[Date]

Guénon Marie et Favreau Jean-Dominique

VIM / master SSTIM

Compression des images numériques

Compte rendu des travaux dirigés

Table des matières

[Préambule : 2](#_Toc378788847)

[Librairies : 3](#_Toc378788848)

[TD1 4](#_Toc378788849)

[1. Filtre de Haar, Analyse 4](#_Toc378788850)

[Méthode directe 4](#_Toc378788851)

[Filtrage 6](#_Toc378788852)

[2. Reconstitution, Synthèse 7](#_Toc378788853)

[Inversion directe 7](#_Toc378788854)

[Synthèse 8](#_Toc378788855)

[3. Récursivité 9](#_Toc378788856)

[Analyse 9](#_Toc378788857)

[Synthèse 10](#_Toc378788858)

[TD2 11](#_Toc378788859)

[1. Quantificateur scalaire 11](#_Toc378788860)

[2. Caractéristique Entrée / Sortie 12](#_Toc378788861)

[3. Distorsion 13](#_Toc378788862)

[TD3 15](#_Toc378788863)

[1. Quantification 15](#_Toc378788864)

[2. Entropie 15](#_Toc378788865)

[3. Reconstruction 16](#_Toc378788866)

[TD4 19](#_Toc378788867)

[TP5 22](#_Toc378788868)

[1. Huffman 22](#_Toc378788869)

[2. Comparaison 23](#_Toc378788870)

[Conclusion 25](#_Toc378788871)

**But :** réaliser une transformée en ondelettes (analyse / synthèse) au moyen du filtre de Haar.

# Préambule :

Après une première approche avec Scilab, nous avons préféré utiliser le langage de programmation C++ pour implémenter ce projet. En effet, ce langage nous permet d’avoir une approche simplifiée du traitement d’image ainsi que des calculs optimisés : les calculs matriciels et les itérateurs sont déjà implémentés et optimisés pour le genre de calculs que nous allons devoir effectuer. Nous obtiendrons donc ainsi de meilleurs résultats, autant au niveau qualitatif, qu’au niveau de la rapidité d’obtention.

# Librairies :

De manière native, C++ ne sait pas charger d’image. Nous avons donc du installer la librairie :

**OpenCv2**



Cette librairie permet de charger, afficher et traiter les images.



# TD1

## Filtre de Haar, Analyse

### Méthode directe

Une fois l’image à traiter chargée, nous allons la traiter. Pour ce faire, nous allons la parcourir par bloc de quatre pixels, que l’on nommera. On applique alors les quatre filtres de Haar à chaque point considéré de notre image de départ :

* Moyenne des pixels avoisinants, on applique le filtre : et on obtient l’image résultante :





* Gradient X, on applique le filtre : et on obtient l’image résultante :





* Gradient Y, on applique le filtre : et on obtient l’image résultante :





* « Gradient diagonal », on applique le filtre : et on obtient l’image résultante :





Ce qui donne, une fois touts les filtres réunis ensembles, on obtient[[1]](#footnote-1) :



### Filtrage

Avant de filtrer l’image, nous devons lui appliquer un traitement préalable. En effet, pour éviter les effets de bords et les problèmes aux limites, nous devons insérer une ligne et une colonne supplémentaire à la fin de l’image. Pour cela, nous insérons par miroir (copie du pixel précédent) ces lignes à droite et en bas de l’image.

Après quoi nous appliquons les quatre filtres vus précédemment mais sur l’intégralité de l’image :

* Moyenne des pixels avoisinants:



* Gradient X   :



* Gradient Y :



* « Gradient diagonal »  :



Pour finir, nous effectuons le sous échantillonnage sur les quatre filtres obtenus : nous prenons un pixel sur deux en fonction du filtrage effectué : Nous considérons ici que le numéro du premier pixel est (0,0)

* Moyenne des pixels avoisinants:  
  On prend les colonnes et les lignes paires.
* Gradient X  :  
  On prend les colonnes impaires et les lignes paires.
* Gradient Y :   
  On prend les colonnes paires et les lignes impaires.
* « Gradient diagonal »  :  
  On prend les colonnes et les lignes impaires.

## Reconstitution, Synthèse

### Inversion directe

Comme vu précédemment, nous avons une image de départ et nous l’avons parcours par blocs de quatre pixels que nous avons nommé. Cette image a été analysée en quatre images grâce aux filtres décrits ci-dessus :

Pour reconstituer l’image de départ, Il suffit d’inverser le système présenté ici et nous obtenons les formules suivantes :



