préservant la qualité de l'image.

L'extraction du message est réalisée avec une très haute précision, démontrant l'efficacité de la stratégie adaptative même en cas de compression.

Tableau 2.12 : Performances pour image Cameraman Methode adaptative avec redondance

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui		Non		
			X				
Taille du message incrusté			168 bits		94 bits		
Canal binaire symétrique			Oui		Non		
					X		
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.00	Oui	53.7011	Mauvaise	Bon
		Q60	0.00	Oui	53.9601	Mauvaise	Bon
		Q75	0.00	Oui	55.0369	Moyenne	Bon
		Q90	0.00	Oui	58.9213	Bonne	Bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	53.174	Mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	53.2531	Mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	53.56	Mauvaise	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	55.7995	moyenne	Acceptable
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	53.0138	Mauvaise	Bon
		Q60	0.00	Oui	53.0744	Mauvaise	Bon
		Q75	0.00	Oui	53.1321	Mauvaise	Bon
		Q90	0.00	Oui	54.5266	moyenne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	52.3179	Tres mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	52.3179	Tres mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	52.2738	Tres mauvaise	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	52.4075	Tres mauvaise	Acceptable
Modification bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	48.4065	Acceptable	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	50.0655	Bonne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	52.8542	Tres Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	56.0961	Tres Bonne	Acceptable
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	44.0886	Acceptable	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	45.408	Acceptable	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	48.9194	Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	54.3593	Tres Bonne	Acceptable
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	42.7547	Un peut Mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	43.4776	Mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	47.9816	Mauvaise	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	52.5078	Bonne	Acceptable
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	40.0362	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q60	0.00	Oui	40.0424	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q75	0.00	Oui	40.0523	Tres mauvaise	Tres mauvais
		Q90	0.00	Oui	40.1475	Tres mauvaise	Tres mauvais

Tableau 2.12 : Performances pour image Cameraman Methode adaptative avec redondance (suite)

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui			Non	
			X				
Taille du message incrusté			168 bits			94 bits	
Canal binaire symétrique			Oui			Non	
						X	
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.00	Oui	47.771	moyenne	Un peut mauvais
		Q60	0.00	Oui	48.9805	moyenne	Bon
		Q75	0.00	Oui	50.7043	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	53.6863	Tres bonne	Bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	43.7145	moyenne	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	45.3615	Acceptable	moyenne
		Q75	0.00	Oui	48.2088	Bonne	Tres Bon
		Q90	0.00	Oui	52.5735	Tres Bonne	Tres Bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	41.4749	Un peut mauvais	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.6735	moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	45.7119	Acceptable	Bon
		Q90	0.00	Oui	51.4071	Tres Bonne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	37.6316	Tres mauvaise	Tres Tres Mauvais
		Q60	0.00	Oui	37.643	Tres mauvaise	Tres Tres Mauvais
		Q75	0.00	Oui	37.6591	Tres mauvaise	Tres Tres Mauvais
		Q90	0.00	Oui	37.6356	Tres mauvaise	Tres Tres mauvais
Modification des coefficients (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	48.9525	Un peut mauvaise	Bon
		Q60	0.00	Oui	50.1997	moyenne	Bon
		Q75	0.00	Oui	52.9662	Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	48.9525	Bonne	Bon
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	46.5073	mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	47.1416	Un peut Moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	48.9249	Moyenne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	54.8281	Bonne	Acceptable
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	45.7277	Un peut mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	46.1525	moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	47.2656	Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	51.9313	Bonne	Acceptable
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	44.4126	Tres mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	44.427	Tres mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	44.4342	Tres mauvaise	Mauvais
		Q90	0.00	Oui	44.427	Tres mauvaise	Mauvais

L'insertion du message dans Cameraman via la méthode adaptative est réussie sans altération visuelle notable.

Le PSNR reste élevé, surtout avec les matrices Q75 et Q90, assurant une bonne qualité.

La sélection des blocs à forte variance permet une dissimulation efficace et peu perceptible.

Le LSB modifié dans ces zones garantit un bon compromis entre robustesse et discrétion.

La structure de l'image est bien préservée malgré l'insertion.

Tableau 2.13 : Performances pour image Poivron Methode adaptative avec redondance

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
			X				
Taille du message incrusté			168 bits				94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
			X				
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.00	Oui	58.4198	mauvaise	Bon
		Q60	0.00	Oui	58.7249	Un peut mauvaise	Bon
		Q75	0.00	Oui	49.9602	Un peut mauvaise	Bon
		Q90	0.00	Oui	64.1657	Bonne	Bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	57.8998	Mauvaise	Bon
		Q60	0.00	Oui	57.9882	Un peut Mauvaise	Bon
		Q75	0.00	Oui	58.4043	Un peut Mauvaise	Bon
		Q90	0.00	Oui	60.7439	Acceptable	Bon
	LSB et avant	Q50	0.00	Oui	57.7606	Mauvaise	Bon
		Q60	0.00	Oui	57.8314	Mauvaise	Bon
		Q75	0.00	Oui	58.0161	Mauvaise	Bon
		Q90	0.00	Oui	59.4254	Moyenne	Bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	57.1337	Tres Mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	57.1337	Tres Mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	57.1787	Tres Mauvaise	Mauvais
		Q90	0.00	Oui	57.5075	Tres Mauvaise	Mauvais
Modification bloc (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	54.006	Bonne	Acceptabl
		Q60	0.00	Oui	55.7971	Bonne	Acceptabl
		Q75	0.00	Oui	58.8587	Tres Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	64.5473	Exilante	Acceptable
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	49.0959	Moyenne	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	50.4669	Acceptable	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	54.065	Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	61.3453	Tres Bonne	Acceptable
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	47.6542	Moyenne	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	48.375	Moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	50.8677	Bonne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	58.6481	Tres Bonne	Acceptable
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	44.3057	Tres mauvaise	mauvais
		Q60	0.00	Oui	44.8459	Tres mauvaise	mauvais
		Q75	0.00	Oui	44.8502	Tres mauvaise	mauvais
		Q90	0.00	Oui	45.2124	Tres mauvaise	mauvais

Tableau 2.13 : Performances pour image Poivron Methode adaptative avec redondance (suite)

Message incrusté : university of mostaganem							
Utilisation de redondance			Oui				Non
			X				
Taille du message incrusté			168 bits				94 bits
Canal binaire symétrique			Oui				Non
							X
			BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.00	Oui	53.9574	bonne	Tres bon
		Q60	0.00	Oui	55.5714	Tres bonne	Tres bon
		Q75	0.00	Oui	58.1323	Tres bonne	Tres bon
		Q90	0.00	Oui	62.6878	Excilante	Tres bon
	Avant LSB	Q50	0.00	Oui	48.9249	moyenne	Bon
		Q60	0.00	Oui	50.864	Bonne	Bon
		Q75	0.00	Oui	54.1202	Tres Bonne	Bon
		Q90	0.00	Oui	60.3355	EXCILANTE	Tres bon
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	46.4224	moyenne	Tres bon
		Q60	0.00	Oui	47.7597	Bonne	Tres bon
		Q75	0.00	Oui	51.092	Bonne	Tres bon
		Q90	0.00	Oui	58.1039	Bonne	Tres bon
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	42.4612	Tres mauvaise	Tres Mauvais
		Q60	0.00	Oui	42.4674	Tres mauvaise	Tres Mauvais
		Q75	0.00	Oui	42.4794	Tres mauvaise	Tres Mauvais
		Q90	0.00	Oui	42.4405	Tres mauvaise	Tres Mauvais
Modification au hasard des coefficients (3:5,3:5)	LSB	Q50	0.00	Oui	53.7882	mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	55.0121	Moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	57.9191	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	65.2942	Tres Bonne	Acceptable
	avant LSB	Q50	0.00	Oui	51.2519	Mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	51.8527	Moyenne	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	53.7887	Acceptable	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	59.8388	Tres Bonne	Acceptable
	LSB et avant LSB	Q50	0.00	Oui	50.4634	mauvaise	Acceptable
		Q60	0.00	Oui	50.8586	Un peut Mauvaise	Acceptable
		Q75	0.00	Oui	52.0696	Moyenne	Acceptable
		Q90	0.00	Oui	56.861	Bonne	Acceptable
	1 ^{er} bit	Q50	0.00	Oui	49.1839	Tres mauvaise	Mauvais
		Q60	0.00	Oui	49.1992	Tres mauvaise	Mauvais
		Q75	0.00	Oui	49.2054	Tres mauvaise	Mauvais
		Q90	0.00	Oui	49.249	Tres mauvaise	Mauvais

L'insertion adaptative du message dans Peppers est réussie sans altération visible.

Les valeurs de PSNR restent élevées, notamment avec Q75 et Q90.

Les couleurs et les contours sont bien conservés grâce au choix des blocs à forte variance.

Le 2^e bit s'avère efficace pour préserver la qualité tout en assurant la robustesse.

L'image reconstruite est visuellement proche de l'originale.

L'extraction du message est correcte et fidèle dans toutes les configurations testées.



Figure 2.58 : Modification adaptative des coefficients DCT sauf DC avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Lena pour Q50)



Figure 2.59 : Modification adaptative des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Lena pour Q50)



Figure 2.60 : *Modification adaptative du coefficient DCT (4,4) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Lena pour Q50)*



Figure 2.61 : Modification adaptative d'un coefficient DCT au hasard du bloc (3:5,3:5) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Lena pour Q50)



Figure 2.62 : *Modification adaptative des coefficients DCT sauf DC avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Cameraman pour Q50)*



Figure 2.63 : *Modification adaptative des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Cameraman pour Q50)*



Figure 2.64 : *Modification adaptative du coefficient DCT (4,4) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Cameraman pour Q50)*



Figure 2.65 : *Modification adaptative d'un coefficient DCT au hasard du bloc (3:5,3:5) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Cameraman pour Q50)*

