



La restauration de vieux films

Julie Delon, *chargée de recherche CNRS à Telecom ParisTech*

Agnès Desolneux, *directrice de recherche CNRS à l'École Normale Supérieure de Cachan*

Le papillonnage fait partie des défauts qui affectent couramment les bandes abîmées. À travers ce cas particulier, voyons comment les mathématiques aident à créer des algorithmes permettant de corriger automatiquement les imperfections des vieux films.

L'apparition des techniques de numérisation permet aujourd'hui d'accéder à une part importante de l'héritage cinématographique. Cependant, le processus de numérisation doit être accompagné d'une restauration des nombreux défauts qui altèrent les films et les vidéos. Parmi ces défauts, citons en particulier le *papillonnage* (appelé aussi *flicker* pour reprendre le terme anglais), qui se traduit par des variations artificielles de l'intensité de l'image, les rayures, la dérive des couleurs, les *blotches* (petites taches dues à la présence de poussière ou à la perte de morceaux de gélatine sur la pellicule), etc.

La variété des défauts observés dans les films rend leur restauration particulièrement difficile. Un film de 90 minutes contient

environ 130000 images. Pour le restaurer complètement en un temps raisonnable, et pour éviter un investissement humain trop important, des algorithmes de restauration rapides et les plus automatiques possibles deviennent indispensables. Le développement de tels algorithmes est d'autant plus critique que la tendance actuelle vers des résolutions d'images toujours plus hautes (TV HD ou support blu-ray par exemple) accentue la visibilité du moindre défaut dans les images.

Le papillonnage

Concentrons-nous sur un défaut très fréquent dans les films anciens : le papillonnage (ou *flicker*). Ce défaut consiste en



Figure 1. Trois images extraites du film « The Cure » (1917) de Charlie Chaplin. L'image centrale est nettement plus sombre que les deux autres. C'est ce défaut de luminosité, appelé papillonnage ou flicker, qui donne l'impression que le film « clignote », et que l'on va chercher à corriger de façon automatique.

des variations non naturelles de contraste d'une image à l'autre du film : les images deviennent artificiellement sombres ou claires, alternativement. Ces variations de contraste peuvent être dues à la fois à la dégradation chimique du support du film (qui crée alors des zones plus sombres ou plus claires lors du visionnage), mais aussi à une variation du temps d'exposition (temps pendant lequel la pellicule est exposée à la lumière) d'une image à l'autre. Ceci est en particulier vrai pour les films tournés à l'époque où la pellicule était entraînée manuellement.

Contrairement à d'autres défauts couramment observés dans les films (rayures, poussières, etc.), le papillonnage ne fait pas apparaître de nouvelles structures dans les images. Sa particularité est donc d'être transparent, voire quasiment invisible sur une image isolée. Seul le visionnage des images successives du film permet de se rendre compte de sa présence. Par conséquent, la restauration d'un tel défaut ne peut pas se faire sur chaque image indépendamment des autres, il faut impérativement uti-

liser plusieurs images successives du film et chercher à en « moyenner le contraste ».

Afin de corriger ce défaut, les films sont d'abord numérisés, ce qui veut dire que la pellicule est scannée, image par image, et que cette suite d'images numériques est stockée sur un ordinateur. En général, une seconde de film comporte 24 images. Un film d'une heure, une fois scanné, contient donc 86400 images numériques. Une image numérique en noir et blanc est modélisée mathématiquement comme une fonction définie sur une grille rectangulaire de carrés (appelés pixels pour la contraction de « picture elements ») et à valeurs dans l'ensemble des nombres positifs. La valeur de l'image en un pixel est appelée le niveau de gris de ce pixel.

Changement de contraste

Une fois le film numérisé, on peut appliquer à toutes ses images ce qu'on appelle des *changements de contraste* (nous verrons plus loin comment les construire pour éli-

