



Rapport Final Projet d'IMA 201

Projet: Synthèse numérique de grain de film argentique

Encadrant: Alasdair Newson

Binôme:

Thalis Rocha Pestana - thalis.rochapestana@telecom-paris.fr

Vitor de Sousa França - vitor.franca@telecom-paris.fr

Novembre
2022

SOMMAIRE

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUCTION | 3 |
| 2. RÉSUMÉ DE LA PROCÉDURE | 4 |
| 2.1. Première Approche | 4 |
| 2.2 Deuxième approche | 6 |
| 3. CONCLUSION: | 11 |
| REFERENCES | 12 |

1. INTRODUCTION

Les images numériques ont révolutionné la façon dont nous stockons, visualisons et traitons les signaux en deux dimensions. Aujourd'hui, le traitement des images numériques est fondamental dans divers domaines, comme par exemple: l'imagerie médicale, les jeux vidéos, la vision computationnelle, le traitement et analyse des images satellite, la détection faciale et dans l'industrie du divertissement en général (cinéma, *streaming* etc.).

Bien que des avantages évidents soient accordés par les images numériques, les images analogiques présentent certaines caractéristiques capables de proportionner une qualité artistique et visuelle plus intéressante. En 2014, par exemple, le directeur Quentin Tarantino a déclaré que: "la projection digitale est la mort du cinéma" [Smi14].

En plus, certains modèles de grains de film peuvent être utilisés dans le rendu d'image comme dans le cas de l'algorithme proposé par Newson [New17] qui utilise la simulation de Monte Carlo pour donner une image numérique avec des grains, plus comme les vrais grains produits dans le processus physique d'une photographie, à n'importe quelle résolution.

Dans ce contexte, ce travail présente deux approches différentes pour l'ajout des grains sur des images numériques. La première approche basée sur la puissance spectrale d'un bruit gaussien [SS07] et la deuxième approche étant capable de représenter plus fidèlement les grains de film argentique, basé sur un modèle stochastique [New17].

2. RÉSUMÉ DE LA PROCÉDURE

2.1. Première Approche

La première approche proposée a été développée en se basant sur le coefficient de granularité de Selwyn et la puissance spectrale du bruit. Le coefficient de Selwyn est défini selon l'équation 1.

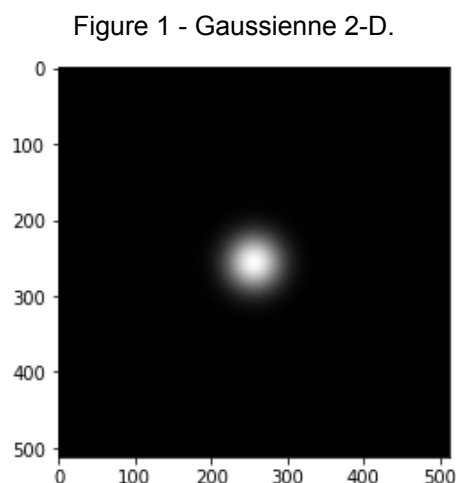
$$G = \sigma_D \sqrt{A} \propto \sqrt{D} \quad (1)$$

Où D est la densité et σ_D est l'écart-type de la densité mesuré avec une ouverture A . La puissance spectrale est définie selon l'équation 2.

$$W(w) = W(0) e^{-\left(\frac{2}{9\pi}\right)^{1/3} (\pi w d)^2} \quad (2)$$

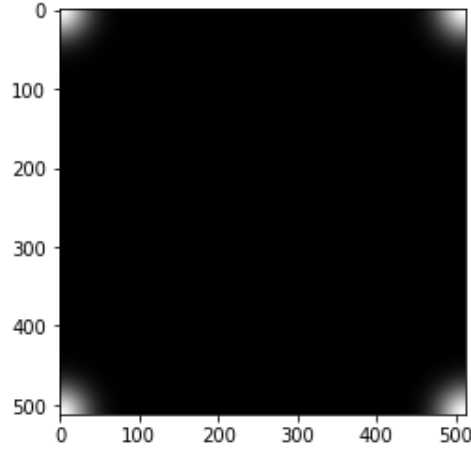
Où d est le diamètre du grain, w est la fréquence spatiale et $W(0)$ est égal à G^2 . Il est possible de vérifier que l'équation 2 suit une loi gaussienne.

