Augmentation de contraste “ adaptative ” suivant les niveaux de gris des contours

F. Kammoun, J.P. Astruc

► To cite this version:

F. Kammoun, J.P. Astruc. Augmentation de contraste “ adaptative ” suivant les niveaux de gris des contours. Revue de Physique Appliquée, 1990, 25 (10), pp.1029-1035. 10.1051/rphysap:0199000250100102900 . jpa-00246270

HAL Id: jpa-00246270

<https://hal.science/jpa-00246270>

Submitted on 1 Jan 1990

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Classification
Physics Abstracts
78.65

Augmentation de contraste « adaptative » suivant les niveaux de gris des contours

F. Kammoun et J. P. Astruc

Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux et des Hautes Pressions du C.N.R.S., Université Paris Nord, avenue Jean-Baptiste Clément, 93430 Villetaneuse, France

(Reçu le 27 février 1990, révisé le 14 mai 1990, accepté le 22 juin 1990)

Résumé. — Nous présenterons ici deux méthodes d'augmentation de contraste localement « adaptatives » sans perte d'informations. La première consiste à définir différemment une fonction de contraste sur un pixel suivant la position de son niveau de gris par rapport à celui de la moyenne des contours du voisinage. La deuxième reprend le même principe en s'attachant à la linéarité de la définition du contraste par rapport à l'écart entre le niveau de gris du pixel traité et le niveau de gris des contours. Ce traitement intervient dans une analyse d'image d'une expérience de variation de densité en microgravité sur du xénon supercritique.

Abstract. — Two different locally adaptative contrast enhancement techniques with no information loss are described. The first one uses a new definition of a pixel contrast based on the position of its grey level relative to the average grey level of the surrounding countours. Following the same principle the second technique refers to the contrast as a linear function of the difference between the grey level of a pixel and the grey level of the surrounding countours. Both treatments have been used in image analysis to follow the density variations of supercritical xenon in microgravity conditions.

1. Introduction.

Lors de l'augmentation du contraste d'une image, la tendance à l'amplification du bruit est l'un des principaux problèmes. On le résout généralement par l'utilisation d'opérateurs suffisamment étendus [1] ou d'opérateurs de lissage [2], qui précède l'augmentation du contraste, ou éventuellement par les deux [3]. Cependant le lissage supprime les hautes fréquences de l'image en la rendant floue ; un compromis doit être fixé suivant les besoins.

D'autre part il n'existe pas de définition universelle du contraste [3]. Ce dernier peut être défini localement ou globalement sachant qu'il est corrélé avec le module du gradient de l'image. La tendance actuelle penche plutôt vers les définitions et les traitements locaux [3-5].

Enfin il est nécessaire de choisir une fonction qui augmente le contraste suivant la nature de l'image et le but final du traitement [6].

Après présentation de l'expérience physique on expose en premier lieu un pré-traitement de l'image. Celui-ci comporte une première étape d'amélioration

de la dynamique et de l'uniformité de la luminance et une seconde étape de lissage.

On se propose ensuite de présenter une méthode d'augmentation du contraste ne faisant pas intervenir l'histogramme de l'image. Elle est localement adaptative suivant la moyenne des niveaux de gris des contours sur le voisinage du pixel traité. Elle comporte des éléments de symétrie sur sa fonction d'augmentation du contraste.

2. Description de l'expérience.

L'étude du transfert de chaleur dans un fluide en état supercritique ne peut se réaliser à l'intérieur d'un laboratoire à cause des micro-variations locales de la gravité qui génèrent des courants de convection. Un projet en collaboration avec le C.N.E.S. et la N.A.S.A. consiste en l'étude de ce transfert en plaçant des cellules dans la navette spatiale et en observant, après une trempe thermique, le transfert de chaleur à l'intérieur de ces cellules. Une grille placée dans chaque cellule crée un réseau de franges

d'interférences. L'interfrange est directement lié à la densité du corps qui elle-même est reliée à la température du fluide. Une analyse de la déformation de ces franges permet d'observer l'évolution du fluide en état supercritique. Nous nous sommes proposé d'étudier l'évolution de ces franges par une

Fig. 1. — Courbes d'augmentation de contraste. a) Courbe d'augmentation du contraste suivant la méthode symétrique. b) Courbe d'augmentation du contraste suivant la méthode linéaire. c) Courbe d'augmentation du contraste suivant la méthode de Beghdadi.

