

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

801



NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

MODELE NON STATIONNAIRE D'IMAGES ET TRAITEMENTS ADAPTATIFS
AVEC CRITERE OBJECTIF DE QUALITE VISUELLE

Dominique BARBA

Laboratoire d'Automatique - I.N.S.A. 20, Av. des Buttes de Coësmes - 35043 RENNES CEDEX

RESUME

Nous avons considéré précédemment un modèle de la qualité visuelle évaluée par un opérateur humain. Pour cela certaines caractéristiques du système visuel avaient été prises en compte pour la restauration des images dégradées (bruit, flou et bruit).

Nous proposons, dans ce même contexte de qualité visuelle, l'utilisation explicite d'un modèle non-stationnaire d'images. En effet, une image demi-teinte (télévision ou photographie N-B) peut être considérée sous la forme d'une concaténation de zones (dont les frontières sont les contours) à distribution de luminances plus ou moins homogènes sur chacune d'elles (les textures).

Nous modélisons le signal de luminance d'image sous la forme d'un signal à deux composantes additives. L'une est le signal de luminance moyenne des zones. Elle conduit à une image modélisable par plateaux à luminance constante sur chacun d'eux. L'autre est le signal de texture.

Dans ces conditions, le traitement d'une image dégradée se décompose en :

- la séparation des deux composantes par estimation de la luminance moyenne locale.
- le filtrage adaptatif (par optimisation d'un critère objectif de qualité) de la composante texture. Eventuellement, le filtrage adaptatif de la composante par plateau.
- la recombinaison des deux composantes traitées.

SUMMARY

A model of visual quality criterion in digital image processing has been previously considered. That is, some important features of the human visual system have been taken into account in the restoration of degraded images (only noising, blurring and noising).

In that same context of visual quality criterion, we explicitly proposed the use of non-stationary model of the image signal. In fact, monochrome images (T.V. luminance signal, ...) can be viewed as a concatenation of areas where in each of them spatial luminance distribution is more or less (but rather more than less) homogeneous. This spatial luminance distribution is the texture and the borders of these areas are the contours.

So, the model we use, has two additive signal components. The first one is the signal of the local mean value of luminance inside each homogeneous area. This signal corresponds to an image containing all the features of the edges in the primitive image. The second one is the image of texture.

In this context, restoration of degraded image is performed in three parts :

- splitting the luminance signal into two components by estimation of local luminance mean value.
- linear adaptive 2-D filtering of the texture component by using an objective visual quality criterion. In some cases, adaptive filtering of the first component also.
- then, summation of the two processed components.



MODELE NON STATIONNAIRE D'IMAGES ET TRAITEMENTS ADAPTATIFS
AVEC CRITERE OBJECTIF DE QUALITE VISUELLE

INTRODUCTION

Un grand nombre d'articles ont été publiés sur l'amélioration des images dégradées, particulièrement depuis les années 70. La raison en est le développement des techniques numériques de traitement et de la technologie qui les supportent et, conjointement, l'accroissement du nombre de domaines d'activités où la source de l'information est une image.

Outre l'adaptation des méthodes déjà proposées à certains domaines d'application particuliers ou nouveaux (imagerie médicale ultra-sonore par exemple) de nombreuses recherches portent encore sur l'amélioration des méthodes fondamentales existantes, ou la mise au point de méthodes nouvelles. Dans les deux cas, l'objectif est d'essayer de faire coïncider, d'une part la réalité du problème posé et, d'autre part, les propriétés du modèle mathématique utilisé dans la résolution de celui-ci (avec si possible un coût de réalisation et de traitement le plus faible possible). Pour le traitement des images dégradées, ceci concerne le modèle des dégradations, le modèle du signal d'image, la mesure de la qualité du traitement effectué.

II - MODELES

.. de dégradations

Les diverses dégradations affectant les images ont été déjà bien étudiées (1). Nous rappelons simplement ici qu'un certain nombre de dégradations qui génèrent le flou sont dues à un filtrage linéaire homogène effectué par le système de formation de l'image. D'autres défauts dus à l'optique ne sont pas homogènes (défaut de coma,...). Quant au bruit, son influence est souvent de type multiplicatif sur l'intensité lumineuse (2), et même de puissance moyenne variable (bruit dû à l'enregistrement sur pellicule photographique).