En ce qui concerne l'algorithme développé dans ce travail, initialement, une gaussienne centrée, d'écart-type établi par le paramètre *sigma*, est définie par la fonction "Gaussien". La taille de l'image a été utilisée pour positionner la gaussienne dans le centre de l'image de façon qu'elle ne soit pas coupée. Le résultat de l'application de la fonction "Gaussien" avec un sigma égal à 25 peut être visualisé dans la Figure 1.



Après la définition de la gaussienne, il fallut la normaliser et la déplacer de façon que son origine était positionnée à la coordonnée $(x, y) = (0, 0)$ de l'image. Ce déplacement a été indispensable, étant donné les caractéristiques géométriques de l'image et la périodicité de la transformée de Fourier [GW00]. Le résultat du déplacement peut être vu dans la Figure 2.

Figure 2 - Gaussienne 2-D déplacé.



L'angle de phase a été définie en utilisant une distribution uniforme pseudo-aléatoire via la fonction "random" de la bibliothèque *numpy*. Cette distribution a été multipliée par 2π , afin de maintenir l'angle de phase dans l'intervalle $[0, 2\pi]$. Puis, la phase a été définie en suivant l'équation 3, dans laquelle θ est l'angle de phase.

$$\phi = e^{j\theta} \quad (3)$$

Finalement, la puissance spectrale a été définie selon l'équation 4.

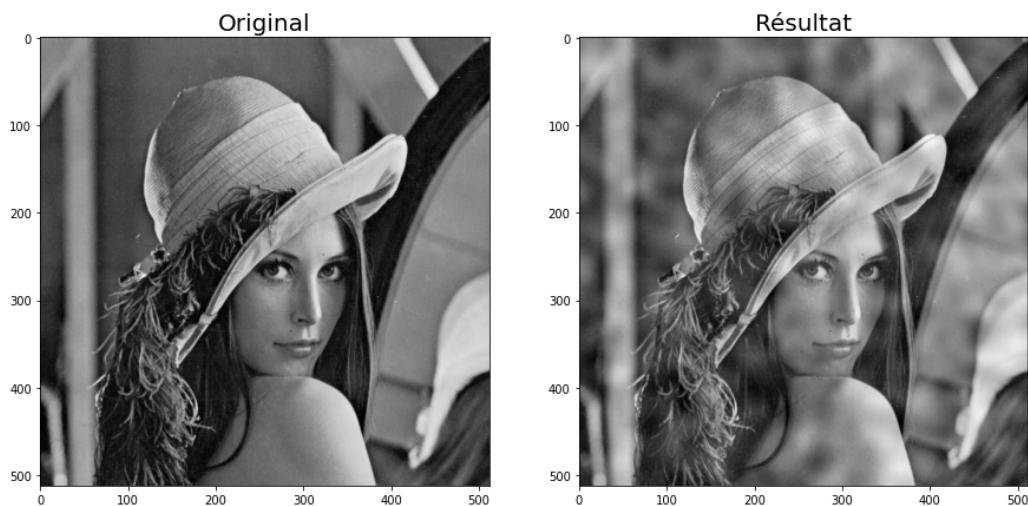
$$W = |W| e^{j\theta} \quad (4)$$

Pour générer l'image de sortie, la partie réelle de la puissance spectrale a été extraite, multipliée par un paramètre λ et ajoutée à l'image d'entrée, conformément à l'équation 5.