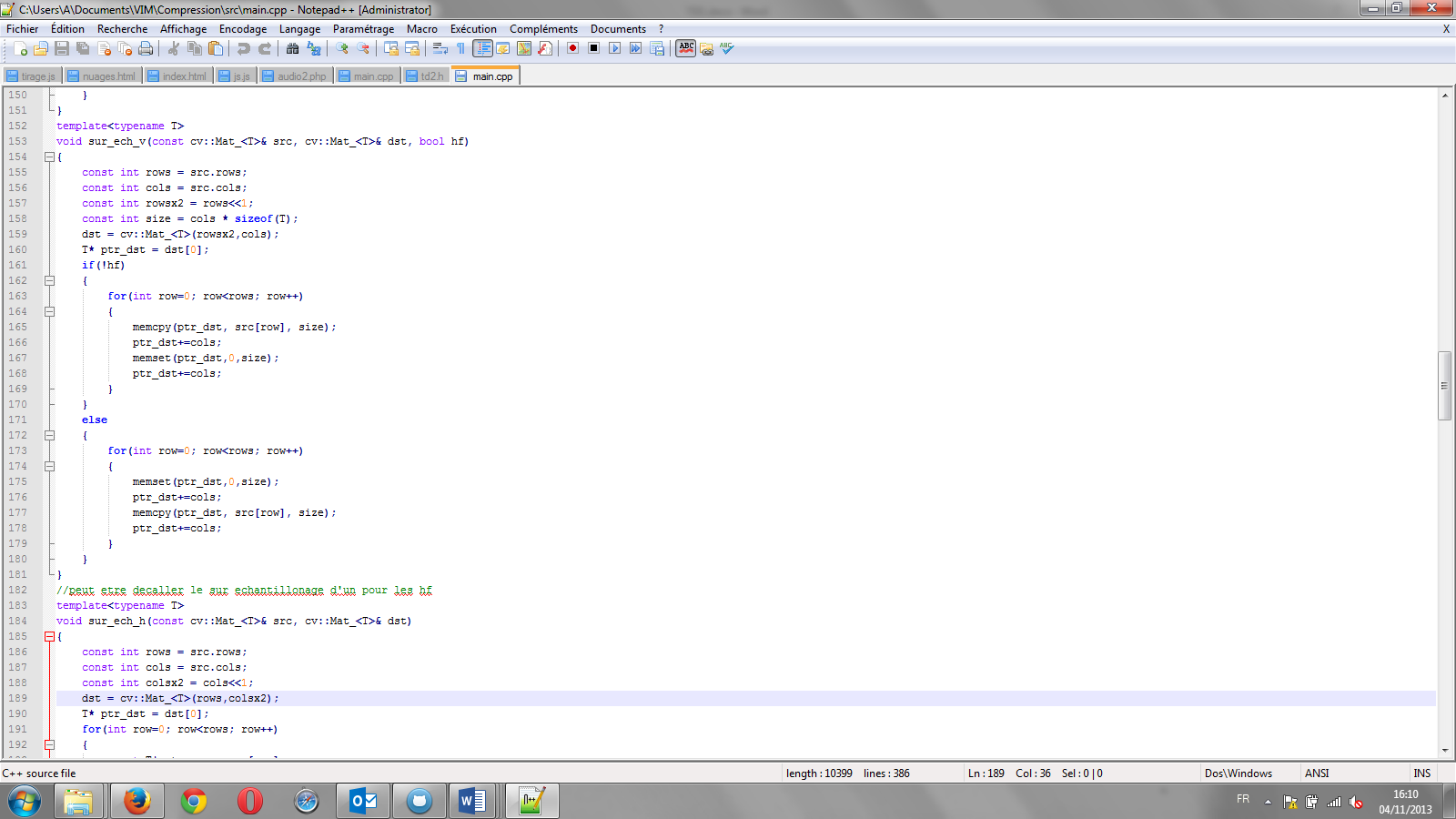
En appliquant ces formules sur les filtres obtenus précédemment, on obtient à gauche l’image d’origine et à droite l’image reconstruite :

### Synthèse

De la même manière que dans l’analyse de l’image, avant de filtrer l’image, nous devons lui appliquer un traitement préalable. En effet, pour éviter les effets de bords et les problèmes aux limites, nous devons insérer une ligne et une colonne supplémentaire à la fin de l’image. Pour cela, nous insérons par miroir (copie du pixel précédent) ces lignes à droite et en bas de l’image.

Après quoi, on sur-échantillonne les quatre images. Nous ajoutons des pixels noirs là où on les avait enlevés précédemment :



Sur-échantillonnage vertical

Ensuite, nous appliquons les filtres :

* Filtre basse fréquence



* Filtre haute fréquence



En sommant les résultats obtenus, on obtient l’image d’origine à et à droite l’image reconstruite :

## Récursivité

### Analyse

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Nombre d’itération | Résultat obtenu | Nombre d’itération | Résultat obtenu |
| 0 |  | 3 |  |
| 1 |  | 4 |  |
| 2 |  | 5 |  |

## 

### Synthèse

Nous avons appliqué cinq fois notre synthétiseur (méthode directe) sur l’image obtenu après analyse et nous avons eu le résultat suivant :

Pour vérifier la cohérence de nos résultats, nous avons de plus effectué un calcul de distance entre les deux images (norme de la différence) et nous avons constaté que celle-ci était nulle. Et donc nous pouvons dire que nos résultats sont bons.

A droit image originale, à gauche image obtenue après analyse et synthèse :

# TD2

## Quantificateur scalaire

Nous cherchons ici à construire un quantificateur scalaire uniforme à L niveaux de quantification comme suit :

*val*

0

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | x |  | x |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

min max

*Δ*

Sur cet exemple, min et max sont les bornes des valeurs atteignables. Nous avons de plus ici sept intervalles, *Δ* est la longueur de chacun de ces intervalles. *val* est une valeur quelconque de l’intervalle [min, max]. Ici, *val* est sur le sixième intervalle (nous comptons à partir de zéro).  
De manière générale, nous cherchons à calculer le représentant de chaque classe *i* (numéro d’intervalle) telle que 0 soit centré au milieu d’un intervalle. Pour cela, nous calculons le pas de quantification centré en zéro:

A partir de là, nous pouvons calculer l’indice de la classe contant la valeur *val*:

Où E(.) est la partie entière. D’où nous obtenons la valeur du représentant de *val*:

Soit définit de manière itérative tel que :

(1)

## Caractéristique Entrée / Sortie

Nous cherchons à avoir un quantificateur centré en zéro, pour cela, on doit fixer les bornes dans lesquelles on va l’appliquer. C'est-à-dire, nous calculons les valeurs suivantes :

Par ailleurs, pour avoir un quantificateur centré en 0, il faut un nombre impair d’intervalles. C’est pourquoi, si l’on a un nombre pair d’intervalles, nous avons décidé d’en rajouter un. De plus, en déplaçant les bornes MIN et MAX, nous créons de nouveaux intervalles. Ce qui ne pose pas de problèmes, puisque il n’y aura aucune valeur dans ces intervalles et ils seront donc pas codés.