[Contrast enhancement curve. a) Contrast enhancement curve as obtained by the symmetrical method. b) Contrast enhancement curve as obtained by the linear method. c) Contrast enhancement curve as obtained by Beghdadi's method.]

analyse de contour. Dans ce type d'expérience se présentent des contraintes de rapidité d'algorithmes et de détection de systèmes de franges de faibles amplitudes superposées à des franges de plus grandes amplitudes. Nous avons réalisé au sein du laboratoire une première expérience pour obtenir des franges en utilisant du xénon autour du point critique. On a obtenu une série d'images sur lesquelles nous travaillons pour la mise au point de nos algorithmes. L'image de travail que nous avons choisie a un rapport signal sur bruit très faible ce qui va nous permettre de tester la robustesse de nos méthodes (Fig. 2a).

Sur cette image nous distinguons trois séries de franges d'interférences : une première série de grandes franges noires parasites que nous éliminerons dans la première étape du traitement (Fig. 2b). Les franges de la deuxième série sont de deux types : à interfranges larges pour celles créées par le xénon liquide, à interfranges étroites pour celles créées par le xénon gaz. Enfin une troisième série d'interfranges de faibles amplitudes que nous essaierons d'analyser.

3. Augmentation et uniformisation de la luminance.

Cette étape consiste à uniformiser la luminance et à modifier la valeur moyenne des niveaux de gris de l'image (exemple le milieu de la plage de quantification). La différence par rapport aux travaux précédents [3] est le choix préalable de cette valeur. Ceci permet une amélioration de la dynamique si cette dernière est faible.

Cette méthode est rapide en temps d'exécution car elle ne comporte pas de calcul de la moyenne globale sur l'image (voir Figs. 2b, 3b).

On note l'existence de deux classes sur l'histogramme de la figure d'interférence initiale (voir Figs. 2a, 3a). La première classe est due à la présence de grandes franges noires. Un seuillage de l'image initiale par le niveau de gris correspondant au minimum de la « vallée » séparant les deux classes montre la présence de ces dernières. Le traitement local de l'algorithme de l'uniformisation de la luminance supprime ces franges. On obtient après ce traitement un histogramme unimodal (voir Fig. 3b).

4. Lissage.

L'information qui nous intéresse dans l'image est sinusoïdale (franges interférométriques). Ceci nous a conduit à l'utilisation du filtre linéaire de lissage du détecteur de contours de Deriche *et al.* [7]. Ce filtre étant récursif, son temps d'exécution ne dépend pas de la fréquence de coupure. Cette opération est équivalente à une convolution de l'image avec un masque de lissage infiniment étendu. Pour d'autres applications, on peut utiliser des filtres non linéaires qui conservent plus ou moins bien les contours abrupts [2] (voir Figs. 2c, 3c).

5. Méthodes classiques.

Il existe deux types d'augmentation du contraste, les techniques globales et les techniques locales sur l'image. Les techniques globales consistent généralement à appliquer un ensemble d'opérations sur l'histogramme global ou partiel de l'image. Ces techniques fonctionnent plus ou moins bien pour les images unimodales [8, 9-10]. D'autres auteurs définissent un critère qu'ils optimisent [11, 12].

Gordon *et al.* [5] ont eu l'idée d'augmenter le contraste localement et sans tenir compte de l'histogramme de l'image initiale. Ils définissent pour cela un contraste local sur une fenêtre principale en utilisant la moyenne des niveaux de gris des pixels d'une fenêtre étendue autour de la première. Bien qu'opérant sur des images à histogramme unimodal, cette méthode reste trop sensible au bruit [3].