$$I_{OUT} = I_{IN} + \lambda \times u \quad (5)$$

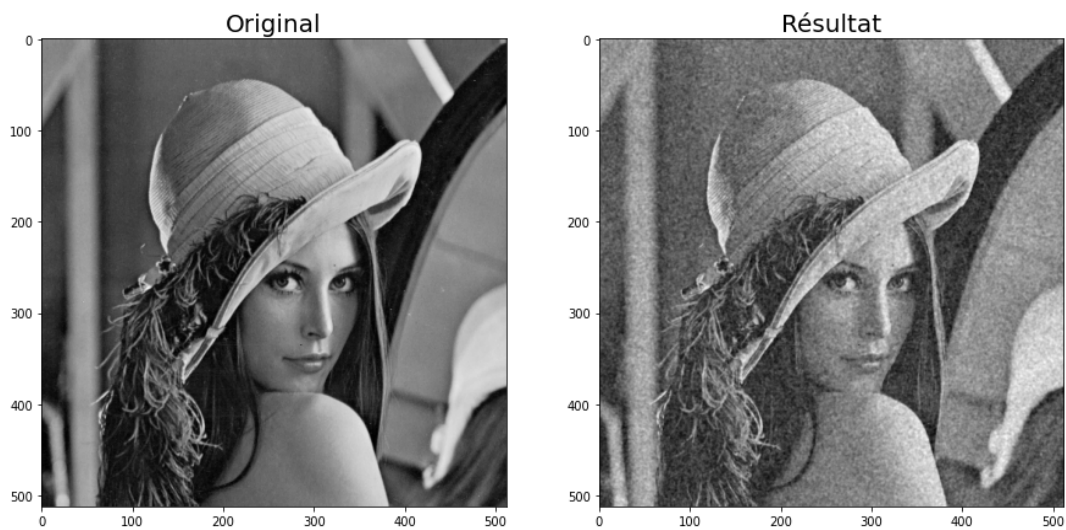
Où I_{OUT} est l'image résultante, I_{IN} est l'image original et u la partie réelle de la puissance spectrale. Le paramètre sigma étant proportionnel au diamètre des grains sur l'image, le résultat en appliquant un écart-type égal à 25 et λ de l'ordre de 10^5 n'a pas été satisfaisant. La Figure 3 présente ce résultat.

Figure 3 - Résultat de la première approche avec écart-type égal à 25 et $\lambda = 5 \times 10^5$.



En appliquant un écart-type égal à 0,9 et λ de l'ordre de 10^4 , le résultat ressemble plus à une vraie image analogique avec des grains de films, conformément à la Figure 4.

Figure 4 - Résultat de la première approche avec écart-type égal à 0,9 et $\lambda = 3 \times 10^4$.



2.2 Deuxième approche

Le deuxième approche proposée a été développée en se basant sur un modèle stochastique en vue de représenter plus fidèlement les grains de film, étant donné que le premier modèle proposé simule les grains comme un bruit additif, tandis que les vrais grains constituent l'image.

La manière la plus simple de modéliser le processus photographique, afin de produire une image plus réaliste avec des grains de film, est de présumer que les grains sont des ensembles convexes et uniformément distribués sur l'émulsion du film. Ce modèle est appelé modèle booléen et peut être défini par l'équation 6.

$$Z = \bigcup_{i \in N} (X_i + x_i) \quad (6)$$

L'ensemble Z est égal à l'union des formats des grains (X_i) avec les centres des ces grains (x_i). Selon ce modèle, il est possible de choisir des différentes tailles et formats pour les grains. Généralement, le format de disque est choisi et dans ce cas le modèle est défini par l'équation 7.

$$Z = \bigcup_{i \in N} \beta(x_i, r_i) \quad (7)$$

La fonction indicatrice est définie comme dans l'équation 8.

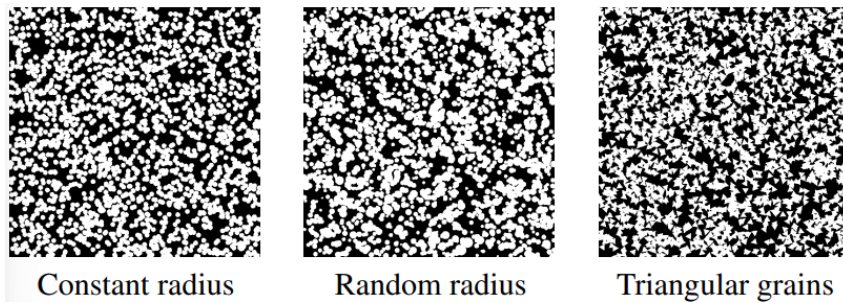
$$P(1_Z(y) = 1) = 1 - e^{(-\lambda E[A_1])} \quad (8)$$