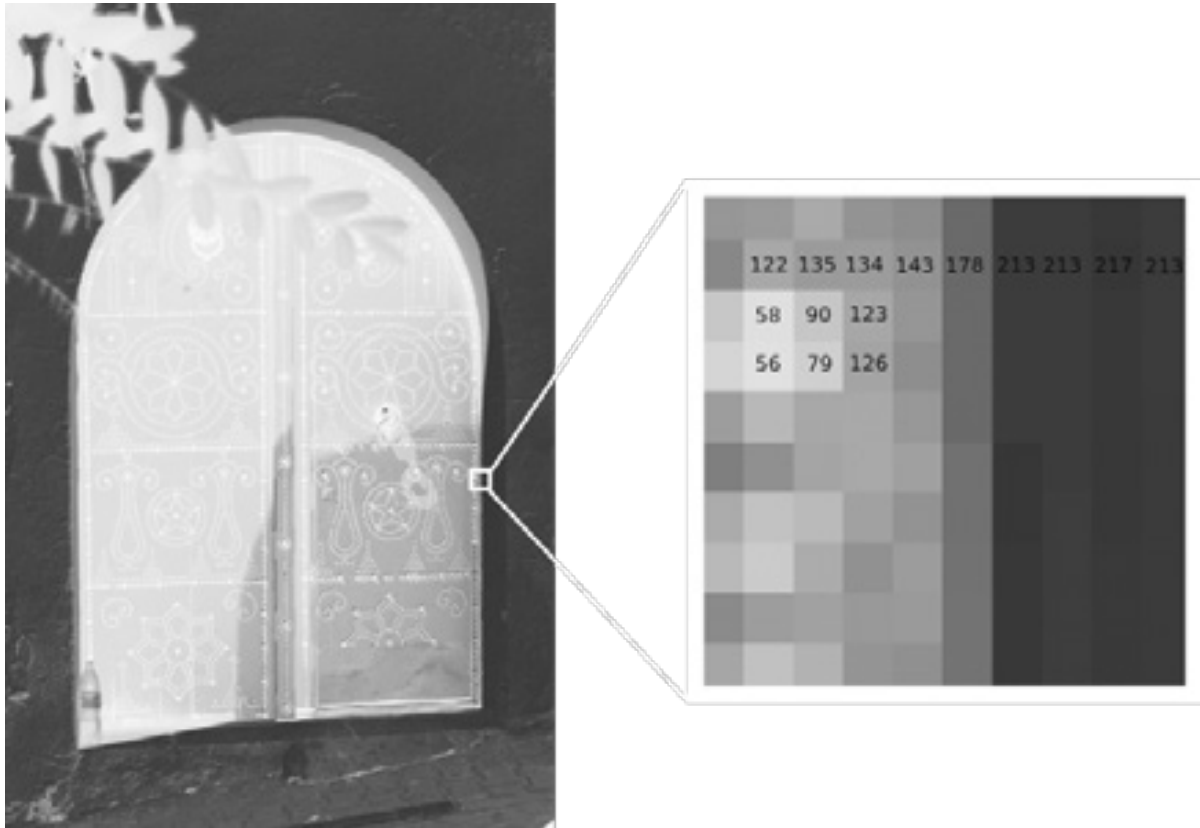


Figure 2. Une image numérique et un zoom sur un petit morceau de cette image, faisant apparaître quelques pixels et leurs niveaux de gris.

miner le papillonnage). Dire qu'une image I subit un changement de contraste veut dire qu'elle est transformée en $f(I)$ où f est une fonction croissante sur l'ensemble des nombres positifs: chaque pixel de coordonnées (x,y) voit son niveau de gris $I(x,y)$ devenir $f(I(x,y))$. Ainsi, deux pixels ayant des niveaux de gris identiques dans l'image I auront encore des niveaux de gris identiques dans la nouvelle image $f(I)$. L'intérêt et la nécessité d'utiliser une fonction f croissante est qu'elle conserve l'ordre des niveaux de gris: si un pixel est plus sombre qu'un autre pixel dans l'image I , cette propriété reste vraie dans l'image $f(I)$. En conséquence, un changement de contraste ne modifie pas le contenu géométrique d'une image, c'est-à-

dire qu'on voit la même chose dans l'image avant et après un changement de contraste. Il n'y a pas d'apparitions de nouveaux objets dans l'image.

Un changement de contraste ne modifie pas le contenu géométrique d'une image, c'est-à-dire qu'on voit la même chose dans l'image avant et après un changement de contraste.

Les changements de contraste utilisés pour supprimer le papillonnage d'un film sont construits de la manière suivante. Imaginons que l'on souhaite restaurer la $n^{\text{ième}}$ image du film, notée I_n . Pour chaque pixel



Figure 3. Changement de contraste. L'image de droite est obtenue en appliquant un changement de contraste à l'image de gauche. On peut observer que le contenu géométrique de l'image n'a pas changé.

(x,y) de I_n , on regarde quel est le rang R de ce pixel dans l'image I_n lorsque tous les pixels de cette image sont ordonnés de façon croissante suivant leur niveau de gris (on suppose que ce rang est le même pour des pixels de niveaux de gris égaux). Regardons maintenant, dans les 10 images qui précèdent I_n et dans les 10 images qui la suivent dans le film (voir l'encadré *Le nombre d'images*), quels sont les niveaux de gris des pixels ayant aussi le rang R (ou le rang le plus proche de R) dans ces images. Ces pixels ont des valeurs de gris qui peuvent être très différentes de celle de $I_n(x,y)$. On prend donc la moyenne de tous ces niveaux de gris (21 valeurs en tout), ce qui détermine la nouvelle valeur $f(I_n(x,y))$ au

pixel (x,y) , pour la $n^{\text{ième}}$ image du film. Cette correction s'appuie sur l'observation suivante: si un objet du film voit ses niveaux de gris changer d'une image à l'autre, le rang des pixels qu'il contient varie très peu d'une image à l'autre. Par exemple, les pixels de niveau median (tels qu'il y ait autant de pixels plus sombres qu'eux que de pixels plus clairs qu'eux dans l'image) correspondront vraisemblablement aux mêmes objets dans les différents images du film (voir l'encadré *L'histogramme cumulé des niveaux de gris*).

On a ainsi réalisé une *égalisation de contraste* à travers les images du film, ce qui fait disparaître l'impression de papillonnage.