Beghdadi *et al.* [3, 4] proposent d'augmenter le contraste autour d'une estimation de la valeur

a)

b)

c)

d)

e)

f)

Fig. 2. — Image traitée. a) Figure d'interférences initiale. b) Uniformisation de la luminance de l'image initiale. c) Lissage linéaire par un filtre passe bas. d) Augmentation du contraste suivant la méthode symétrique. e) Augmentation du contraste suivant la méthode linéaire. f) Augmentation du contraste suivant la méthode de Beghdadi.

[Processed image. a) Original interference image. b) Intensity uniformization of initial image. c) Linear smoothing with low pass filter. d) Contrast enhancement after symmetrical method. e) Contrast enhancement after linear method. f) Contrast enhancement after Beghdadi's method.]

Fig. 3. — Histogrammes des niveaux de gris. a) Histogramme de l'image initiale. b) Histogramme de l'image après uniformisation de la luminance. c) Histogramme de l'image après lissage linéaire. d) Histogramme de l'image contrastée suivant la méthode symétrique. e) Histogramme de l'image contrastée suivant la méthode linéaire. f) Histogramme de l'image contrastée suivant la méthode de Beghdadi.

[Gray level histograms. a) Histogram of initial image. b) Image histogram after intensity uniformization. c) Image histogram after linear smoothing. d) Histogram of contrasted image after symmetrical method. e) Histogram of contrasted image after linear method. f) Histogram of contrasted image after Beghdadi's method.]

moyenne des niveaux de gris des contours $\bar{E}_{kl}$ [13] sur une fenêtre étendue Fe centrée sur le pixel à traiter. On note dans la suite de l'exposé x_{kl} la valeur du niveau de gris du pixel (k, ℓ) .

$$\bar{E}_{kl} = \frac{\sum_{(i,j) \in Fe} \Delta_{ij} \cdot x_{ij}}{\sum_{(i,j) \in Fe} \Delta_{ij}} \quad (1)$$

Δ_{ij} est un opérateur corrélé au module du gradient.

Ils définissent ensuite le contraste :

$$C_{kl} = \frac{|x_{kl} - \bar{E}_{kl}|}{|x_{kl} + \bar{E}_{kl}|} \quad (2)$$

Cette méthode est très peu sensible au bruit et ne déplace pas les contours mais présente un phénomène de saturation sur les niveaux de gris proches du niveau maximum $x_{\max}$ (voir Fig. 1c). Ce phénomène est particulièrement visible sur l'image ainsi traitée, où l'on constate la disparition des petites franges horizontales de faibles amplitudes (voir Fig. 2f). La saturation des niveaux de gris se traduit par un pic très important sur l'histogramme pour la valeur maximale des niveaux de gris (voir Fig. 3f).

6. Symétrisation de la fonction d'augmentation du contraste.

On augmente le contraste d'un pixel (k, ℓ) de l'image autour de la valeur moyenne des niveaux de gris $\bar{E}_{kl}$ des contours sur une fenêtre centrée sur ce pixel (Eq. 1).

Contrairement aux méthodes précédentes, on n'adopte pas ici une même fonction pour définir le contraste des niveaux de gris x_{kl} supérieurs à la moyenne des niveaux de gris sur les contours et de ceux qui lui sont inférieurs. On définit la distance normalisée $d(x_{kl})$ par :

$$d(x_{kl}) = \begin{cases} \frac{x_{kl}}{\bar{E}_{kl}} & \text{si } x_{kl} \leq \bar{E}_{kl} \\ \frac{x_{\max} - x_{kl}}{x_{\max} - \bar{E}_{kl}} & \text{si } x_{kl} > \bar{E}_{kl} \end{cases} \quad (3)$$

$x_{\max}$ étant le niveau de gris maximum.