Où la fonction assume la valeur 1 si $y \in Z$ et 0 dans le cas contraire. L'espérance $E[A_1] = \pi E[r_1^2]$ est l'aire commune des disques indéterminés et indépendamment distribués et λ détermine le taux d'occurrences attendu. Avec un rayon constant, l'expression suit l'équation 9.

$$P(1_Z(y) = 1) = 1 - e^{(-\lambda \pi r^2)} \quad (9)$$

Les résultats de ce modèle peuvent être vus dans la Figure 5 avec trois approches différentes: rayon constant, rayon aléatoire et grains triangulaires. Il est possible d'observer que dans ce modèle les grains ont une densité homogène, tandis que les grains de film réels sont plutôt inhomogènes.

Figure 5 - Modèle booléen.



Note: Figure reproduite de <<A Stochastic Film Grain Model for Resolution-Independent Rendering >> par A.Newson, Julie Delon, B.Galerie.

Alors, le modèle booléen inhomogène a été utilisé en vue de représenter plus vraisemblablement les grains de film. Dans ce cas, λ n'est plus constant. L'approche stochastique est fondé sur ce dernier modèle en appliquant une intensité λ constante par morceau de façon que les ensembles suivant un processus de Poisson soient plus aisément simulés.

En l'absence d'information sur l'acquisition d'une image, la définition d'un paramètre λ approprié, afin de bien représenter la concentration hétérogène de grains sur les pixels, devient très difficile. La solution trouvée avec le modèle stochastique consiste à définir λ en utilisant la moyenne de la zone de couverture de disque sur un pixel et les niveaux de gris de l'image d'entrée.

$$\lambda(i, j) = \frac{1}{\pi r^2} \log_{10} \left(\frac{1}{1 - \tilde{u}(i, j)} \right) \quad (10)$$

Où $i \in [0, m[$ et $j \in [0, n[$ sont les coordonnées des pixels de l'image d'entrée de taille $m \times n$ et \tilde{u} est l'image d'entrée normalisée. Avec ce λ constant par morceaux le contraste global de l'image est préservé et, en plus, les changements de contraste peuvent être gérés séparément du rendu du grain de film.

L'image d'entrée u est normalisée dans l'intervalle $[0, 1[$, d'après l'équation 11. Le paramètre ε est un petit nombre et u_{max} est le niveau de gris le plus haut possible. Dans ce travail, en considérant l'image codée en 1 octet, le niveau de gris maximum est égal à 255 et le ε a été défini égal à 0,01.

$$\tilde{u}(i, j) = \frac{u(i, j)}{u_{max} + \varepsilon} \quad (11)$$

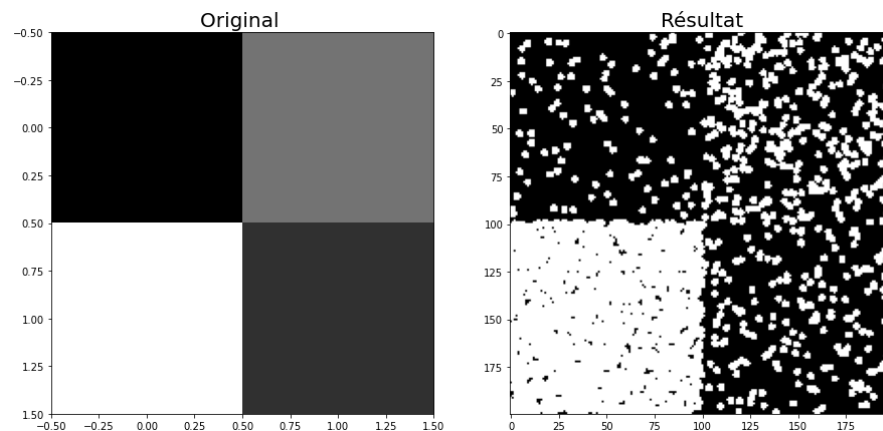
En se concentrant sur l'algorithme développé dans ce travail, la fonction "creat_grain_centers" est appliquée avec l'objectif d'établir les centres des grains sur chaque pixel selon une distribution uniforme. La quantité de grains sur chaque pixel (Q) est définie en suivant une loi de Poisson de paramètre λ constant par morceau conformément à l'équation 10. Cette fonction renvoie une liste (avec une taille $m \times n$, où $m \times n$ est le nombre de pixels dans l'image d'entrée) de listes, où chacune de ces listes contiennent une quantité Q de tuples avec les centres des grains. Ensuite cette liste est transformée en un seul *array* avec tous les tuples avec les centres des grains.