Figure 4. Les trois images du film de Charlot « *The Cure* » après restauration automatique du contraste par la méthode décrite dans cet article. Ces trois images ont maintenant des luminosités similaires, et l'effet de papillonnage (qui se traduisait par une impression de clignotement) du film a disparu.

Bibliographie

Cet article est inspiré de celui que nous avons écrit pour le site Images des Mathématiques :

Delon J., Desolneux A., (2011) *Papillonnage et mathématiques des images – Images des Mathématiques*, CNRS.

En ligne, URL : <http://images.math.cnrs.fr/Papillonnage-et-mathematiques-des.html>

Handbook of Mathematical Models in Computer Vision, Edited by Nikos Paragios, Chen Yunmei, et Olivier Faugeras, Springer, 2005

Handbook of Mathematical Methods in Imaging, Edited by Otmar Scherzer, Springer, 2011

Le nombre d'images

Le nombre d'images utilisées pour la restauration (on a pris ici les 10 images précédentes et les 10 images suivantes) est un choix heuristique que l'on peut faire varier. Plus ce nombre est grand, plus on prend en compte un grand nombre d'images dans le film pour restaurer l'image courante, et plus on élimine les fluctuations dues au papillonnage. En contrepartie, prendre un nombre trop grand d'images n'a pas forcément de sens si le film comporte beaucoup de mouvements de caméra ou d'objets qui se déplacent.

L'histogramme cumulé des niveaux de gris

Le changement de contraste appliqué à l'image I_n du film s'interprète de manière précise grâce à la notion d'histogramme cumulé (appelé aussi fonction de répartition) des niveaux de gris de cette image. L'histogramme cumulé des niveaux de gris d'une image est défini comme étant la fonction qui à chaque valeur de niveau de gris (c'est à dire généralement à chaque nombre entre 0 et 255) associe le nombre de pixels dans l'image ayant un niveau de gris inférieur à cette valeur. C'est donc une fonction croissante du niveau de gris. L'opération qui consiste à moyenner les niveaux de gris des pixels de même rang R dans les 10 images qui précèdent et qui suivent chronologiquement I_n dans le film revient en fait à changer l'histogramme cumulé de I_n en la moyenne harmonique (inverse de la moyenne arithmétique des fonctions inverses) des histogrammes cumulés des 21 images considérées. D'autres types de moyenne seraient éventuellement envisageables, en particulier la moyenne arithmétique, mais on aurait alors apparition d'artefacts, comme l'illustre la figure 5. En fait, on peut montrer que la moyenne harmonique est la seule qui garantit que, sur un film fait uniquement d'une image fixe, on moyenne correctement le contraste.

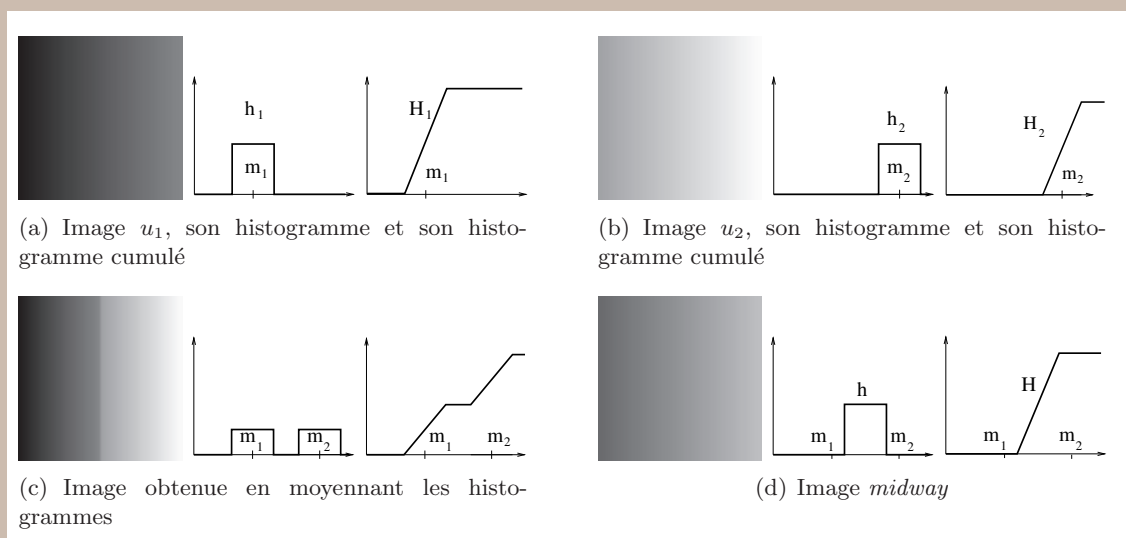


Figure 5. (a) Image d'un dégradé sombre, avec son histogramme et son histogramme cumulé. (b) Image d'un dégradé clair, avec son histogramme et son histogramme cumulé. (c) Image obtenue si on avait utilisé la moyenne arithmétique pour changer le contraste : on a ici créé une discontinuité dans le dégradé. (d) Image obtenue avec la moyenne harmonique des histogrammes cumulés : le résultat est conforme à ce qu'on attend - c'est un dégradé de niveau de gris « moyen ».