On définit alors le contraste comme étant une fonction de $d(x_{kl})$ indépendamment de la position de x_{kl} par rapport à la moyenne des niveaux de gris $\bar{E}_{kl}$ sur les contours. Ce choix fait que des éléments de symétrie entre les x_{kl} supérieurs et inférieurs à $\bar{E}_{kl}$ se présentent dans le résultat final.

$$C(d(x_{kl})) = \frac{1 - d(x_{kl})}{1 + d(x_{kl})} \quad (4)$$

On en déduit l'expression du contraste en fonction du niveau de gris du pixel x_{kl} et de sa position par rapport à $\bar{E}_{kl}$.

$$C(x_{kl}) = C_{kl} = \begin{cases} \frac{\bar{E}_{kl} - x_{kl}}{\bar{E}_{kl} + x_{kl}} & \text{si } x_{kl} \leq \bar{E}_{kl} \\ \frac{x_{kl} - \bar{E}_{kl}}{2x_{\max} - (x_{kl} + \bar{E}_{kl})} & \text{si } x_{kl} > \bar{E}_{kl} \end{cases} \quad (5)$$

On vérifie aisément la continuité de la fonction contraste $C(x_{kl})$ en $x_{kl} = \bar{E}_{kl}$. On améliore le contraste suivant la fonction A que l'on choisit [6] :

$$A(C_{kl}) = \sqrt{C_{kl}} \quad (6)$$

on en déduit le nouveau niveau de gris $x'_{kl} = f(x_{kl})$:

$$x'_{kl} = \begin{cases} \bar{E}_{kl} \cdot \frac{\bar{E}_{kl} - \sqrt{\bar{E}_{kl}^2 - x_{kl}^2}}{x_{kl}} & \text{si } x_{kl} \leq \bar{E}_{kl} \\ \frac{-(x_{\max} - \bar{E}_{kl})^2 + x_{\max}(x_{\max} - x_{kl})}{x_{\max} - x_{kl}} & \\ + \frac{(x_{\max} - \bar{E}_{kl}) \cdot \sqrt{(x_{\max} - \bar{E}_{kl})^2 - (x_{\max} - x_{kl})^2}}{x_{\max} - x_{kl}} & \text{si } x_{kl} > \bar{E}_{kl} \\ 0 & \text{si } x_{kl} = 0 \\ x_{\max} & \text{si } x_{kl} = x_{\max} \end{cases} \quad (7)$$

On détermine les nouvelles valeurs des niveaux de gris extrêmes en reprenant le calcul étape par étape. On peut retrouver ces valeurs par un prolongement par continuité des expressions de l'équation (7).

On vérifie la continuité entre la partie supérieure et inférieure à $\bar{E}_{kl}$; que la dérivée tend vers $+\infty$ des deux côtés et que la dérivée seconde est positive pour les $x_{kl} < \bar{E}_{kl}$ et négative pour les $x_{kl} > \bar{E}_{kl}$.

Signalons enfin que les deux pentes en $x_{kl} = 0$ et $x_{kl} = x_{\max}$ sont égales et valent $1/2$ indépendamment de la valeur de $\bar{E}_{kl}$. D'où l'aspect de symétrie de $x'_{kl} = f(x_{kl})$ (voir Fig. 1a). Après ce traitement nous constatons sur l'histogramme une séparation nette entre les deux classes de l'image (voir Fig. 3d). De plus cette augmentation de contraste conserve les petites franges horizontales (voir Fig. 2d).

7. Linéarisation de la définition du contraste.

La précédente définition du contraste (Eq. 4) présente l'avantage d'avoir symétrisé la fonction $x'_{kl} = f(x_{kl})$, cependant $C(x_{kl})$ n'est pas linéaire par

rapport à l'écart entre $x_{k\ell}$ et $\bar{E}_{k\ell}$. On propose alors la définition suivante :

$$C(d(x_{k\ell})) = 1 - d(x_{k\ell}). \quad (8)$$

On en déduit que :

$$\begin{aligned} C(x_{k\ell}) &= \frac{\bar{E}_{k\ell} - x_{k\ell}}{\bar{E}_{k\ell}} \quad \text{si } x_{k\ell} \leq \bar{E}_{k\ell} \\ &= \frac{x_{k\ell} - \bar{E}_{k\ell}}{x_{\max} - \bar{E}_{k\ell}} \quad \text{si } x_{k\ell} > \bar{E}_{k\ell}. \end{aligned} \quad (9)$$