La fonction "grain_image" ajoute les grains sur l'image. En observant la définition de la fonction "creat_grain_centers", il est possible de constater que chaque pixel peut présenter de nombreux grains. Évidemment, il n'est pas possible d'ajouter ces grains sur un pixel sans un prétraitement de l'image d'entrée, étant donné que le pixel est la plus petite partie composant une image numérique. Alors, la fonction "grain_image" reçoit le paramètre "zoom", utilisé pour établir un facteur de changement d'échelle de façon que les pixels soient sur échantillonnés. Ce changement d'échelle est appliqué aussi aux centres de grains et au rayon de disque.

Après, la distance euclidienne entre tous les centres de grains et chaque pixel de l'image zoomé est calculée. Trois boucles de répétition enchaînées sont appliquées pour générer l'image de sortie: deux boucles pour parcourir chaque pixel de l'image zoomée et une boucle pour parcourir les centres de grain, en calculant la distance euclidienne. Ainsi, si la distance entre un centre et un pixel est plus petite que le rayon du grain, cela signifie qu'il y a un grain sur ce pixel. L'image de sortie y reçoit la valeur 255 (blanc) sur la coordonnée correspondante à la coordonnée de ce pixel et la troisième boucle est interrompue. Le

processus fini lorsque tous les pixels de l'image zoomée sont parcourus. Finalement, l'image de sortie est générée, conformément à la Figure 6.

Figure 6 - Résultat final avec facteur de changement d'échelle égal à 100.

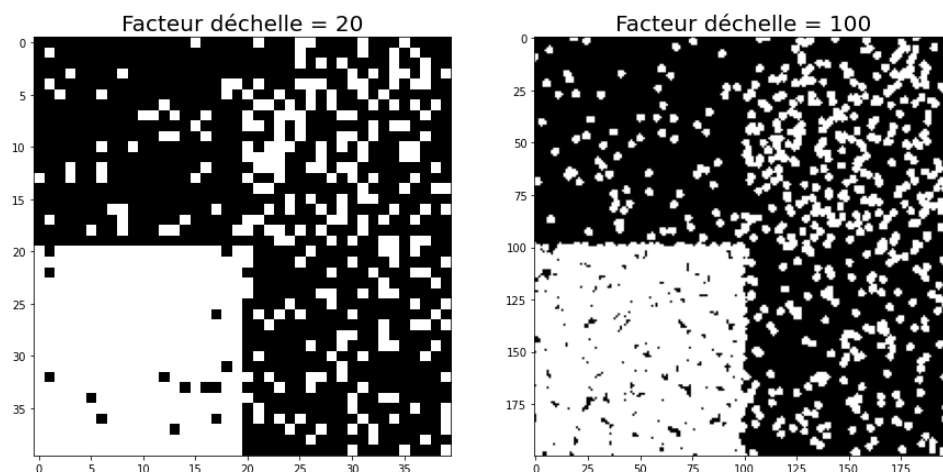


Pour le résultat obtenu dans la Figure 6, dans la fonction “create_grain_centers”, l'image d'entrée appliquée est de taille 2 x 2, le rayon des grains est égal à 0,02 et le paramètre ε de normalisation est égal à 0,1. Dans la fonction “grain_image” le facteur de changement d'échelle est égal à 100.

En analysant la Figure 6, il est possible de constater la différence de concentration des grains suivant l'intensité de niveaux des gris de l'image d'origine. Dans la région blanche le nombre de grains est visiblement plus grand, tandis que la région grisée plus claire a une quantité de grains plus importante que les régions plus sombres dans le coin inférieur droit et le coin supérieur gauche.