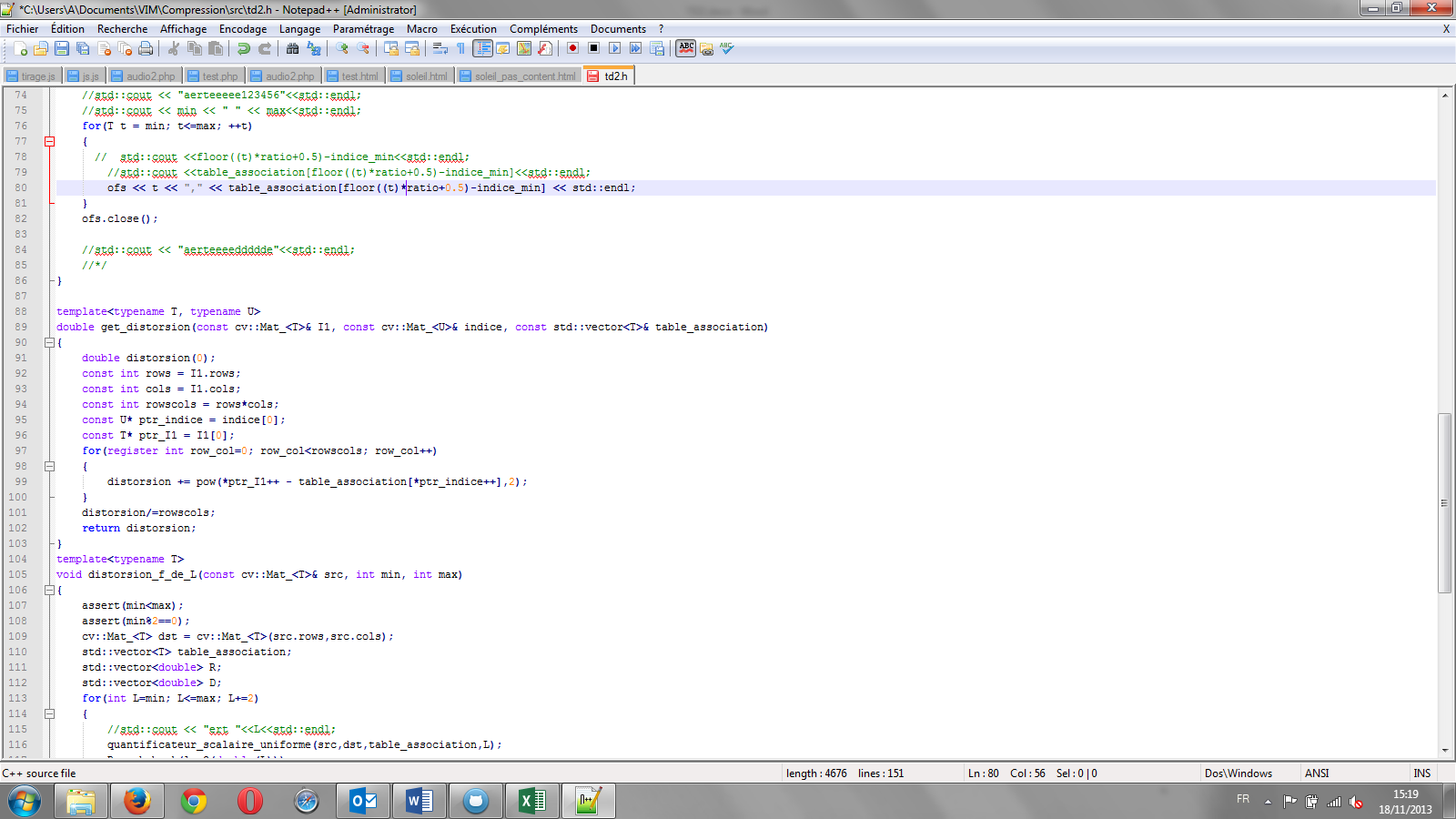
Ensuite, nous pouvons appliquer notre algorithme définit en (1) ce qui nous donne les résultats suivants pour trois nombres de niveaux différents :

Nous pouvons constater que les caractéristiques obtenues coupent bien les axes en (0,0) ce qui est cohérent avec ce qui était demandé. De plus, nous pouvons voir que la tailles des pas sont homogènes, hormis au tout début et à la toute fin de la courbe. En ces points, les intervalles ont une taille de demi-intervalle, car ils ont été tronqués pour arrêter la quantification à +/-255 et non jusqu’à l’infini. Dans ce cas-là, nous aurions eu une demi-droite horizontale sur chaque extrémité de la courbe.

## Distorsion

Nous avons la formule de distorsion suivante :

Où est l’image de référence et est l’image comparée. Ce qui nous donne l’algorithme suivant :