.. d'images

Les premiers modèles d'images proposés et utilisés en traitement des images dégradées ont été des modèles statistiques de la forme : processus aléatoires, globalement et localement stationnaires au second ordre. Les paramètres de ces modèles sont liés aux caractéristiques de corrélation du signal de luminance pris, soit sous forme d'un signal à un seul indice (obtenu par balayage télévision de l'image)(3),

soit sous la forme directe bidimensionnelle pour une image fixe (4). L'intérêt de cette caractérisation est bien sûr lié au fait qu'avec l'utilisation d'un critère quadratique moyen et l'hypothèse de lois gaussiennes, on obtient un traitement linéaire optimal stationnaire et donc global. Cependant l'aspect de l'histogramme de la luminance des images réelles est très différent de celui d'une loi gaussienne et présente souvent une forme multimodale. Les images générées suivant une loi gaussienne ne peuvent comporter des régions à distributions de luminance relativement homogènes, séparées les unes des autres par de brusques variations de luminances.

Les modèles statistiques markoviens apportent des améliorations intéressantes dans la modélisation des images, ou tout au moins de leurs zones quasi homogènes (les textures). Par contre la modélisation des contours nécessite d'autres types de modèles qu'on peut, plus ou moins facilement, liés au précédent. Dans le cas unidimensionnel (ligne de balayage vidéo), l'utilisation d'un modèle poissonien pour les sauts de luminance, associé à un modèle markovien pour les textures (5), permet d'atteindre un modèle d'image non stationnaire qui approche correctement certaines caractéristiques des images réelles (loi des contours, probabilité de transition sur chaque texture,...). Le passage d'un modèle unidimensionnel réaliste à un modèle bidimensionnel réaliste n'est pas immédiat. Les interactions bidimensionnelles entre luminances de même texture doivent être prises en compte, mais également, et surtout, la dépendance de ligne à ligne des sauts de luminance (connexité des éléments de contours). Dans ce but plusieurs modèles proposés consistent à générer une partition aléatoire du plan, ce partitionnement déterminant directement la structure des contours dans l'image. Celle-ci est le plus souvent de type parallélogramme ou polygonale (6), parfois de type cellulaire (7). La détermination des lois de probabilités explicitant ces modèles et leur utilisation en traitement d'images n'est pas simple, encore que des résultats intéressants et encourageants ont été obtenus récemment (8) dans le domaine de l'amélioration de contraste.

.. de qualité

La mesure de qualité la plus répandue en traitement (au sens estimation) du signal est l'erreur quadratique moyenne. Cela est cohérent avec les modèles statistiques usuels (stationnaires), et le fait que le

MODELE NON STATIONNAIRE D'IMAGES ET TRAITEMENTS ADAPTATIFS
AVEC CRITERE OBJECTIF DE QUALITE VISUELLE

signal ainsi traité est utilisé par un dispositif physique sensiblement linéaire. S'il n'en n'est pas ainsi ce type de mesure de la qualité peut amener de grandes erreurs dans l'appréciation de la qualité d'un traitement.

En traitement des images, quand l'exploitation de celles-ci est faite par un opérateur humain, la définition d'un critère de qualité n'impliquant pas d'une façon ou d'une autre la prise en compte de phénomènes liés à la détection et à la perception dans le système visuel humain peut entraîner de graves divergences entre le critère objectif et l'appréciation visuelle.

Les phénomènes mis en jeu dans la perception des images sont complexes. Ils relèvent de l'enchaînement de deux processus distincts interdépendants. Les uns sont purement physiques et physiologiques(11) Ils sont liés aux propriétés du système visuel antérieur en tant que système de pré-traitement et de transmission des informations visuelles depuis l'oeil jusqu'au nerf optique. Les autres mettent en jeu des phénomènes physiques et psychologiques encore plus complexes, qui se situent uniquement dans les voies supérieures et le système central situé dans le cortex.

Mais ceci ne suffit pas car de plus, dans cette situation, l'usage qui est fait de l'image doit commander la forme du critère. Toutes les caractéristiques de l'image n'étant généralement pas exploitées, les parties de faible intérêt n'ont pas à être reproduites avec la même fidélité que celles dont l'intérêt est primordial pour le problème traité.

Un exemple en est la détection et le suivi des contours (en vue d'une segmentation). Même sur les images riches en contours, le rapport du nombre de points d'images appartenant aux contours sur le nombre total de points reste faible. Dans ces conditions, tout critère de qualité qui ne pondère pas d'une façon ou d'une autre les erreurs en fonction de l'affectation de chaque point n'est pas satisfaisant.

III - METHODES DE TRAITEMENT

Puisqu'une image ne peut être modélisée de façon réaliste par un signal stationnaire, ou même lentement variable, on ne saurait la traiter par des systèmes linéaires et stationnaires (homogènes), a

fortiori si on tient compte des particularismes du système visuel humain.