Si l'amélioration du contraste est $A(c) = \sqrt{c}$, on déduit la relation entre $x'_{k\ell}$ et $x_{k\ell}$:

$$\begin{aligned} x'_{k\ell} &= \bar{E}_{k\ell} - \sqrt{\bar{E}_{k\ell}^2 - \bar{E}_{k\ell} x_{k\ell}} \quad \text{si } x_{k\ell} \leq \bar{E}_{k\ell} \\ &= \bar{E}_{k\ell} + \sqrt{(x_{k\ell} - \bar{E}_{k\ell})(x_{\max} - \bar{E}_{k\ell})} \quad \text{si } x_{k\ell} > \bar{E}_{k\ell}. \end{aligned} \quad (10)$$

On constate que non seulement le calcul et les formules sont plus simples que dans le cas précédent mais aussi que la courbe $x'_{k\ell} = f(x_{k\ell})$ garde ses propriétés de symétrie sur les pentes en $x_{k\ell} = 0$ et $x_{k\ell} = x_{\max}$; de même cette fonction ne diffère que très peu de celle qui utilise la définition précédente du contraste (voir Fig. 1a, b).

On aboutit à une méthode linéaire plus rapide en temps d'exécution car elle présente moins d'opérations à effectuer. Cependant son résultat est légèrement moins contrasté que celui de la première méthode.

8. Analyse des résultats.

On compare les trois méthodes sur une image interférométrique d'un fluide (xénon) au voisinage du point critique. Dans un premier temps, la luminance est uniformisée en ramenant la moyenne des niveaux de gris sur le voisinage de chaque pixel au milieu de l'intervalle des niveaux de gris. Ce traitement supprime la bimodalité apparente de l'histogramme de l'image d'interférence initiale due aux grandes franges parasites. Ensuite un lissage est appliqué sur le résultat de la dernière opération par le filtre linéaire (passe bas) [7]. Enfin on augmente le contraste par l'une des méthodes décrites.

On note en premier lieu l'unimodalité de l'image (voir Fig. 3c) juste avant l'augmentation du contraste et sa bimodalité après application de l'une des trois méthodes (voir Fig. 3d, e, f). L'aspect bimodal de l'image correspond naturellement à l'alternance des maximums et minimums de franges d'interférences du système. La « vallée » séparant les deux classes est centrée sur la valeur moyenne des niveaux de gris des contours.

Pour les trois définitions du contraste, on a

toujours une pente qui tend vers plus l'infini au voisinage de $\bar{E}_{k\ell}$ pour la fonction $x'_{k\ell} = f(x_{k\ell})$ (voir Fig. 1b). Cette propriété conduit à une minimisation du nombre de pixels ayant un niveau de gris proche de celui des contours, permettant ainsi une meilleure localisation des contours sur l'image contrastée. Sur l'histogramme, ceci se traduit par une vallée plus profonde entre les deux classes. On obtient ainsi une meilleure séparation des classes (voir Figs. 2e, 3e).

On remarque une saturation sur les franges lumineuses de l'image résultante de la méthode de Beghdadi *et al.* [4]. Ce phénomène est particulièrement visible lors de la superposition des grandes franges lumineuses avec l'autre réseau de franges horizontales de plus faibles amplitudes.

Ces dernières ont pratiquement disparu après ce traitement [4] (voir Fig. 2f). Ce phénomène se traduit par une faible répartition sur la seconde partie de l'histogramme et par un pic ($\approx 50\,000$) sur le niveau de gris maximum (voir Fig. 3f). Ceci est la conséquence de l'aspect non bijectif de la fonction d'augmentation du contraste de l'intervalle $[0, 255]$ sur lui-même. On note la dépendance entre la taille de l'intervalle de saturation et la moyenne des niveaux de gris des contours $\bar{E}_{k\ell}$ sur le pixel (k, ℓ) .