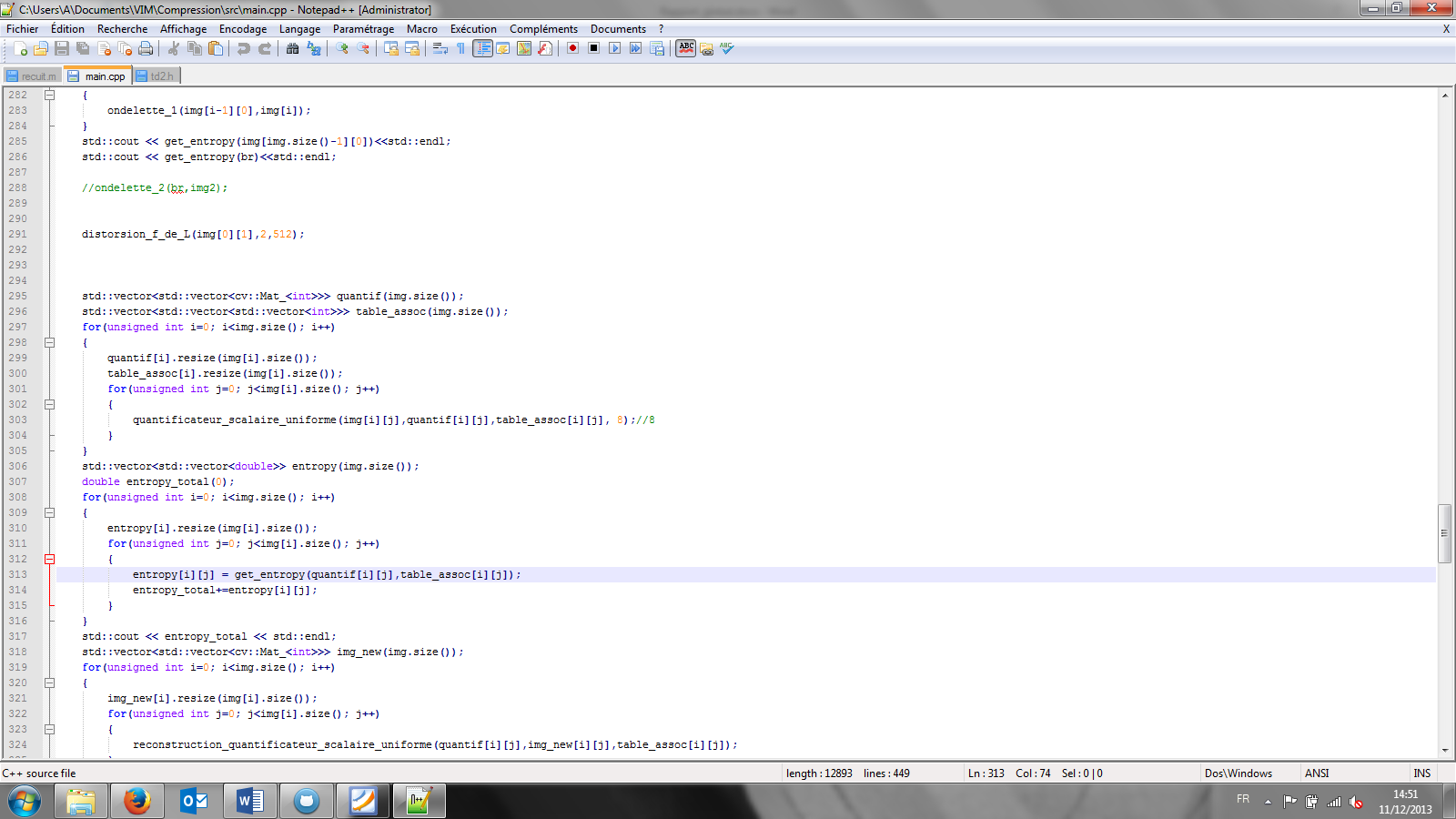
En appliquant notre méthode sur une sous-bande de coefficients d’ondelettes obtenus sur une image de Lena, nous obtenons la courbe suivante pour les L pairs :

Pour le traitement suivant de la distorsion, nous auront besoin de bits entiers et donc de garder la partie la partie entière supérieur des résultats obtenus :

# TD3

## Quantification

La quantification mise en œuvre ici est la même que celle utilisée au [TD2.1](#_Quantificateur_scalaire). Et nous l’appliquons maintenant à chaque sous bande de l’image :



## Entropie

La formule de l’entropie est la suivante :

Où est le nombre d’éléments codé par le représentant de la classe *i*, divisé par le nombre de représentants total (probabilité d’apparition du représentant), c'est-à-dire   
En appliquant cette formule, nous obtenons l’algorithme suivant :

L’entropie totale suit la formule suivante :

Le taux de compression est donné par la formule suivante :

## Reconstruction

La transformée en ondelette inverse utilisée ici est celle que nous avons développée au [TD1.3](#_Inversion_directe). Nous mesurons alors son PSNR à partir de la formule suivante :

Où :

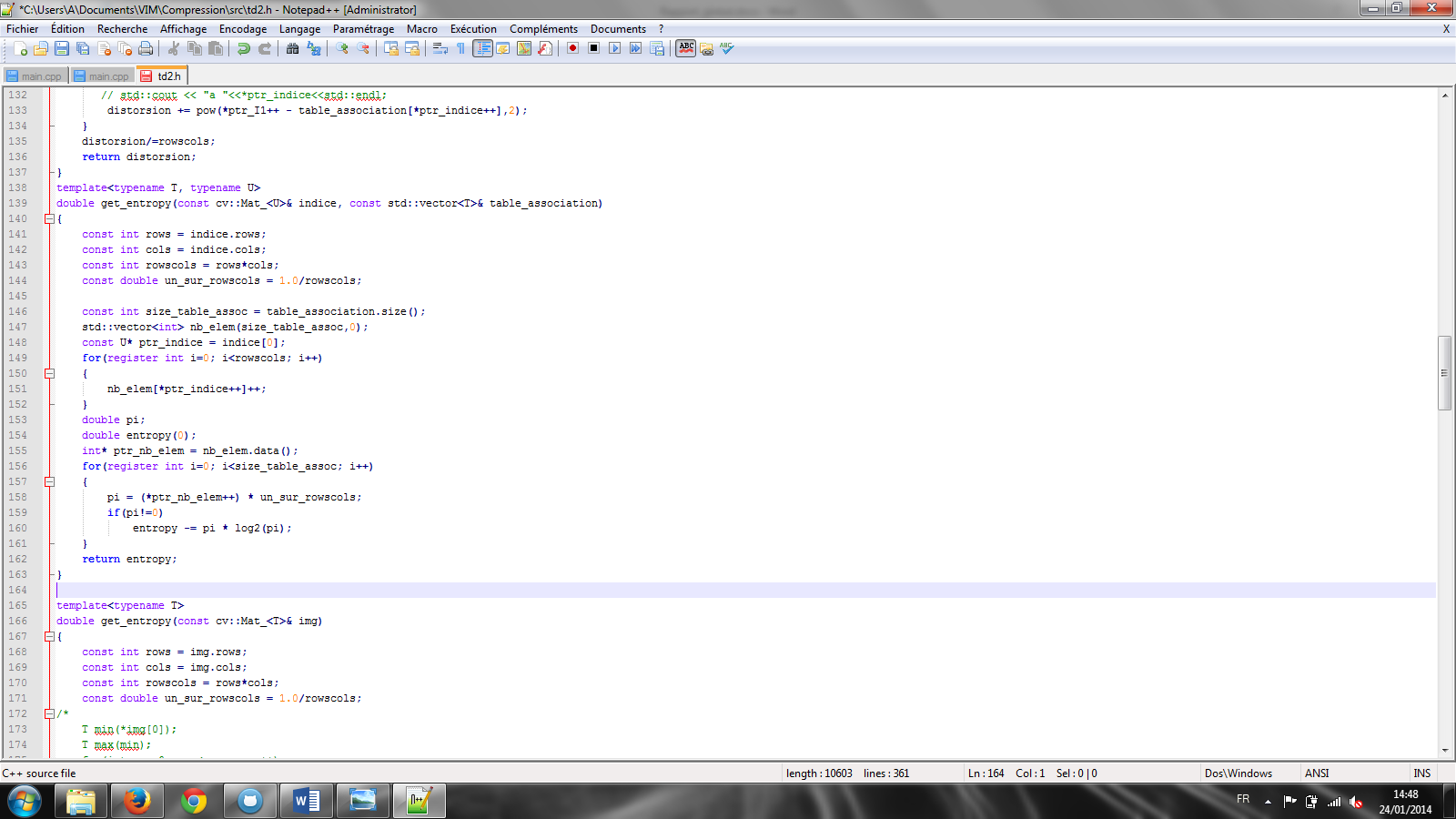
Nous pouvons remarque que lorsque l’entropie augmente, le PSNR augmente aussi. Ce qui est expliqué par le fait le PSNR est inversement proportionnel à l’EQM à un log près. De plus, plus l’entropie augmente, moins on fait d’erreur et donc plus l’eqm est faible car on met plus de bits pour coder l’image. Ce qui nous permet une meilleure précision dans le codage.