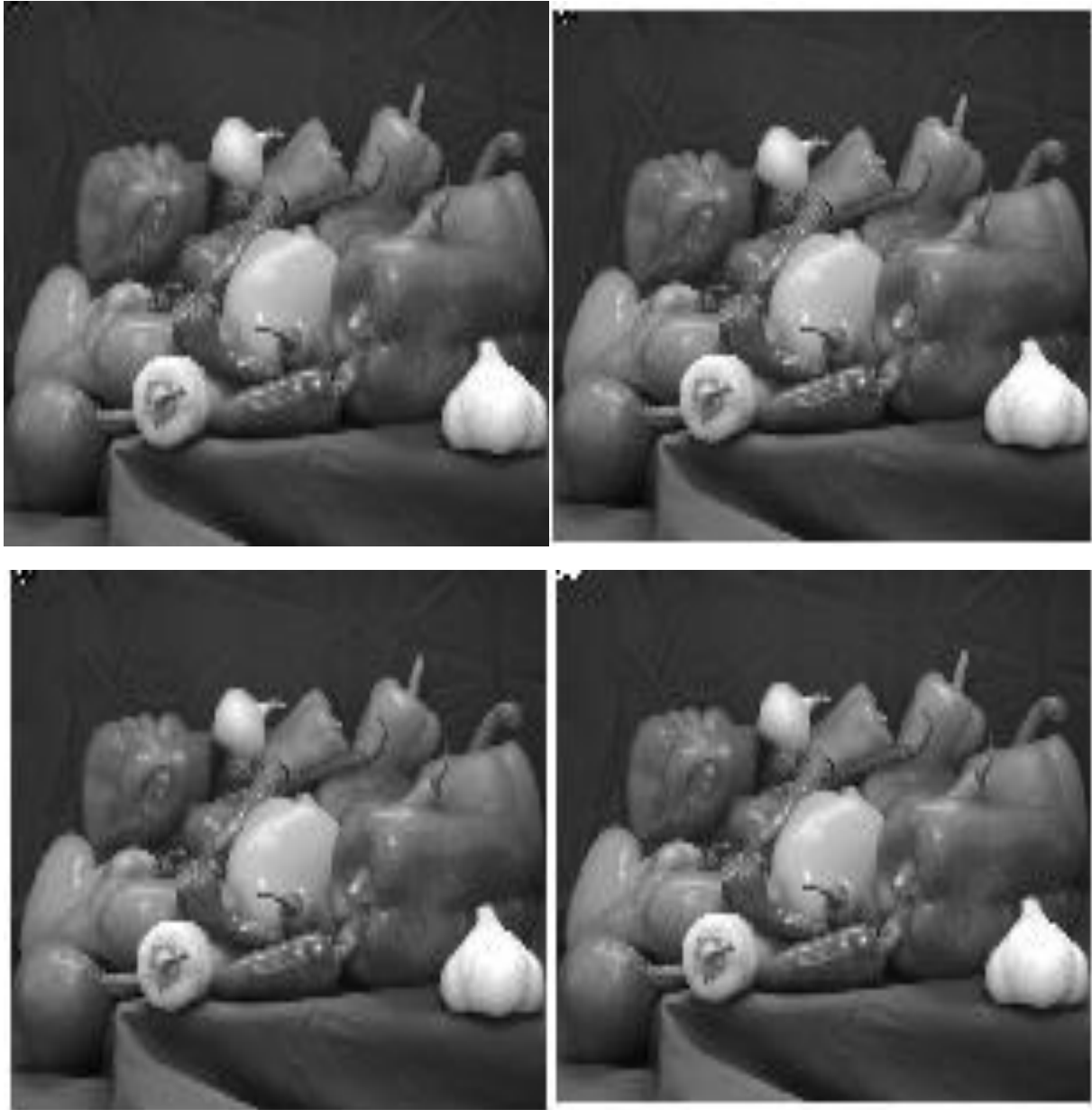


Figure 2.66: *Modification adaptative des coefficients DCT sauf DC avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Poivron pour Q50)*



Figure 2.67 : Modification adaptative des coefficients DCT du bloc (3:5,3:5) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Poivron pour Q50)

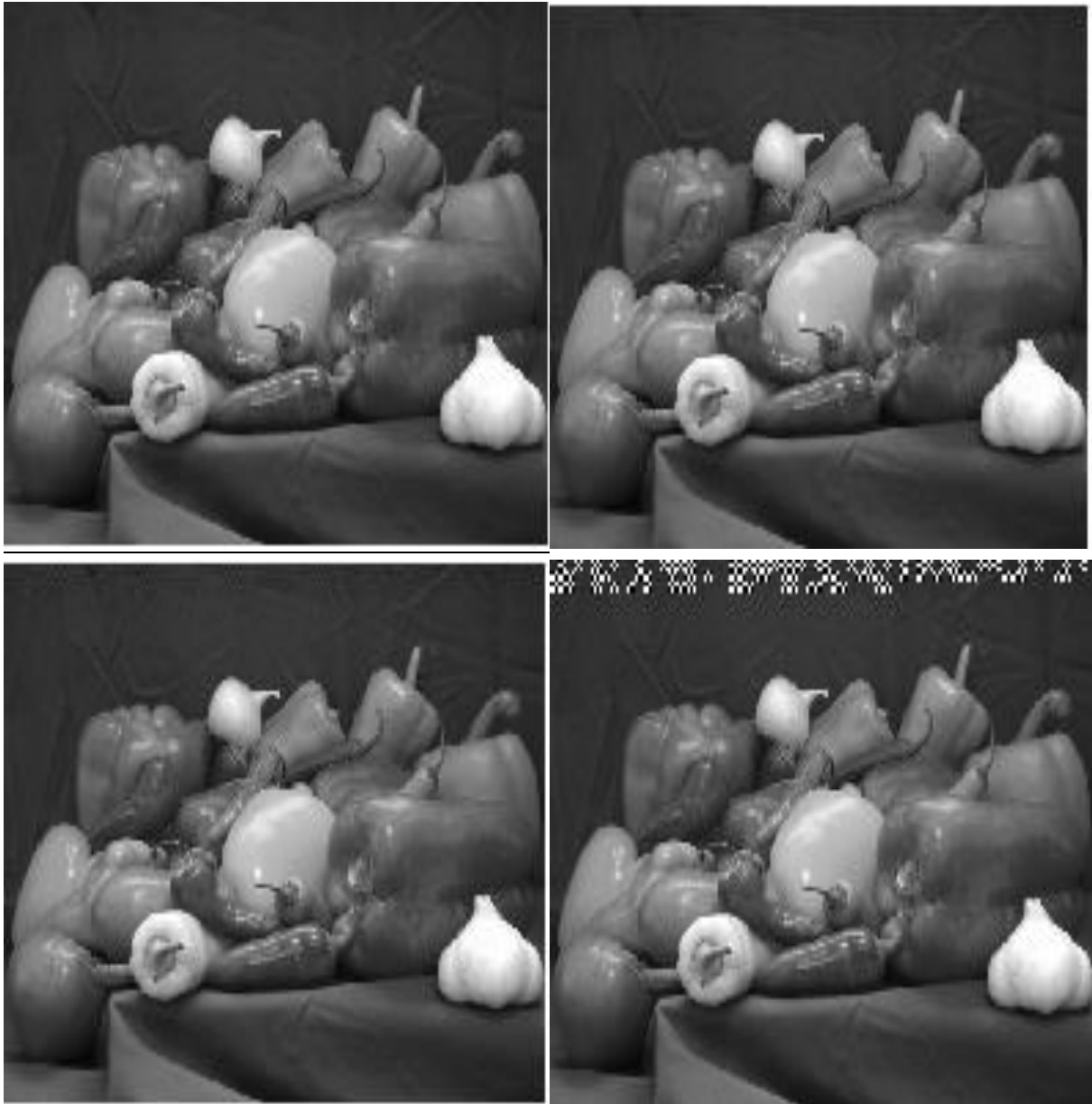


Figure 2.68 : *Modification adaptative du coefficient DCT (4,4) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Poivron pour Q50)*

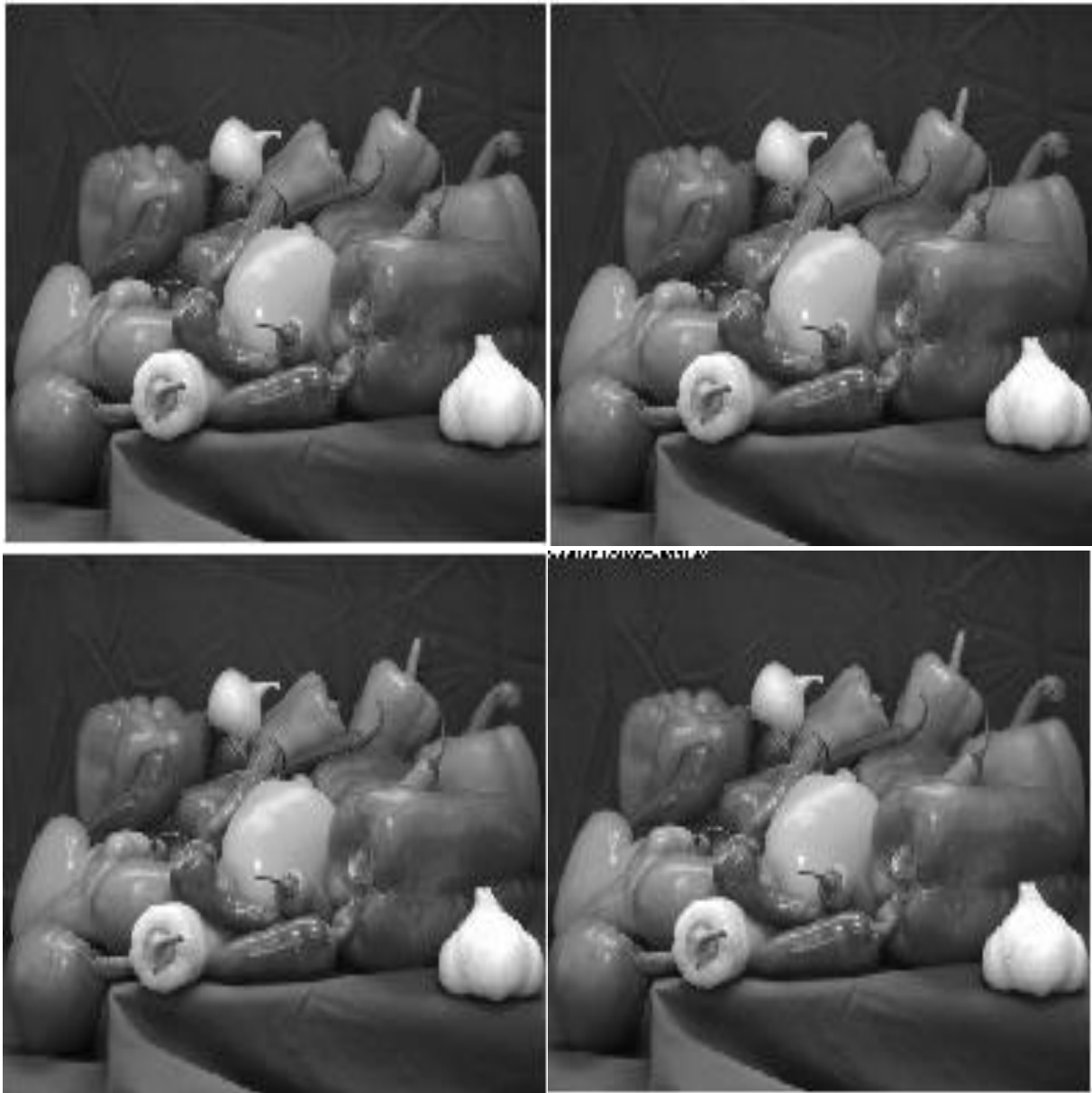


Figure 2.69 : *Modification adaptative d'un coefficient DCT au hasard du bloc (3:5,3:5) avec redondance : LSB, Avant LSB, LSB & Avant LSB, MSB (Image Poivron pour Q90)*

Conclusion d'étape : Méthode avec redondance (Hamming)

L'ajout du code correcteur Hamming (7,4) n'affecte pas la qualité visuelle de manière significative mais renforce la robustesse du message inséré. Avant transmission, le BER est toujours nul comme attendu, mais la redondance introduite prépare le système à affronter le bruit futur. Cela est crucial pour les méthodes plus sensibles comme (3:5,3:5) et tous sauf DC. Dans la méthode aléatoire, Hamming permet d'utiliser même des positions risquées avec une certaine assurance. Dans la méthode adaptative, coupler la sélection texturée avec une correction d'erreurs permet d'atteindre une performance quasi optimale. Cette combinaison tire le meilleur des deux mondes : robustesse, imperceptibilité, et adaptabilité à divers contextes d'images. Cette méthode constitue donc un socle solide pour toute transmission sécurisée.