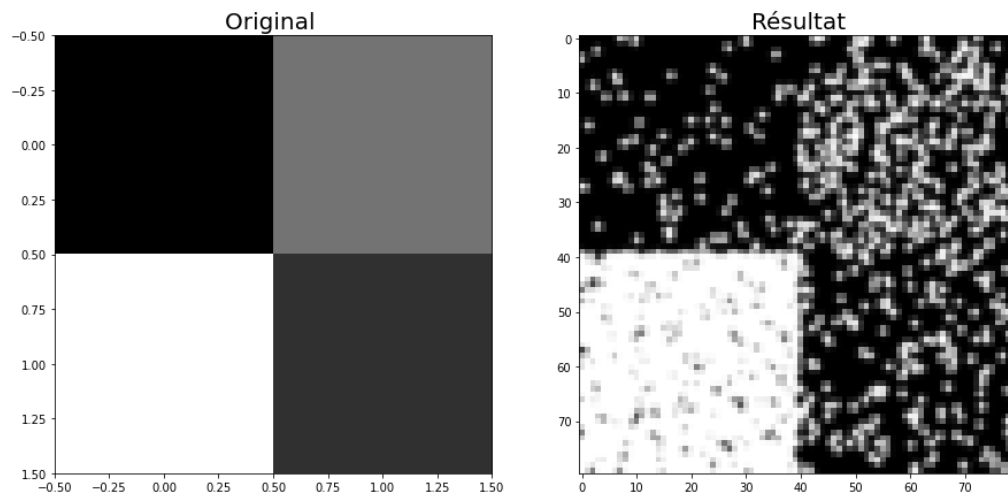
L'utilisation d'une petite image est justifiée par le fait que la fonction “grain_image” vérifie la distance de tous le centres de grains à chaque pixel de l'image zoomée un par un, jusqu'à trouver (ou non) un pixel situé dans la région délimité par un grain. Étant donné que la qualité visuelle du résultat est proportionnelle au facteur d'échelle appliqué, ce processus devient très coûteux. La Figure 7 montre les résultats obtenus avec les facteurs d'échelle: 20 et 100.

Figure 7 - Résultat avec deux différents facteurs d'échelle.



Le résultat final est obtenu en appliquant un filtre passe bas gaussien avec un sigma égal à 1 et, ensuite, sous-échantillonner le résultat en utilisant la fonction `zoom` de la bibliothèque `scipy.ndimage` avec un facteur de `zoom` égal à 0,4 (dézoom), dans le but d'obtenir une image finale avec une taille intermédiaire: plus grande que l'image d'origine et plus petite que l'image zoomée. La Figure 8 illustre ce processus appliqué sur l'image de la Figure 6.

Figure 8 - Résultat final avec facteur d'échelle égal à 100.



3. CONCLUSION:

Ce travail présente deux approches pour la production de grains de film sur une image basés sur les travaux développés pour Stephenson [SS07] et Newson [New17]. La première approche étant plus simple, présente un coût computationnel moins important et un résultat satisfaisant. Par contre, l'utilisation du spectre de puissance du bruit démontre avoir des limitations: le résultat ne présente pas les caractéristiques physiques des grains.

Ces limitations s'expliquent, parmi d'autres possibles raisons, par le fait du modèle proposé pour Stephenson simuler les grains comme un bruit additif sur l'image. En effet, les vrais grains de film composent celle-ci. Le modèle proposé par Newson est capable de représenter plus fidèlement les grains de film en considérant le processus physique de formation d'une image analogique. Entre les limitations du dernier modèle, une peut être mise en évidence: l'algorithme a un coût de calcul considérable, ce qui empêche son application en temps réel.

REFERENCES

- [GW00] GONZALEZ, R.C., WOODS, R.E.: Digital Image Processing. Blucher, 2000.
- [New17] NEWSON A., DELON J., GALERNE B.: *Stochastic Film Grain Model for Resolution-Independent Rendering*. Computer Graphics Forum (2017). p. 684-699
- [SS07] STEPHENSON I., SAUNDERS A.: *Simulating film grain using the noise-power spectrum*. In Eurographics UK Theory and Practice of Computer Graphics (2007). 3, 12
- [Smi14] SMITH N. M.: *Quentin Tarantino Blasts Digital Projection at Cannes: 'It's the death of cinema.'*, May 2014. 1