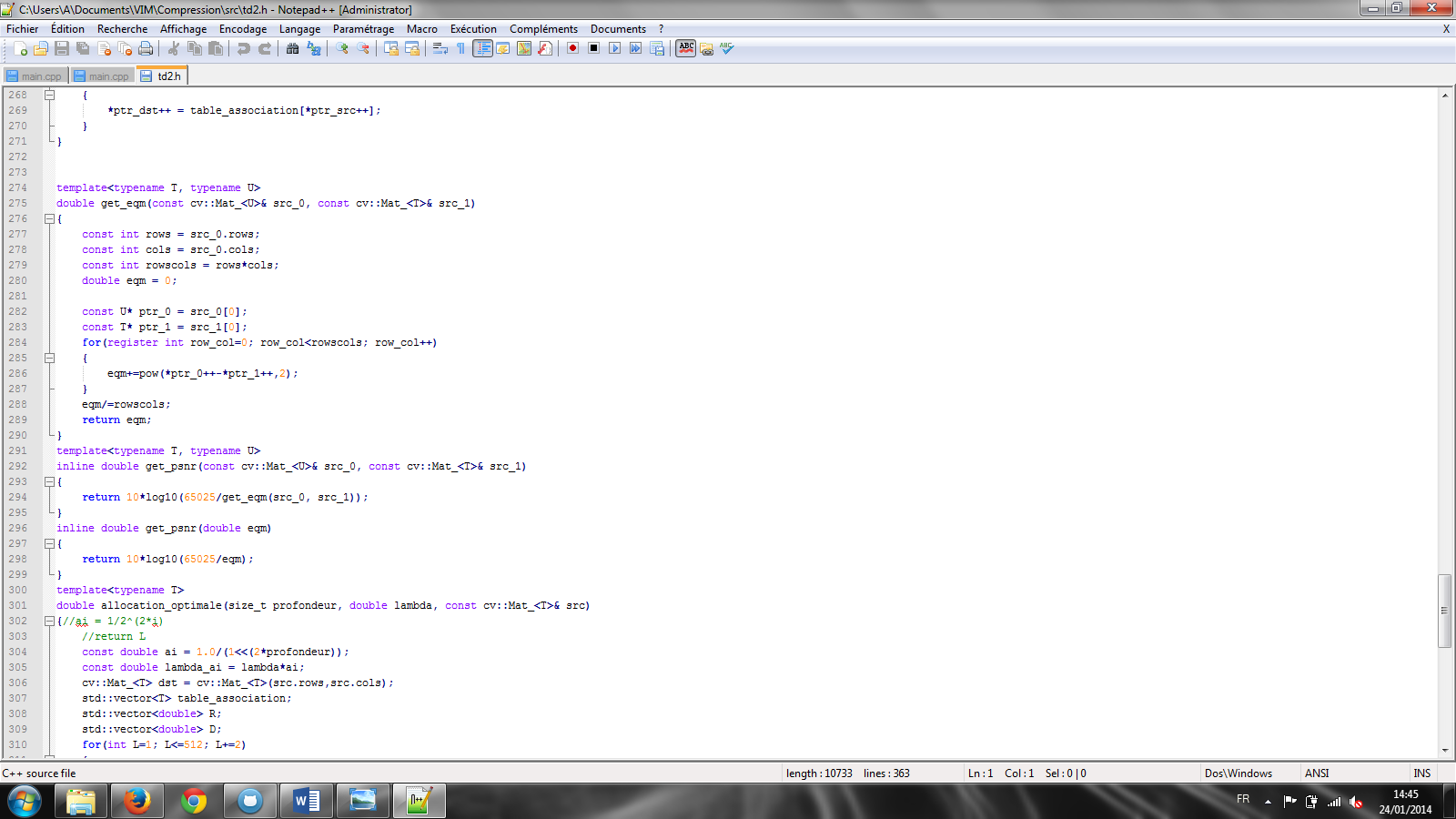
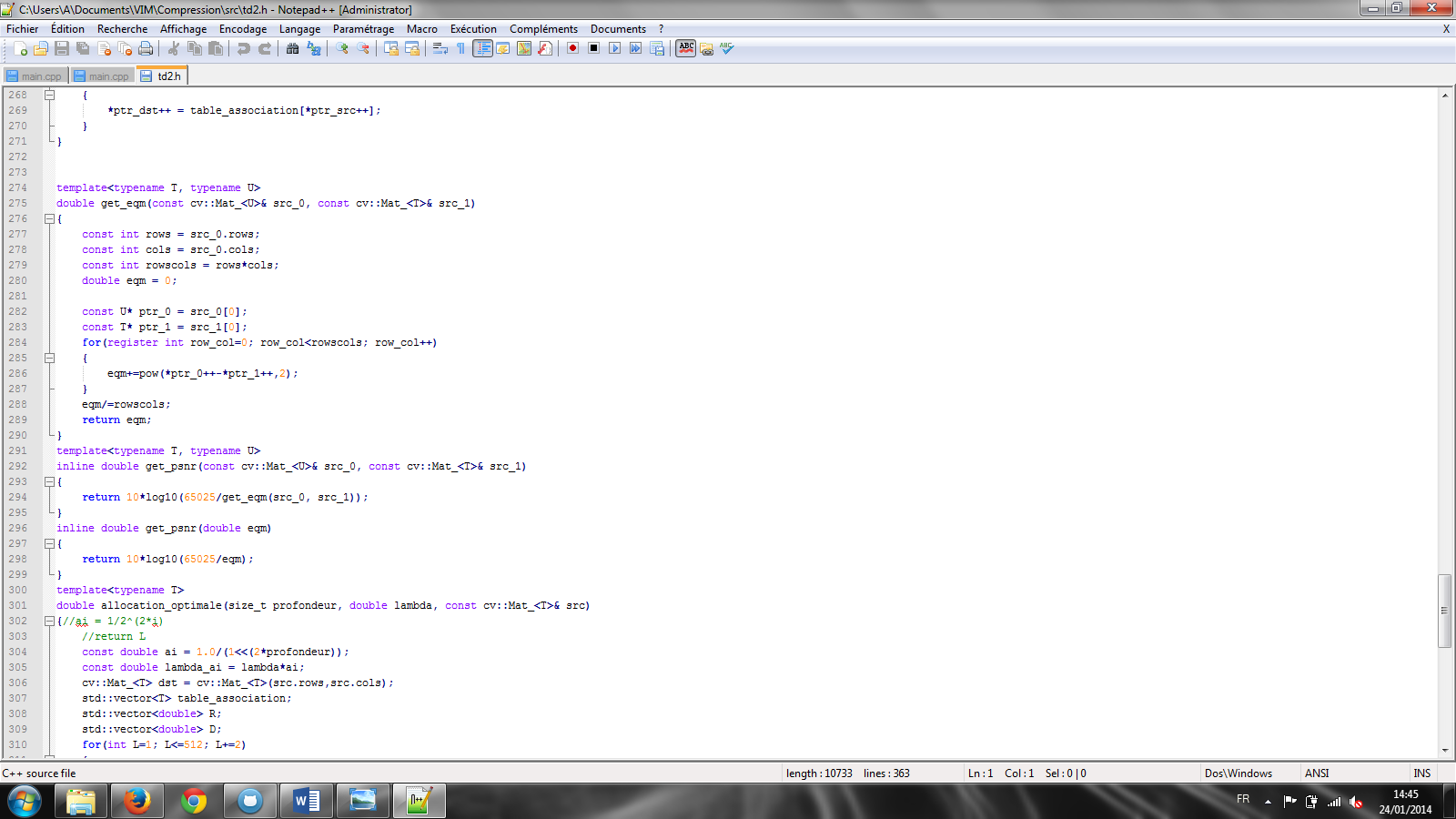
Par ailleurs, le lien entre le PSNR et l’entropie totale de l’image se constate aussi très clairement sur les images reconstituées, comme l’on peut le voir ci-après :