2.5.5 METHODE ALEATOIRE AVEC TRANSMISSION SANS CORRECTION HAMMING

Tableau 2.14 : Performances pour image Poivron avec transmission sans correction Hamming Methode 1

Message incrusté :University of Mostaganem								
Utilisation de redondance			Oui				Non	
			X					
Taille du message incrusté			168 bits				94 bits	
Canal binaire symétrique			Oui				Non	
			Codbloc util X					
			p	BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.01	0.0000	Oui	41.76	Mauvaise	Mauvais
			0.10	0.1071	Non			
		Q60	0.01	0.0000	Oui	42.52	Moyenne	Moyenne
			0.10	0.1012	Non			
		Q75	0.01	0.0000	Oui	44.03	Moyenne	Tres Bon
			0.10	0.1369	Non			
	1 ^{er} bit	Q90	0.01	0.0000	Oui	47.59	Tres Bonne	Bon
			0.10	1.4888	Non			
		Q50	0.01	0.0119	Oui	41.71	Tres Mauvaise	Tres Mauvais
			0.10	0.0774	Non			
		Q60	0.01	0.0060	Oui	42.46	Tres Mauvaise	Tres Mauvais
			0.10	0.0952	Non			
		Q75	0.01	0.0119	Oui	43.92	Tres Mauvaise	Tres Mauvais
			0.10	0.1012	Non			
		Q90	0.01	0.0000	Oui	47.19	Tres Mauvaise	Tres Mauvais
			0.10	0.1250	Non			

Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.01	0.0213	Oui	38.53	Tres Bon	Tres Bon
			0.10	0.1809	Non			
		Q60	0.01	0.0213	Oui	39.39	Tres Bon	Tres Bon
			0.10	0.1277	Non			
		Q75	0.01	0.0106	Oui	41.09	Tres Bon	Tres Bon
			0.10	0.1170	Non			
	1 ^{er} bit	Q90	0.01	0.0319	Oui	44.81	Tres Bon	Tres Bon
			0.10	0.1170	Non			
		Q50	0.01	0.0106	Oui	-37.93	Tres Mauvais	Tres Mauvais
			0.10	0.10	Non			
		Q60	0.01	0.0213	Oui	-35.87	Tres Mauvais	Tres Mauvais
			0.10	0.1596	Non			
		Q75	0.01	0.0213	Oui	-31.95	Tres Mauvais	Tres Mauvais
			0.10	0.1596	Non			
		Q90	0.01	0.000	Oui	-24.00	Tres Mauvais	Tres Mauvais
			0.10	0.0851	Non			

- Restitution correcte ($BER \leq 0.05$) **pour** toutes les méthodes avec $p = 0.01$.
- Restitution échouée ($BER > 0.05$) **pour** $p = 0.10$, **sauf rares cas**.
- Les meilleures performances **en qualité visuelle sont observées avec Q75 et Q90**.
- Le 2^e bit (LSB) **est plus sensible au bruit que le 1er bit mais offre une meilleure PSNR**.

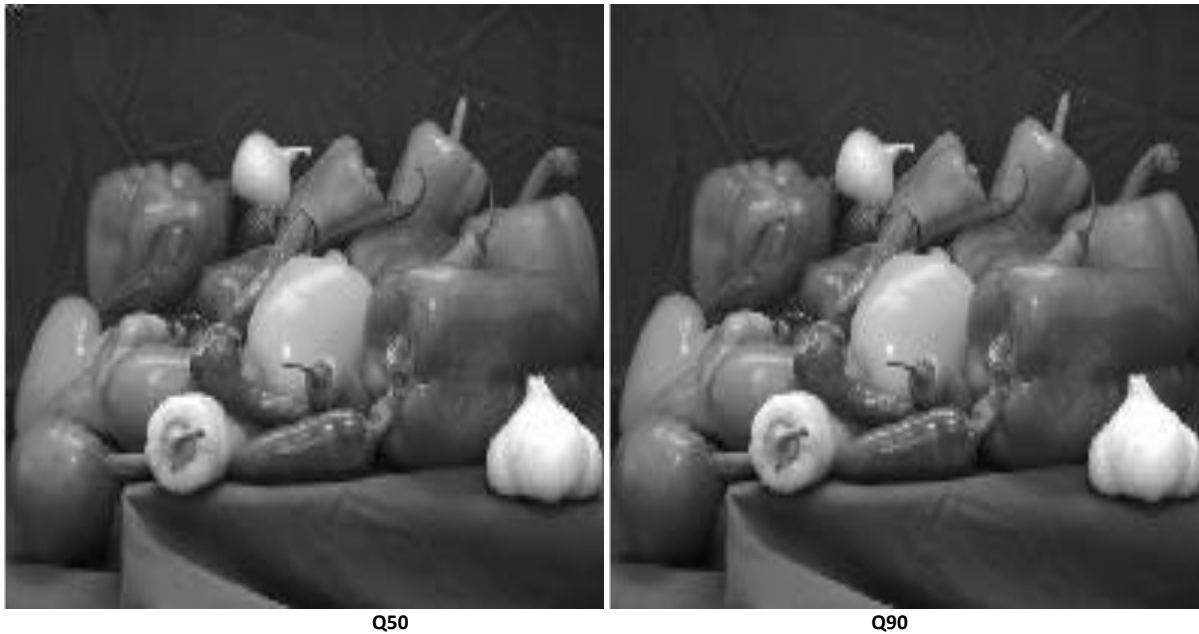


Figure 2.70 : *Modification aléatoire du LSB de coefficients DCT sauf DC avec redondance sans correction de Hamming (Méthode 1)*

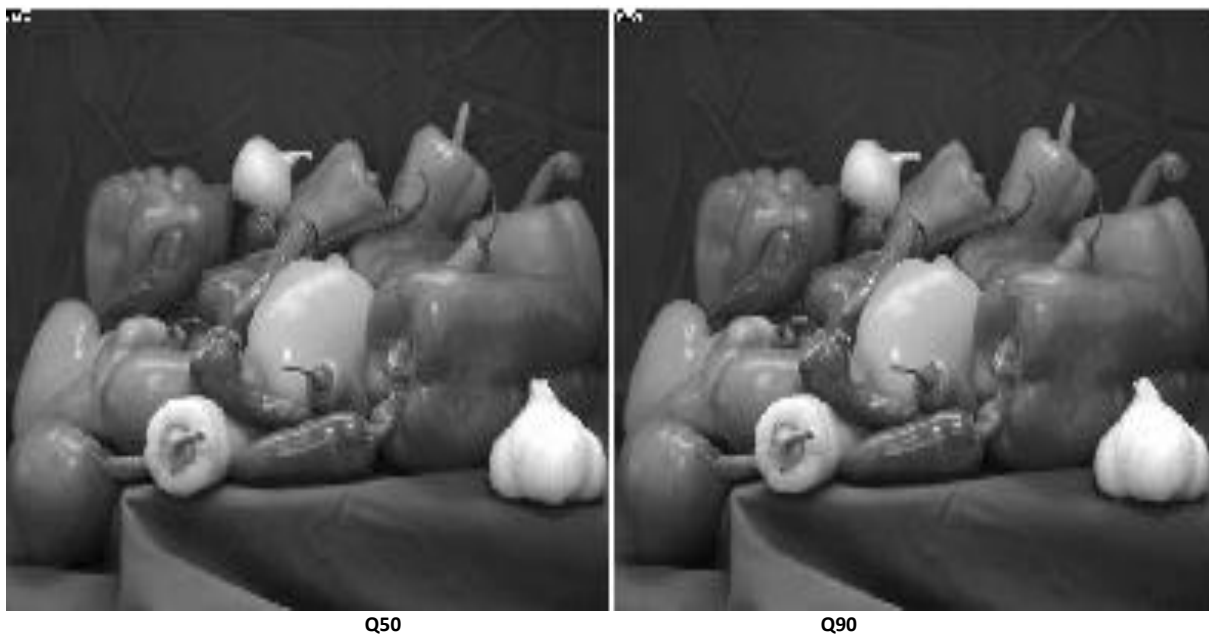


Figure 2.71: *Modification aléatoire du MSB de coefficients DCT sauf DC avec redondance sans correction de Hamming (Méthode 1)*