La bijectivité des deux fonctions d'augmentation de contraste de nos méthodes implique la conservation des deux systèmes interférométriques. La méthode symétrique contraste mieux que la méthode linéaire. Ceci se traduit par un meilleur « éloignement » des niveaux de gris autour de la valeur moyenne des niveaux de gris des contours $\bar{E}_{k\ell}$: pour un niveau de gris initial $x_{k\ell}$ (inférieur ou supérieur à $\bar{E}_{k\ell}$), le niveau de gris final $x'_{k\ell}$ de la méthode symétrique est plus loin de $\bar{E}_{k\ell}$ que celui de la méthode linéaire. En conséquence sur les histogrammes (voir Fig. 3e, f), la « vallée » est légèrement plus étendue pour la méthode symétrique.

9. Conclusion.

Nous avons testé deux définitions du contraste ne présentant pas de phénomène de saturation, elles permettent ainsi le traitement de figures comportant plusieurs réseaux d'interférences superposés de différentes amplitudes.

La première définition de contraste (symétrique) comportant deux expressions différentes suivant la position du niveau de gris par rapport à la moyenne des niveaux de gris des contours. Cette définition aboutit à une fonction $f(x_{k\ell})$ du niveau du gris final bijective et présentant des éléments de symétrie.

On en a déduit une seconde définition (linéaire) où le contraste est linéaire par rapport à l'écart entre le niveau de gris initial du pixel et la valeur moyenne

des niveaux de gris des contours. Cette définition aboutit à un calcul théorique plus simple et un temps d'exécution inférieur à celui de la première définition. Cependant le résultat de cette dernière est plus contrasté.

Remerciements.

Ce travail a été effectué en collaboration avec Yves Garrabos et co-financé par le Centre National des Etudes Spatiales.

Bibliographie

- [1] ROSENFELD A. et KAK A., *Digital Picture Processing* (Academic press, New York, 1982).
 - [2] SCHER A., DIAS VELASCO F. et ROSENFELD A., « Some New image smoothing techniques », *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern.* SMC-10 (1980) pp. 153-158.
 - [3] BEGHDAI A., CONSTANS A., GADENNE P. et LAFAIT J., « Optimum image processing for morphological study of granular films », *Revue Phys. Appl.* 21 (1986) pp. 73-80.
 - [4] BEGHDAI A. et LE NEGRATE A., « Contrast enhancement technique based on local detection of edges » *Computer vision, graph. and Im. Proc.* 46 (1989).
 - [5] GORDON R. et RANGAYYAN R. M., « Feature enhancement of film mammograms using fixed and adaptative neighborhoods », *Appl. Opt.* 23 (1984) pp. 560-564.
 - [6] DHAWAN A. P., BUELLONI G. et GORDON R., « Enhancement of mammographic features by optimal adaptative neighborhood image processing » *IEEE Trans. on medical imaging* MI-5 (1986) pp. 8-15.
 - [7] DERICHE R., « Détection optimale de contours avec une mise en œuvre récursive » Onzième Colloque Gretsi-Nice (1987) pp. 483-486.
 - [8] WESZKA J. S., NAGEL R. N. et ROSENFELD A., « A threshold selection technique » *IEEE Trans. Comp.* (1974) pp. 1322-1326.
 - [9] PANDA D. P. et ROSENFELD A., « Image segmentation by pixel classification in (Gray level, Edge value) space », *IEEE Trans. comp.* C-27 (sept. 1978) pp. 875-879.
 - [10] WESZKA J. S. et ROSENFELD A., « Histogram modification for threshold selection » *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern.*, SMC-9 (janvier 1979) pp. 38-52.
 - [11] KITTLER J. et ILLINGWORTH J., « Minimum error thresholding », *Pattern Recognition*, 19 (1986) pp. 41-47.
 - [12] KITTLER J. et ILLINGWORTH J., « On threshold selection using clustering criteria », *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern.* SMC-15 (1985) pp. 652-655.
 - [13] KITTLER J. et ILLINGWORTH J., « Threshold selection based on a simple image statistic », *Computer vision, graph. and Im. Proc.* 30 (1985) pp. 125-147.
-