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Nombre d’intervalles | 3 | 5 | 9 | 257 |
| Transformée en ondelettes |  |  |  |  |
| Image reconstituée |  |  |  |  |
| Taux de compression | 19,75 | 10,01 | 5,47 | 1,05 |
| Entropie totale | 0,377 | 0,743 | 1,36 | 7,03 |
| PSNR | 71,78 | 74,53 | 78,12 | 104,311 |
| EQM totale (.10-3) | 4,3 | 2,28 | 1,00 | 0,0024 |

Avec un petit nombre d’intervalles, on ne garde que peu valeurs, nous avons donc une image très compressée et donc plus légère, mais aussi de moins bonne qualité puisque l’on peut clairement voir des blocs de pixels. A contrario, avec un grande nombre d’intervalles, nous obtenons une image reconstituée de bien meilleure qualité, mais avec un taux de compression bien plus bas et donc une image plus lourde.

De plus, nous pouvons voir ici que plus on utilise d’intervalles pour faire notre quantification, plus l’entropie totale de l’image, son PSNR et son EQM totale diminuent, illustrant bien l’amélioration de la qualité de l’image reconstruite.





# TD4

Pour faire une allocation de débit optimale, nous cherchons à définir dans chaque sous bande de la transformée en ondelettes le débit optimisant au mieux l’équation suivante :

(\*)