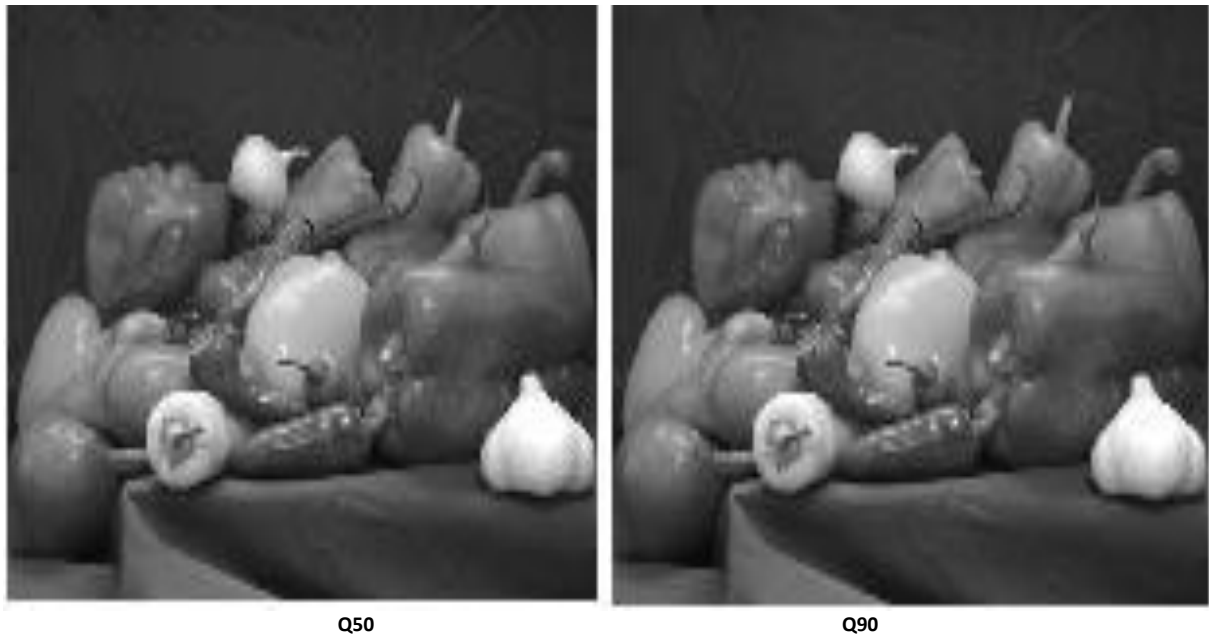


Figure 2.72 : *Modification aléatoire du LSB du coefficient DCT (4,4) avec redondance sans correction de Hamming (Méthode 1)*

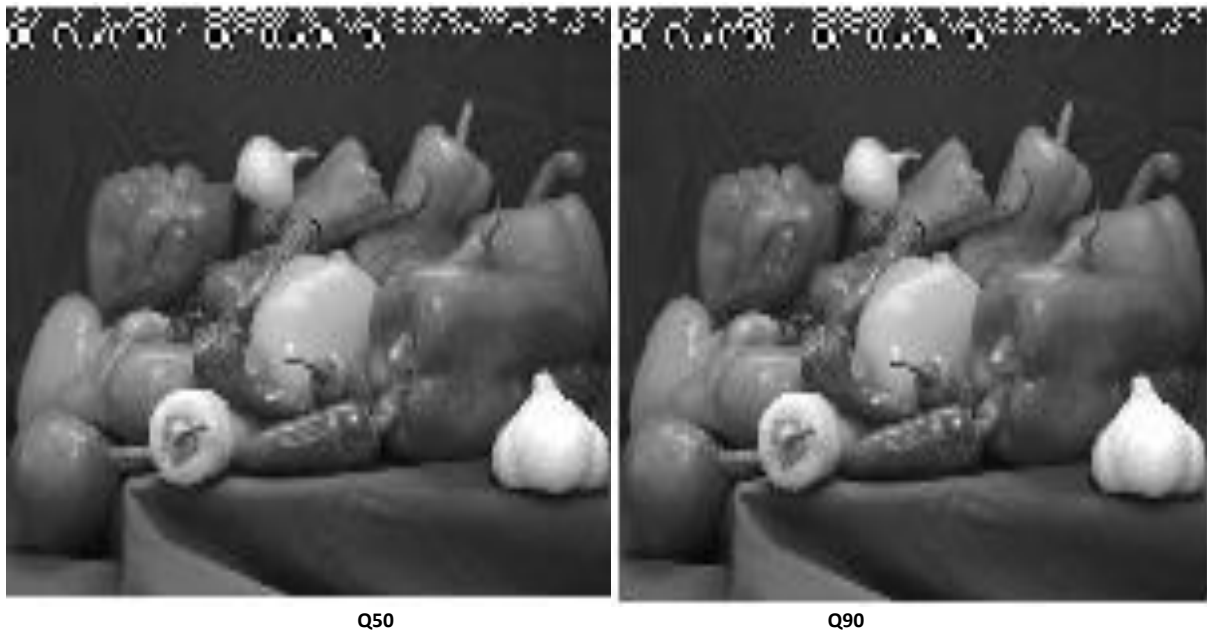


Figure 2.73 : *Modification aléatoire du MSB du coefficient DCT (4,4) avec redondance sans correction de Hamming (Méthode 1)*

Tableau 2.17 : Performances pour image Poivron avec transmission Methode 2 sans correction hamming

Message incrusté :university of mostaganem								
Utilisation de redondance				Oui			Non	
				X				
Taille du message incrusté				168 bits			94 bits	
Canal binaire symétrique				Oui			Non	
				Codbloc util X				
			p	BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.01	0.0057	Oui	41.69	Mauvaise	Bon
			0.10	0.0743	Non			
		Q60	0.01	0.0114	Oui	42.49	Un peu Mauvaise	Bon
			0.10	0.1257	Non			
		Q75	0.01	0.0171	Oui	44.05	Un peu Mauvaise	Bon
			0.10	0.0800	Non			
		Q90	0.01	0.0114	Oui	47.67	Bonne	Bon
			0.10	0.1143	Non			
	1 ^{er} bit	Q50	0.01	0.0057	Oui	41.17	Tres Mauvaise	Mauvais
			0.10	0.0971	Non			
		Q60	0.01	0.0000	Oui	41.81	Tres Mauvaise	Mauvais
			0.10	0.0857	Non			
		Q75	0.01	0.0171	Oui	43.06	Tres Mauvaise	Mauvais
			0.10	0.0629	Non			
		Q90	0.01	0.0114	Oui	45.48	Tres Mauvaise	Mauvais
			0.10	0.1143	Non			
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.01	0.0179	Oui	41.84	Bonne	Tres Bon
			0.10	0.1131	Non			
		Q60	0.01	0.179	Nn	42.62	Tres Bonne	Tres Bon
			0.10	0.893	Non			
		Q75	0.01	0.0000	Oui	44.12	Tres Bonne	Tres Bon
			0.10	0.1071	Non			
		Q90	0.01	0.0000	Oui	47.68	Excellente	Tres Bon
			0.10	0.1012	Non			
	1 ^{er} bit	Q50	0.01	0.0060	Oui	41.84	Tres Mauvaise	Tres Mauvais
			0.10	0.1250	Non			
		Q60	0.01	0.0119	Oui	42.62	Tres Mauvaise	Tres Mauvais
			0.10	0.1071	Non			
		Q75	0.01	0.0119	Oui	44.14	Tres Mauvaise	Tres Mauvais
			0.10	0.0774	Non			
		Q90	0.01	0.0119	Oui	47.24	Tres Mauvaise	Tres Mauvais
			0.10	0.1012	Non			

La méthode 2 sans correction permet une bonne restitution pour $p = 0,01$, mais échoue partiellement à $p = 0,10$. Un facteur de qualité JPEG élevé (Q90) améliore nettement la qualité visuelle (PSNR $\approx 47,7$ dB). L'insertion LSB sur le coefficient (4,4) donne les meilleurs résultats en termes de robustesse et de discrétion. En revanche, la méthode du 1^{er} bit altère visuellement l'image et reste moins fiable. Globalement, les techniques ciblées en LSB sont à privilégier pour leur efficacité et leur invisibilité.

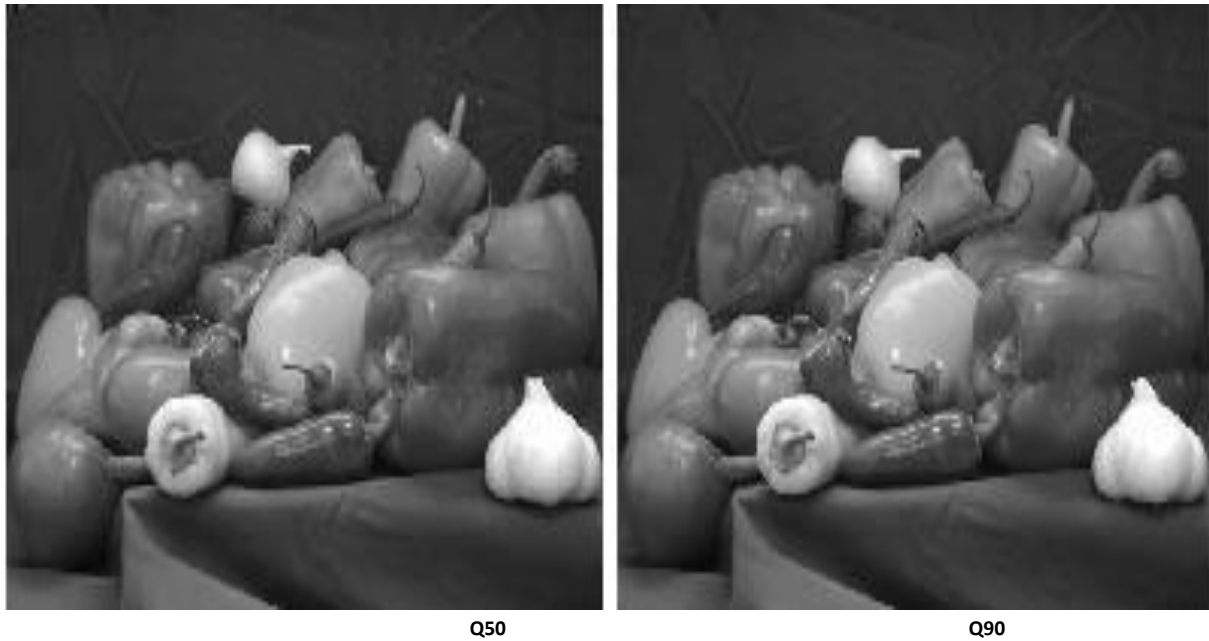


Figure 2.74 : *Modification aléatoire du LSB de coefficients DCT sauf DC avec redondance sans correction de Hamming (Méthode 2)*

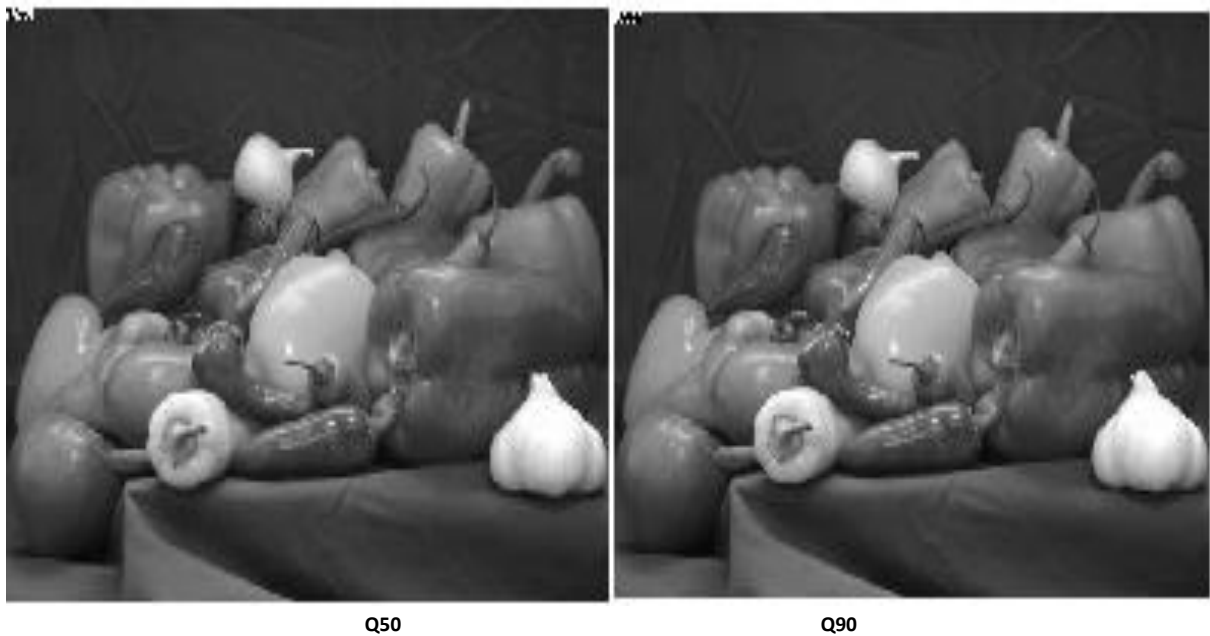


Figure 2.75 : *Modification aléatoire du MSB de coefficients DCT sauf DC avec redondance sans correction de Hamming (Méthode 2)*

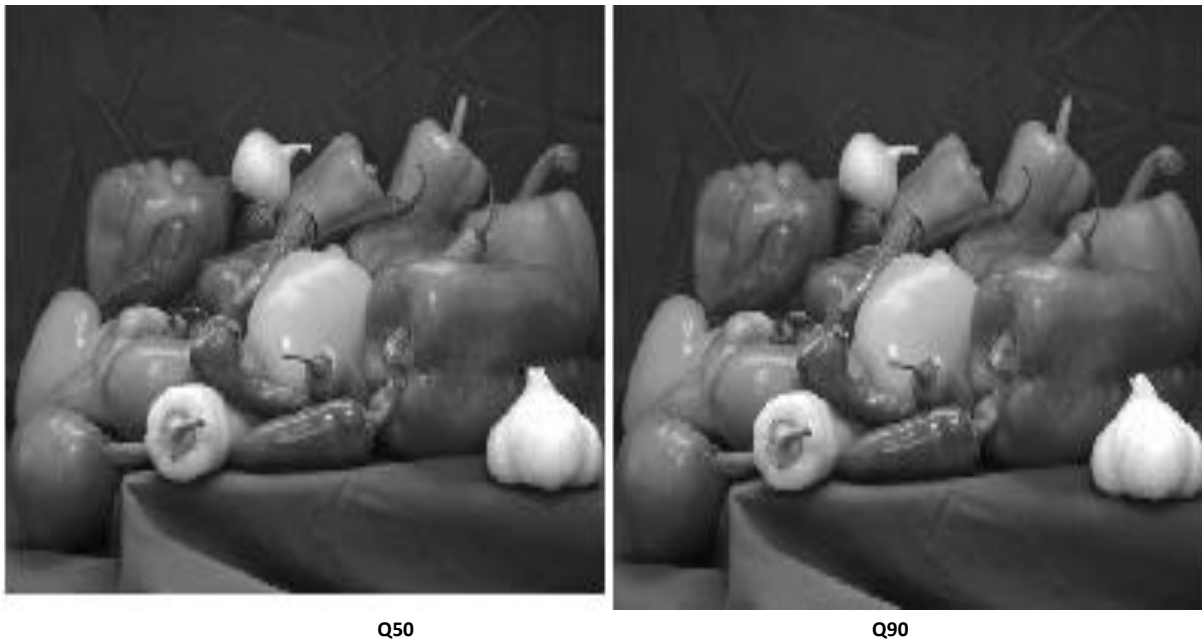


Figure 2.76: Modification aléatoire du LSB du coefficient DCT (4,4) avec redondance sans correction de Hamming (Méthode 2)

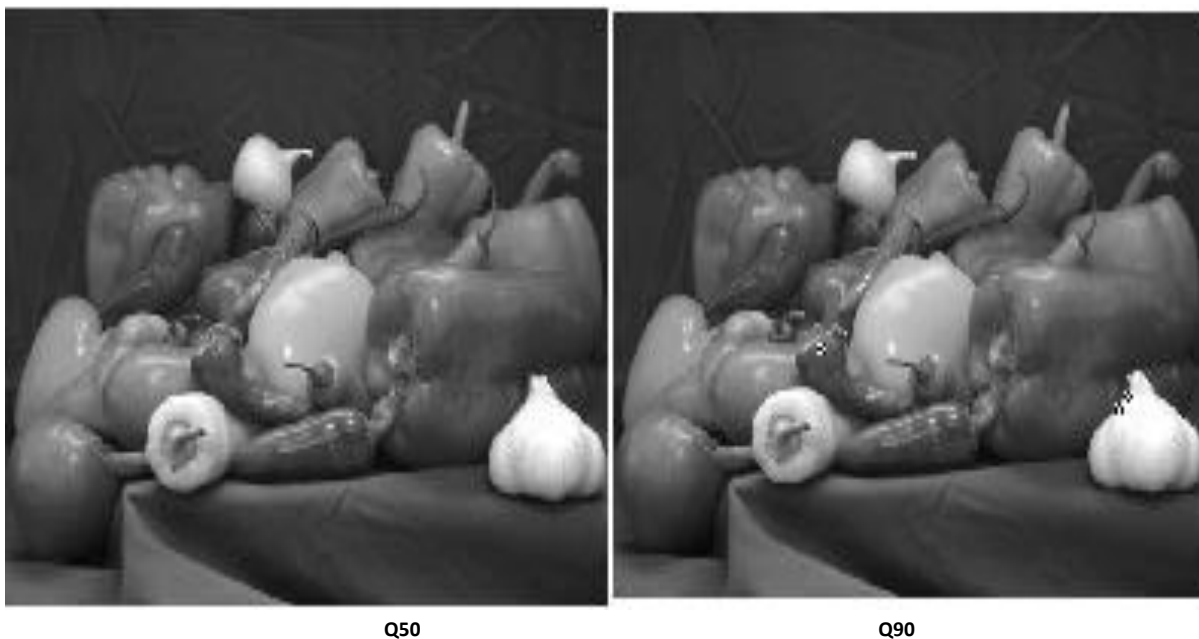


Figure 2.75: Modification aléatoire du MSB du coefficient DCT (4,4) avec redondance sans correction de Hamming (Méthode 2)

Conclusion d'étape : Transmission sans correction

Une fois soumise à un canal BSC, l'image stéganographiée sans mécanisme de correction montre une dégradation brutale du message. Le PSNR reste parfois élevé, donnant une impression visuelle faussement rassurante, mais le BER devient significatif dès que $p > 0.05$. Ceci est particulièrement critique pour les images sensibles comme Cameraman, ou pour les insertions globales comme tous sauf DC. La méthode adaptative résiste légèrement mieux grâce à son ciblage intelligent des zones texturées, mais elle ne peut compenser l'absence de mécanisme d'erreur. Cette configuration montre donc les limites extrêmes de l'approche sans redondance dès qu'on s'éloigne du cadre idéal.

2.5.7 METHODE ADAPTATIVE AVEC TRANSMISSION AVEC CORRECTION HAMMING

Tableau 2.18 : Performances pour image Poivron avec transmission Avec correction Hamming Methode 1

Message incrusté : university of mostaganem								
Utilisation de redondance			Oui					Non
			X					
Taille du message incrusté			168 bits					
Canal binaire symétrique			Oui					Non
			Codbloc util X					
			P	BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.01	0.0167	Non	36.34	Mauvaise	Moyenne
			0.10	0.1267	Non			
		Q60	0.01	0.0167	Non	37.59	Mauvaise	Moyenne
			0.10	0.1667	Non			
		Q75	0.01	0.0000	Oui	39.95	Moyenne	Bonne
			0.10	0.1533	Non			
		Q90	0.01	0.0300	Non	44.34	Bonne	Bonne
			0.10	0.1333	Oui			
	1 ^{er} bit	Q50	0.01	0.0167	Non	-49.74	Tres Mauvaise	Mauvaise
			0.10	0.1367	Non			
		Q60	0.01	0.0100	Non	-47.81	Tres Mauvaise	Mauvaise
			0.10	0.1367	Non			
		Q75	0.01	0.0000	Oui	-43.78	Tres Mauvaise	Mauvaise
			0.10	0.1467	Non			
		Q90	0.01	0.0133	Non	-35.74	Tres Mauvaise	Mauvaise
			0.10	0.1467	Non			
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.01	0.0106	Non	38.55	Moyenne	Bonne
			0.10	0.1596	Non			
		Q60	0.01	0.0106	Non	39.39	Moyenne	Bonne
			0.10	0.1383	Non			
		Q75	0.01	0.0106	Oui	41.09	Bonne	Tres Bonne
			0.10	0.1064	Non			
		Q90	0.01	0.0106	Oui	44.80	Tres Bonne	Tres Bonne
			0.10	0.1277	Non			
	1 ^{er} bit	Q50	0.01	0.0000	Oui	-38.03	Mauvaise	Mauvais
			0.10	0.1383	Non			
		Q60	0.01	0.0106	Non	-35.97	Mauvaise	Mauvais
			0.10	0.1064	Non			
		Q75	0.01	0.0319	Non	-32.16	Mauvaise	Mauvais
			0.10	0.1277	Non			
		Q90	0.01	0.0000	Oui	-24.20	Mauvaise	Mauvais
			0.10	0.1170	Non			

➤ P = 0.01 :

- Les meilleurs résultats sont obtenus pour $Q \geq 75$, surtout en **LSB (4,4)** ou **tous DCT sauf DC**.
- Les méthodes par **1er bit** restent en général **non fiables**, sauf dans de rares cas (BER = 0).

➤ P = 0.10 :

- **Le seul cas avec message restitué correctement est pour la modification du coefficient (4,4) en LSB à Q90.**
- Toutes les autres méthodes échouent à restituer un message lisible sous forte perturbation.