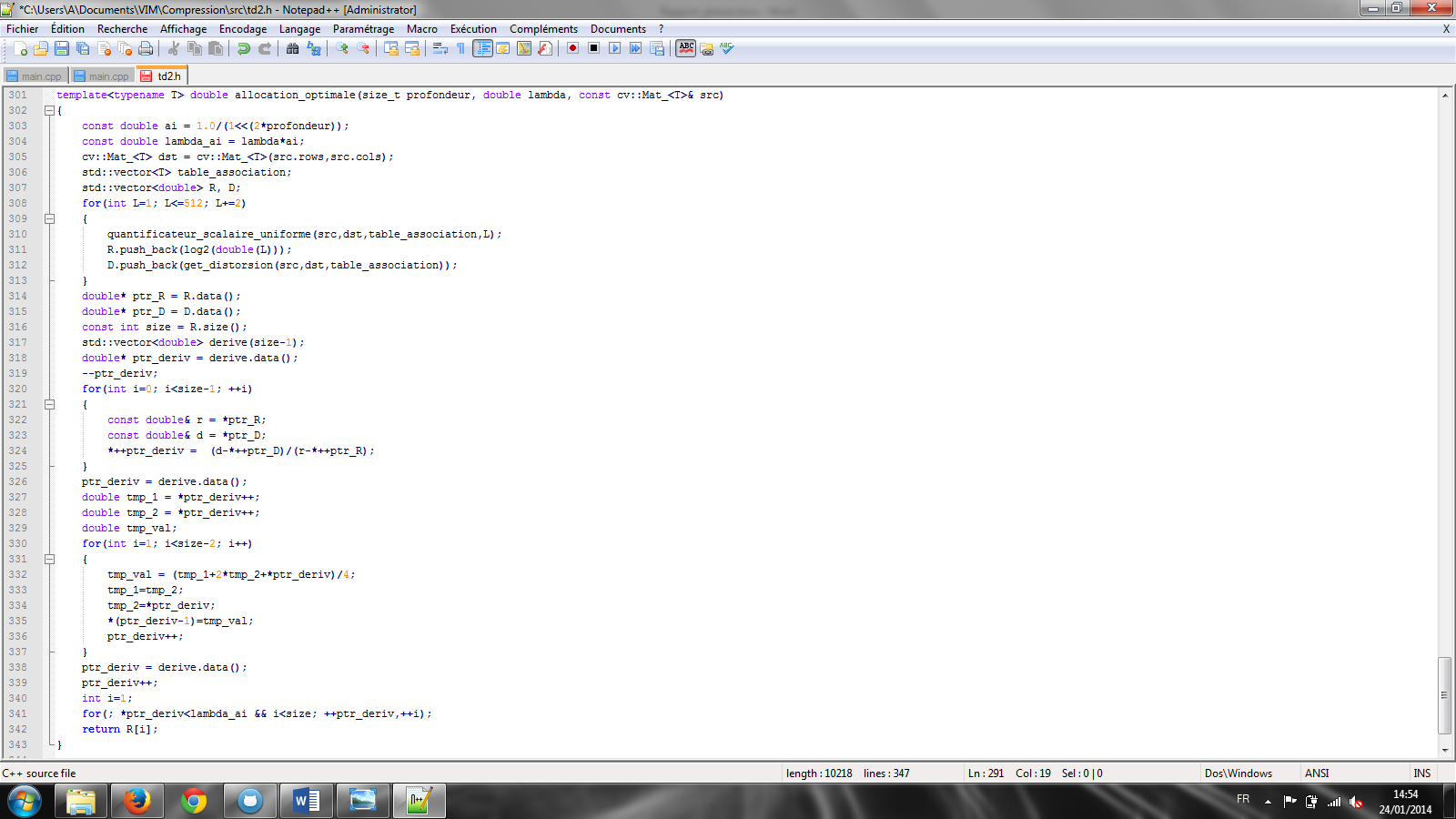
Nous cherchons les points *Ri* qui vérifient cette équation. Pour cela, nous avons initialisé la pente λ que nous cherchons (dans notre cas, nous avons choisi de prendre λ=-0,5 car nous avons au préalable écrasé les valeurs de pixel de notre image entre 0 et 1 et nous voulions avoir une différence visible du résultat entre les différentes quantifications à pas fixe), la précision ε avec laquelle on veut notre résultat ainsi que le débit maximal autorisé RSB.

Nous avons de plus calculé le débit total :

De plus, on vérifie la distance du débit total calculé par rapport au débit maximal autorisé :

Si cette inégalité est respectée, on considère qu’il y a convergence. Sinon, on choisit une autre valeur de λ et on relance l’algorithme à l’étape (\*). Cependant, nous avons pris un ε très grand, le problème ne se pose donc pas. De plus, nous avons utilisé les paramètres suivants :

= 1 (car nous utilisons la méthode de Haar)

Pour la distorsion *D(R),* nous avons la pris la courbe expérimentale obtenue au [TP2.3](#_Distorsion), et nous avons lissé sa dérivée par une gaussienne. Notons ici que si augmente, le taux de compression augmente.

Nous pouvons voir dans le tableau la place que prend une image compressée grâce à une allocation de débit optimale par rapport à une allocation de débit classique en terme de qualité d’image reconstituée ainsi que de taux de compression et autres paramètres.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Nombre d’intervalles | 3 | 5 | Optimal | 9 |
| Transformée en ondelettes |  |  |  |  |
| Image reconstituée |  |  |  |  |
| Taux de compression | 19,75 | 10,01 | 5,84 | 5,47 |
| Entropie totale | 0,377 | 0,743 | 1,27 | 1,36 |
| PSNR | 71,78 | 74,53 | 78,41 | 78,12 |
| EQM totale (.10-3) | 4,3 | 2,28 | 0,93 | 1,00 |

Sur la transformée en ondelettes, nous pouvons voir que le nombre d’intervalles n’est pas le même sur toutes les sous bandes. En effet, les hautes fréquences sont plus attaquées que les basses fréquences, en particulier sur la première couche où l’on ne garde que 3 fréquences, alors que l’on en garde de plus en plus à mesure que l’on descend dans les couches.

Par ailleurs, nous pouvons constater que nous avons un taux de compression de 5.84, ce qui donne un fichier assez léger. Malgré ce fort taux de compression, nous pouvons voir que l’image reconstituée est meilleure que ses deux voisines, alors que celles-ci ont des taux de compression proches. La même constatation peut être faite sur le PSNR ainsi que sur l’EQM totale.

# TP5

## Huffman

L'algorithme d'Huffman consiste à construire progressivement un arbre binaire en partant des nœuds terminaux.