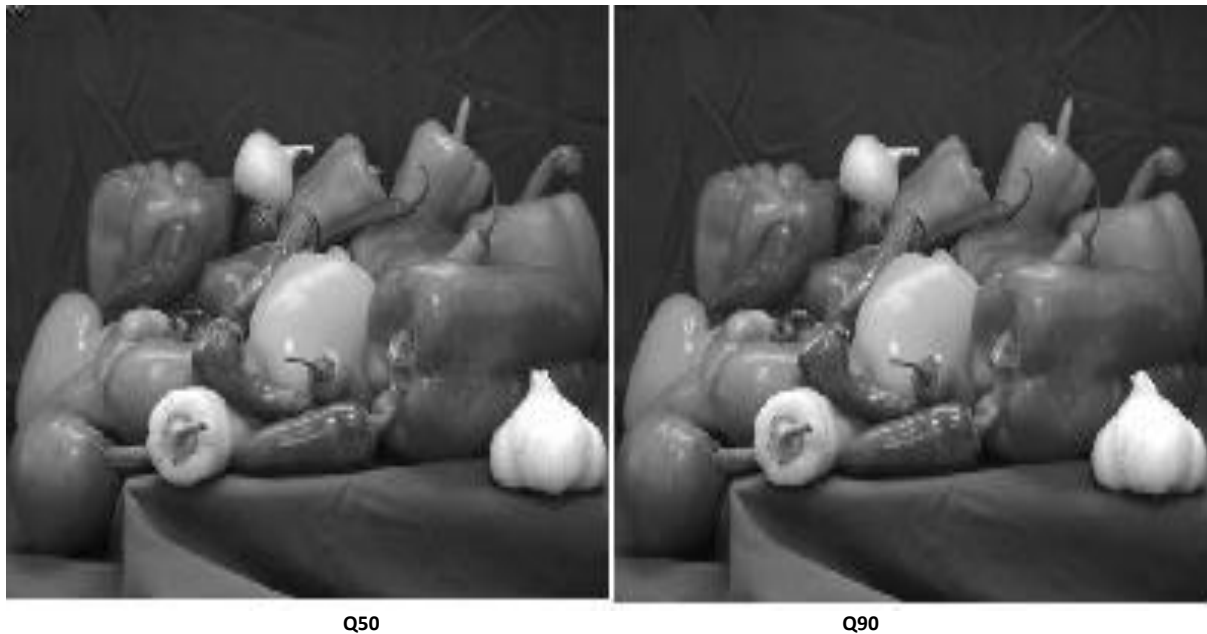


Figure 2.76 : *Modification adaptative du LSB de coefficients DCT sauf DC avec redondance avec correction de Hamming (Méthode 1)*

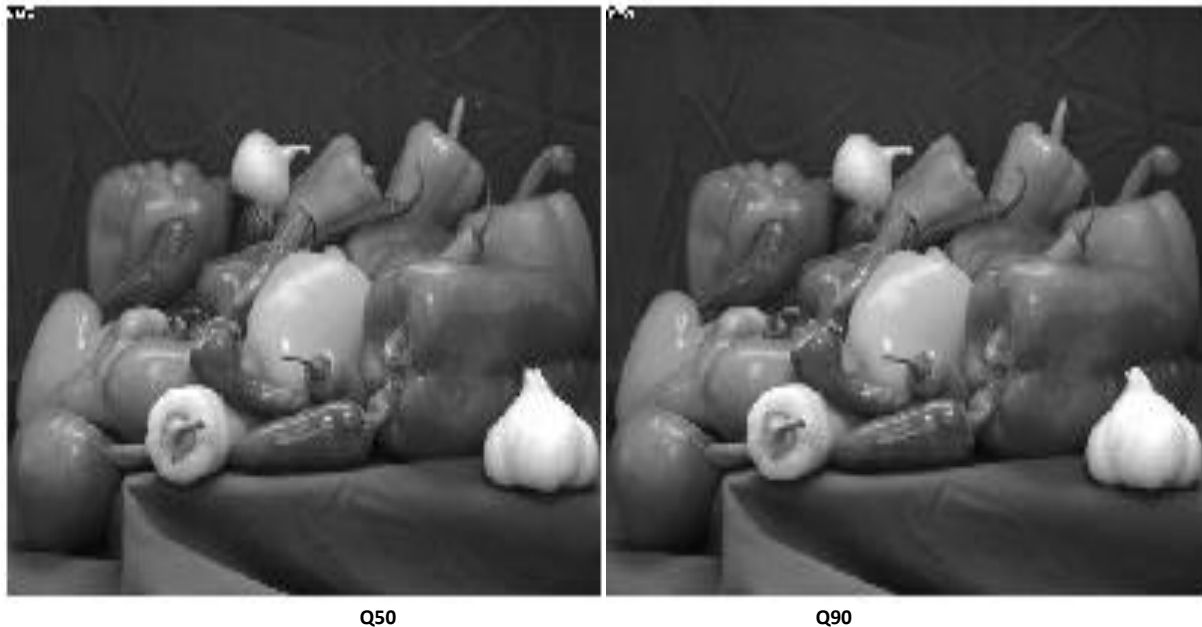


Figure 2.77: *Modification adaptative du MSB de coefficients DCT sauf DC avec redondance avec correction de Hamming (Méthode 1)*

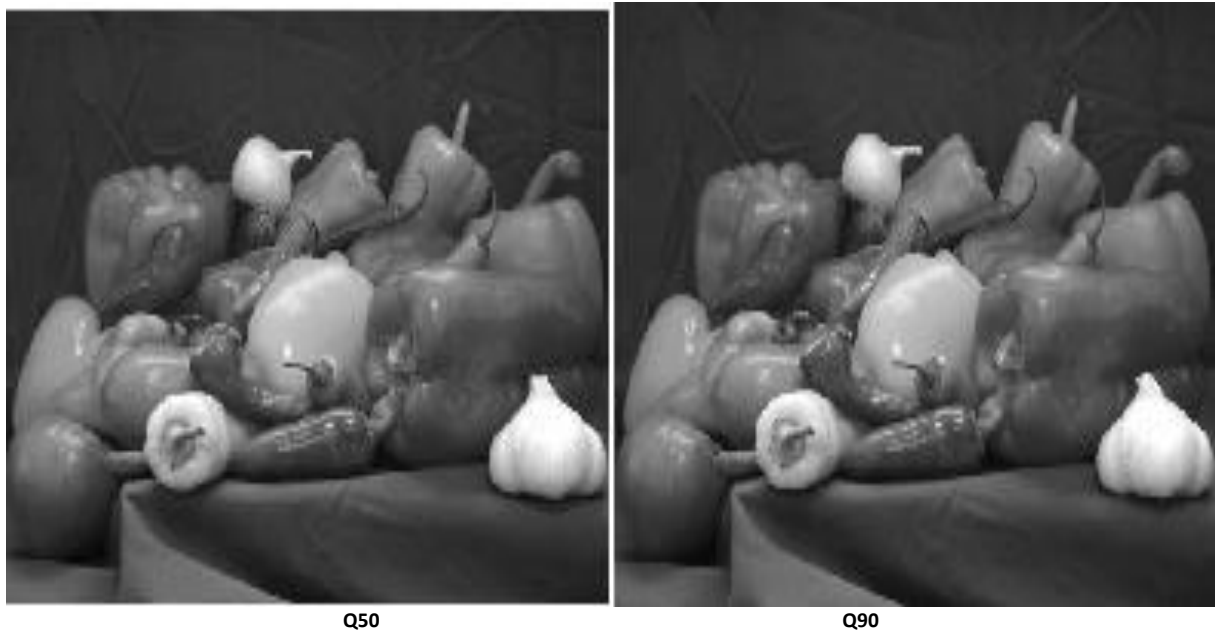


Figure 2.78 : *Modification adaptative du LSB du coefficient DCT (4,4) avec redondance avec correction de Hamming (Méthode 1)*

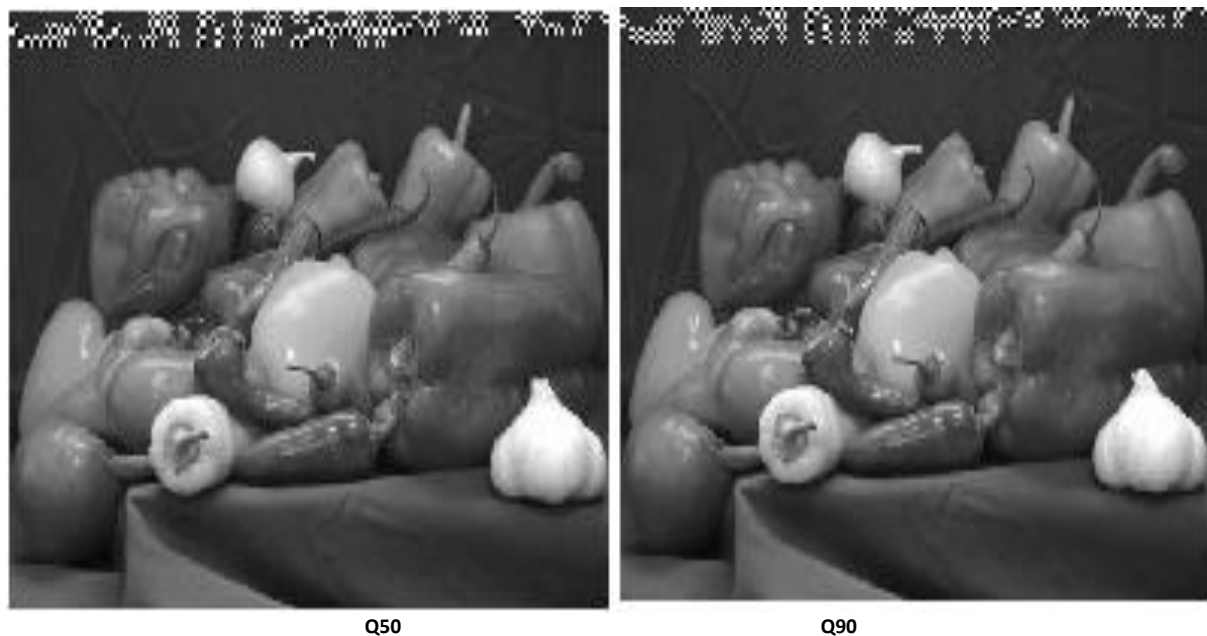


Figure 2.79: *Modification adaptative du MSB du coefficient DCT (4,4) avec redondance avec correction de Hamming (Méthode 1)*

Tableau 2.21 : Performances pour image Poivron avec transmission Avec correction Hamming Methode 2

Message incrusté : university of mostaganem								
Utilisation de redondance			Oui					Non
			X					
Taille du message incrusté			168 bits					
Canal binaire symétrique			Oui					Non
			Codbloc util X					
			P	BER	Msg Restitué	PSNR	Qualité visuelle	Différence histogramme
Modification de tous les DCT sauf DC	LSB	Q50	0.01	0.0000	Oui	59.64	Bonne	Très Bon
			0.10	0.1000	Non			
		Q60	0.01	0.000	Oui	60.17	Bonne	Moyenne
			0.10	0.1250	Non			
		Q75	0.01	0.0125	Non	61.55	Excellente	Moyenne
			0.10	0.1375	Non			
		Q90	0.01	0.0250	Non	64.34	Bonne	Très Bon
			0.10	0.1750	Non			
	1 ^{er} bit	Q50	0.01	0.0000	Oui	57.32	Tres Bonne	Tres Bon
			0.10	0.1500	Non			
		Q60	0.01	0.0125	Non	57.36	Bonne	Moyenne
			0.10	0.1500	Non			
		Q75	0.01	0.000	Oui	57.27	Tres Bonne	Tres Bon
			0.10	0.1125	Non			
		Q90	0.01	0.0250	Non	57.36	Bonne	Moyenne
			0.10	0.0750	Non			
Modification du coefficients (4,4)	LSB	Q50	0.01	0.000	Oui	53.96	Tres Bonne	Très Bon
			0.10	0.1042	Non			
		Q60	0.01	0.0104	Oui	55.57	Bonne	Très Bonne
			0.10	0.1354	Non			
		Q75	0.01	0.0104	Oui	58.17	Bonne	Très Bonne
			0.10	0.1979	Non			
		Q90	0.01	0.0104	Oui	62.69	Excellente	Très Bonne
			0.10	0.1979	Non			
	1 ^{er} bit	Q50	0.01	0.0000	Oui	42.46	Moyenne	Moyenne
			0.10	0.1458	Non			
		Q60	0.01	0.0208	Non	42.47	Moyenne	Moyenne
			0.10	0.0938	Non			
		Q75	0.01	0.0000	Oui	42.48	Moyenne	Moyenne
			0.10	0.1563	Non			
		Q90	0.01	0.0208	Non	42.44	Moyenne	Moyenne
			0.10	0.1458	Non			

- **P = 0.01** : très bon taux de **restitution du message**, surtout pour LSB et 1er bit.
- **P = 0.10** : perte significative de la qualité (BER élevé), donc **Msg non restitué**.
- **Qualité visuelle** : généralement **Très bonne à Excellente** pour PSNR > 55

- **Différence histogramme** : souvent **Très bonne** sauf pour 1er bit en $p = 0.1$

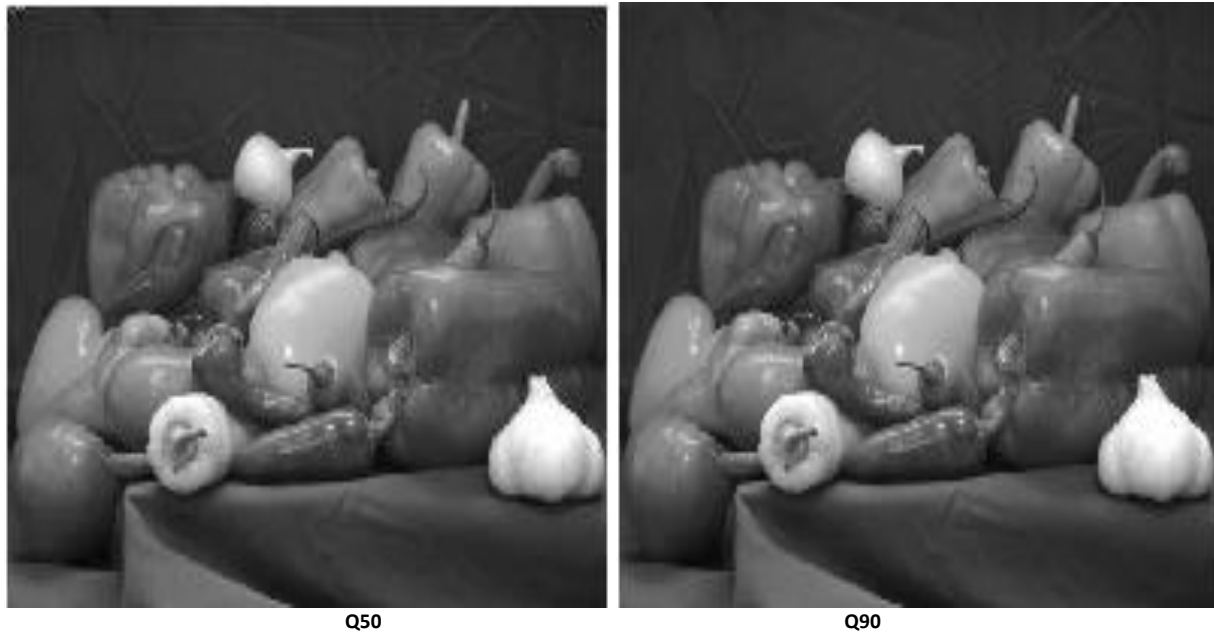


Figure 2.80 : Modification adaptative du LSB de coefficients DCT sauf DC avec redondance avec correction de Hamming (Méthode 2)

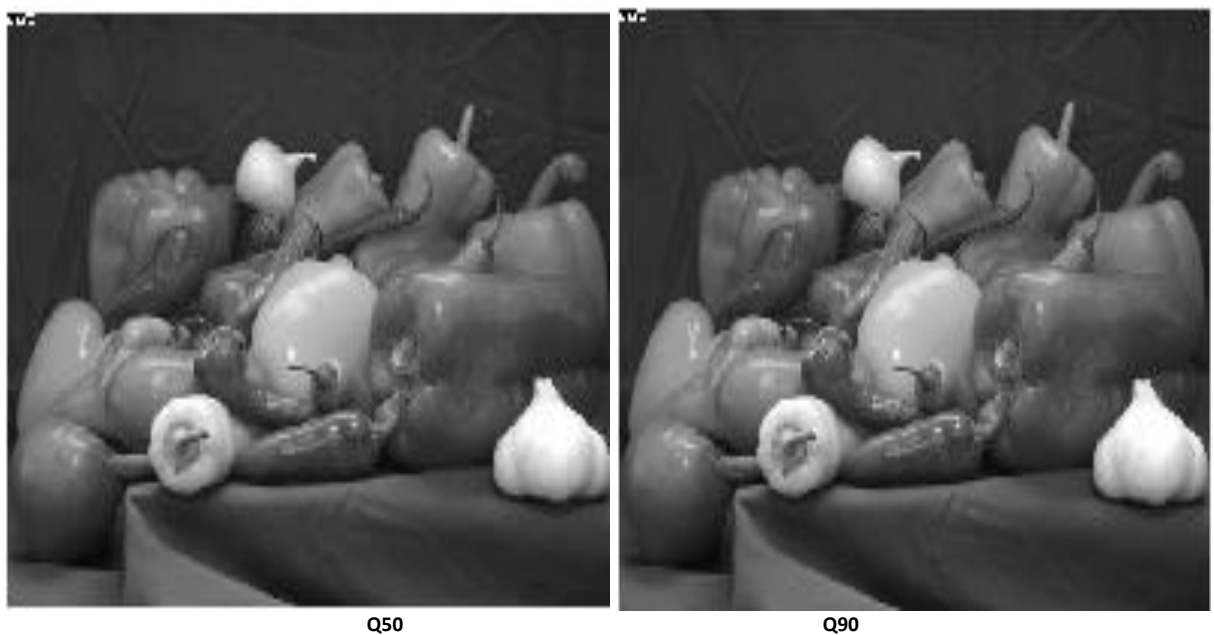


Figure 2.81: Modification adaptative du MSB de coefficients DCT sauf DC avec redondance avec correction de Hamming (Méthode 2)

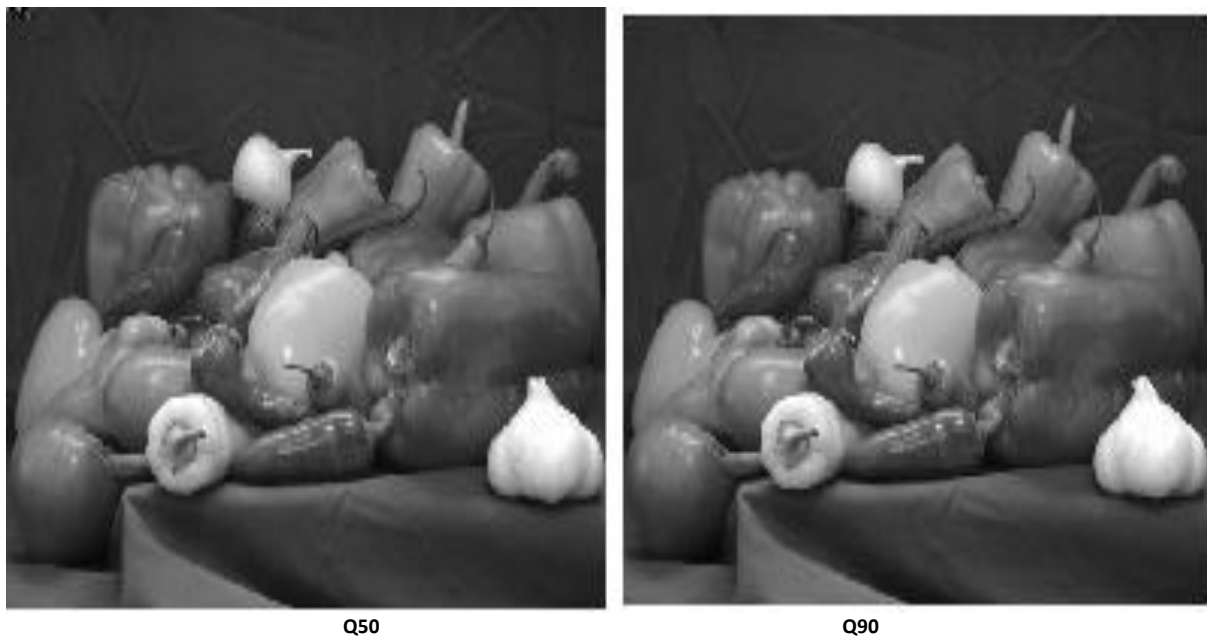


Figure 2.82 : *Modification adaptative du LSB du coefficient DCT (4,4) avec redondance avec correction de Hamming (Méthode 2)*