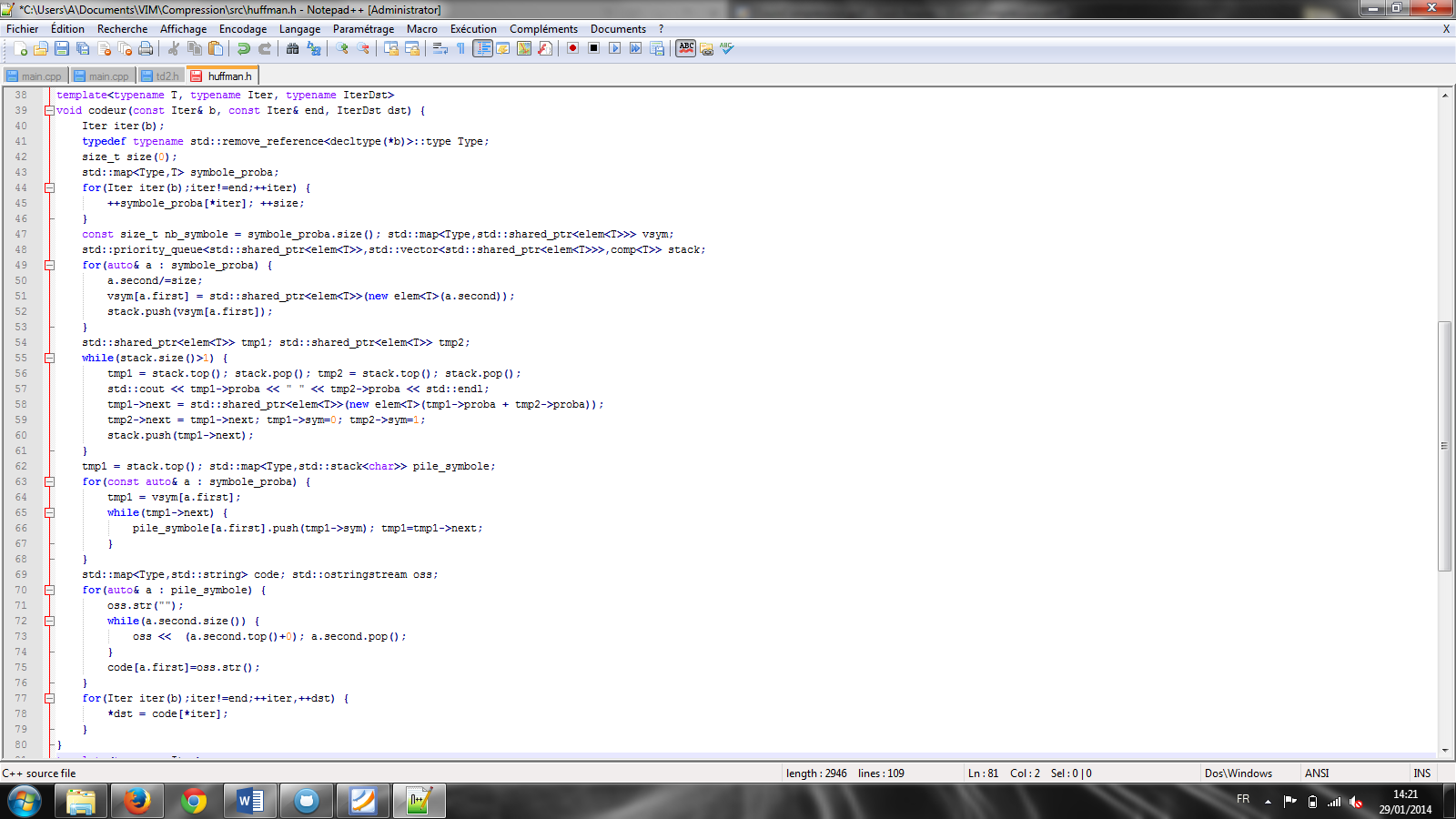
• Nous avons deux listes initiales :

* + la liste des symboles
  + la liste des probabilités d’apparition de chaque symbole

• On sélectionne les deux symboles les moins probables, on crée deux branches dans l'arbre et on les étiquette par deux symboles binaires 0 et 1.

• On actualise les deux listes en rassemblant les deux symboles utilisés en un nouveau symbole et en lui associant comme probabilité la somme des deux probabilités sélectionnées.

• On recommence les deux étapes précédentes tant qu'il reste plus d'un symbole dans la liste.



Dans notre cas les symboles sont les différents numéros des classes présentes dans un carré d’une sous-bande. Le calcul du code est fait sur chaque carré de sous-bande puisque le nombre de classes diffère d’un carré à l’autre comme l’on peut le voir ci-après :

143 classes

11 classes



3 classes

3 classes

3 classes

3 classes

89 classes

59 classes

3 classes

## Comparaison

Une fois le code de Huffman implémenté, nous l’avons appliqué pour différents pas de quantification. Puis nous avons affiché le PSNR comme une fonction de l’entropie totale (à gauche) ainsi que comme une fonction du débit total (à droite), pour pouvoir comparer ces deux courbes :

Nous pouvons constater que les deux courbes se ressemblent, principalement quand il y a plus de 2 classes considérées. Alors qu’au contraire, les premiers points on constate un décalage d’indice. Ceci est lié au fait que pour un petit nombre de classes, le débit total est plus proche de l’entropie +1, alors qu’à mesure que le nombre de classe augmente, il se rapproche de l’entropie, comme nous pouvons le voir sur la courbe suivante :

Par ailleurs, nous pouvons clairement vérifier ici que le débit total vérifie bien la propriété du codage de Huffman, c’est-à-dire :

# Conclusion

Tout au long de ce TP nous avons travaillé à compresser une image le plus possible, tout en ayant le minimum de perte possible. Pour cela, nous avons décomposé notre travail en quatre étapes principales :

* Transformée en ondelettes,
* Quantification,
* Allocation de débit optimale,
* Codage / décodage

Ce qui appliqué à une image nous donnerai :





Transformée en ondelettes,

Quantification,

Allocation de débit optimale



Codage / décodage

Au final, nous pouvons dire que nous avons une image reconstituée de qualité tout à fait acceptable, d’autant plus qu’avant d’être codée sa taille (en nombre de bits) avait été divisé par près de 6.   
Pour conclure, nous pouvons dire que la succession de ces TP nous a permis d’avoir un aperçu de la norme jpeg2000 et donc plus généralement, de comprendre les principes fondamentaux de compression d’image.

1. Les images qui sont affichées ici ont été retouchées pour pouvoir être visualisable. En effet, une fois les filtres appliqués, les valeurs obtenues ne sont pas des images et doivent être translatées et étirées entre 0 et 255. [↑](#footnote-ref-1)