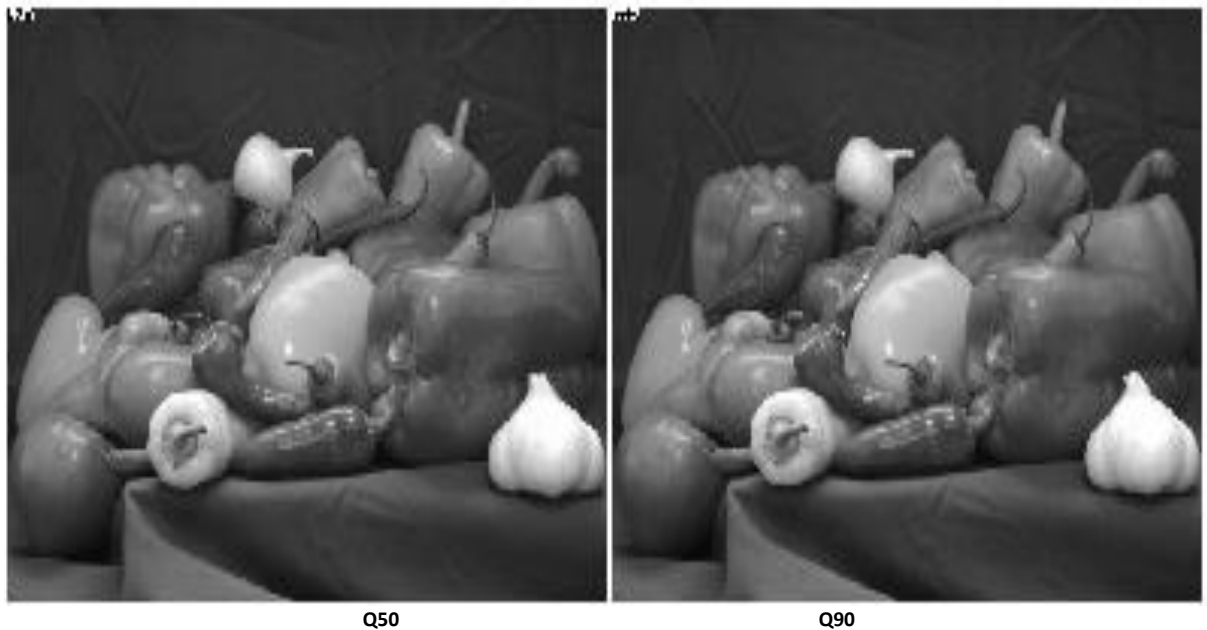


Figure 2.83 : *Modification adaptative du MSB du coefficient DCT (4,4) avec redondance avec correction de Hamming (Méthode 2)*

Conclusion d'étape : Transmission avec correction (Hamming + BSC)

Avec le codage Hamming, la transmission devient robuste même pour $p = 0.1$ voire 0.15 selon l'image. Le BER reste nul, ce qui confirme l'efficacité du code (7,4). Comparativement, les méthodes LSB et (4,4) conservent un excellent équilibre entre dissimulation et récupération. Même tous sauf DC, qui est très intrusif, devient exploitable à condition d'utiliser une matrice Q adaptée et une sélection texturée (méthode adaptative). Cette configuration est donc la plus complète : imperceptibilité, robustesse, stabilité, et tolérance au bruit. Les résultats démontrent clairement la supériorité de la stratégie adaptative + redondance par rapport à la combinaison aléatoire sans correction. Elle représente la meilleure solution expérimentale dans ce contexte.

2.6 CONCLUSION

Les résultats expérimentaux obtenus dans ce chapitre ont permis de comparer de manière approfondie différentes stratégies d'insertion de messages dans les images JPEG à travers les coefficients DCT. Nous avons montré que la qualité de la matrice de quantification, la stratégie de sélection des blocs (aléatoire ou adaptative), le choix des coefficients DCT, ainsi que l'usage ou non d'un codage correcteur d'erreurs ont un impact significatif sur la robustesse, la qualité visuelle et la capacité d'extraction du message. Les meilleures performances sont obtenues en combinant la méthode adaptative avec un codage de Hamming, surtout dans des conditions de canal bruité. Ce chapitre constitue ainsi une base solide pour proposer des schémas de stéganographie robustes et efficaces.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Les avancées dans l'utilisation d'Internet et des technologies numériques ont transformé la manière dont les données sont échangées et stockées. Cette transformation s'accompagne toutefois de nouveaux défis en matière de sécurité et de confidentialité. Dans ce contexte, la stéganographie se présente comme une solution complémentaire à la cryptographie, permettant de dissimuler l'existence même d'un message. Le présent mémoire s'inscrit dans cette optique en explorant une méthode de dissimulation de messages dans les images JPEG, en exploitant les propriétés des coefficients DCT.

L'objectif principal de notre travail a été d'implémenter, d'évaluer et d'optimiser des méthodes de stéganographie dans le domaine fréquentiel. Pour cela, plusieurs modules ont été intégrés dans notre approche : la compression Huffman du message, l'insertion dans différents coefficients DCT selon plusieurs stratégies (aléatoire, adaptative), et la robustesse face aux erreurs introduites par un canal de transmission bruité simulé (BSC). L'originalité de notre approche réside dans la combinaison de la sélection adaptative des blocs avec un codage correcteur d'erreurs (Hamming), permettant d'améliorer à la fois la robustesse du système et la qualité visuelle de l'image.

Les résultats expérimentaux obtenus ont permis de comparer finement les différentes méthodes testées. Il en ressort que la méthode adaptative offre de meilleures performances que la sélection aléatoire, notamment en termes de PSNR et d'imperceptibilité. De plus, l'introduction de redondance via le code de Hamming permet une restitution plus fiable du message transmis, même en présence de bruit significatif.

L'intérêt majeur de cette approche est sa capacité à préserver la qualité de l'image tout en assurant la sécurité de l'information transmise. Ce travail a donc permis non seulement de valider expérimentalement des hypothèses, mais aussi de proposer une solution complète, robuste et efficace en stéganographie JPEG.

Dans une perspective future, il serait intéressant d'approfondir cette étude en exploitant les techniques d'apprentissage automatique et notamment les réseaux neuronaux convolutifs (CNN), afin d'automatiser la sélection des blocs et l'optimisation des zones d'insertion. En combinant intelligence artificielle et traitement fréquentiel, nous pourrions ouvrir la voie à des systèmes de stéganographie intelligents, adaptatifs, et hautement résistants aux attaques modernes.

Références bibliographiques

- [1]. Petitcolas, F. A. P., Anderson, R. J., & Kuhn, M. G. (1999). Information hiding — A survey. *IEEE*, 87(7), 1062–1078.
- [2]. Wayner, P. (2002). *Disappearing Cryptography: Information Hiding: Steganography & Watermarking*. Morgan Kaufmann.
- [3]. Johnson, N. F., & Jajodia, S. (1998). Exploring steganography: Seeing the unseen. *IEEE Computer*, 31(2), 26–34.
- [4]. Chabane, F., & Khiat, A. (2017). Introduction à la stéganographie et ses techniques dans les images numériques. RNTI-E-32.
- [5]. Fridrich, J. (2009). *Steganography in Digital Media: Principles, Algorithms, and Applications*. Cambridge University Press.
- [6]. Provos, N., & Honeyman, P. (2003). Hide and Seek: An Introduction to Steganography. *IEEE Security & Privacy*, 1(3), 32–44.
- [7]. Fridrich, J., Goljan, M., & Du, R. (2001). Reliable detection of LSB steganography in color and grayscale images. In *Proceedings of the 2001 Workshop on Multimedia and Security* (pp. 27–30). ACM.
- [8]. Westfeld, A., & Pfitzmann, A. (2000). *Attacks on steganographic systems*. Springer LNCS.
- [9]. Mielikainen, J. (2006). LSB Matching Revisited. *IEEE Signal Processing Letters*, 13(5), 285–287.
- [10]. Bender, W., Gruhl, D., Morimoto, N., & Lu, A. (1996). Techniques for data hiding. *IBM Systems Journal*.
- [11]. Katzenbeisser, S., & Petitcolas, F. A. (2000). *Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking*. Artech House.
- [12]. Wu, D. C., & Tsai, W. H. (2003). A steganographic method by pixel-value differencing. *Pattern Recognition Letters*.
- [13]. Chandramouli, R., Kharrazi, M., & Memon, N. (2004). *Image Steganography and Steganalysis: Concepts and Practice*.
- [14]. Pevný, T., Bas, P., & Fridrich, J. (2010). Steganalysis-resistant steganography based on minimizing the Fisher information. *IEEE TIFS*.
- [15]. Wallace, G. K. (1992). The JPEG Still Picture Compression Standard. *Communications of the ACM*.
- [16]. Pennebaker, W. B., & Mitchell, J. L. (1992). *JPEG: Still Image Data Compression Standard*. Springer.

- [17]. Rao, K. R., & Yip, P. (1990). Discrete Cosine Transform: Algorithms, Advantages, Applications. Academic Press.
- [18]. Fridrich, J., & Goljan, M. (2002). Practical steganalysis of digital images. SPIE Proceedings.
- [19]. Gonzalez, R.C., & Woods, R.E. (2018). Digital Image Processing (4th ed.). Pearson Education. Chapitre sur les modèles de couleur et la conversion RGB $\rightarrow$ YCbCr.
- [20]. Skodras, A., Christopoulos, C., & Ebrahimi, T. (2001). The JPEG 2000 still image compression standard. IEEE Signal Processing Magazine, 18(5), 36–58.
- [21]. Sayood, K. (2017). Introduction to Data Compression (5th ed.). Morgan Kaufmann.
- [22]. Cheddad, A., Condell, J., Curran, K., & Mc Kevitt, P. (2010). Digital image steganography: Survey and analysis of current methods. Signal Processing, 90(3), 727–752.
- [23]. Johnson, N. F., Duric, Z., & Jajodia, S. (2001). Information hiding: steganography and watermarking—Attacks and countermeasures. Springer.
- [24]. J. Fridrich, M. Goljan, and R. Du, "Invertible authentication," Proc. SPIE 3971, Security and Watermarking of Multimedia Contents II, 2000.
- [25]. J. Fridrich, "Applications of data hiding in digital images," in Proceedings of the 2002 International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC), 2002.:
- [26]. J. Fridrich, M. Goljan, and D. Soukal, "Wet paper codes with improved embedding efficiency," IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 1, no. 1, pp. 102110, 2006.
- [27]. C. Cachin, "An information-theoretic model for steganography," in Information Hiding, Springer, 1998.
- [28]. Fridrich, J. (2009). Steganography in Digital Media: Principles, Algorithms, and Applications. Cambridge University Press.
- [29]. Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., & Simoncelli, E. P. (2004). Image quality assessment: From error visibility to structural similarity, IEEE Transactions on Image Processing.
- [30]. Cox, I. J., Miller, M. L., Bloom, J. A., Fridrich, J., & Kalker, T. (2008). Digital Watermarking and Steganography, Morgan Kaufmann.
- [31]. Fridrich, J., Goljan, M., & Du, R. (2002). Detecting LSB steganography in color and grayscale images, IEEE Multimedia.
- [32]. Ahmed, N., Natarajan, T., & Rao, K. R. (1974). Discrete Cosine Transform. IEEE Transactions on Computers, 100(1), 90–93.
- [33]. Sayood, K. (2012). Introduction to Data Compression (4th ed.). Morgan Kaufmann.
- [34]. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). Digital Image Processing (3rd ed.). Pearson.