Dans un autre ordre, l'utilisation de façon correcte des particularités propres aux deux composantes fondamentales que sont les contours et les textures pour les images, conduit à utiliser des traitements adaptés à chacun de ces deux éléments. C'est ce que nous avons antérieurement proposé. En modélisant l'interaction entre la distribution locale de luminance et le système visuel, nous avons obtenu un traitement local s'adaptant, en particulier, indirectement aux caractéristiques locales de l'image. Il est possible non seulement d'améliorer cette adaptation en utilisant les composantes de textures et de contours mais également de tenir compte explicitement du fait que l'action des dégradations sur celles-ci n'est pas identique .

Dans le contexte de dégradations dues uniquement au bruit, en supposant celui-ci centré, les dégradations n'affectent(dans ce cas) que la composante de texture, sans perturber la composante supportant les contours.

Dans le contexte de dégradations dues à un filtrage (flou) de l'image, les deux composantes sont modifiées, mais de façons différentes en raison de leurs propriétés différentes. Aussi est-il naturel de songer à particulariser les traitements effectués sur chacune d'elles.

Ces réflexions nous conduisent à proposer le schéma suivant pour le traitement des images dégradées.

a) Décomposition du signal d'image en deux composantes :

- une composante dite "par plateaux" et qui supporte l'information de tonalité moyenne et de contour
- une composante "texture" qui supporte la texture.

b) Traitements séparés et adaptés de chacune des deux composantes précédentes.

c) Recombinaison additive des deux composantes traitées.

Nous allons montrer sur l'exemple particulier des images bruitées comment s'effectue le traitement.

Nous considérons l'équation (1) d'observation suivante :

$$I_0 = I + T(I).b \quad (1)$$



MODELE NON STATIONNAIRE D'IMAGES ET TRAITEMENTS ADAPTATIFS
AVEC CRITERE OBJECTIF DE QUALITE VISUELLE

où I et I_0 sont les intensités lumineuses de l'image d'origine et de l'image observée, b est un bruit blanc, centré, de variance unité, indépendant de l'intensité I . T est une transformation ponctuelle qui, dans le cas du bruit granulaire de la pellicule photographique ou dans le cas d'un enregistrement par caméra électronique, est non linéaire (9). Pour simplifier ici l'exposé de la méthode, nous la considérons comme linéaire. Ceci conduit à une équation d'observation additive si on utilise les densités optiques à la place des intensités lumineuses, d'où l'équation d'observation :

$$D_0 = D + B \quad (2)$$

B est blanc, centré, de variance σ_B^2 , indépendant de D .

En supposant l'image observée échantillonnée idéalement avec une structure d'échantillonnage rectangulaire, l'équation d'observation s'écrit :

$$D_0(k,1) = D(k,1) + B(k,1) \quad (3)$$

Décomposition

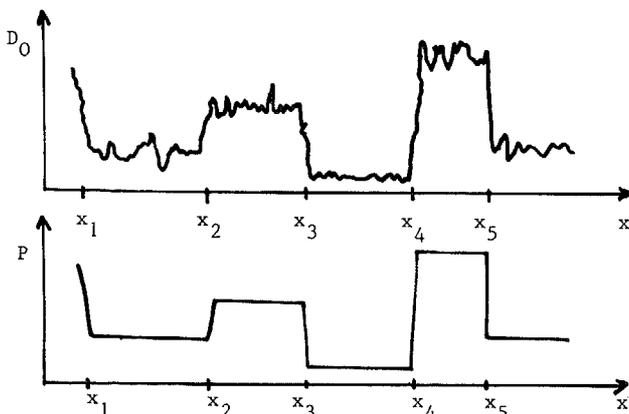
Le modèle d'image retenu induit une décomposition additive du signal d'origine en une composante par plateaux et une composante de texture. Nous décomposerons donc la densité $D(k,1)$ en deux composantes (car la dynamique du signal de texture reste faible devant la dynamique utile qui est celle de la composante par plateaux).

$$D(k,1) = P(k,1) + T(k,1) \quad (4)$$

d'où l'équation d'observation

$$D_0(k,1) = P(k,1) + [T(k,1) + B(k,1)] \quad (5)$$

où $P(k,1)$ est la composante par plateaux et $T(k,1)$ est la composante de texture initiale. Les caractéristiques de la composante par plateaux (voir figure ci-dessus), montrent que celle-ci n'est pas modifiée par une dégradation de type bruit si celui-ci est centré.



Toute l'influence du bruit perturbateur se porte sur la composante de texture. Dans ce cas précis, seule celle-ci est à traiter.

La détermination de la composante par plateaux doit se faire par un traitement qui estime la valeur moyenne sur les zones homogènes, mais qui préserve les sauts de valeur moyenne sur les contours. On peut utiliser des algorithmes de segmentation par détection et suivi de contour (10). Ces algorithmes sont généralement assez coûteux en temps calcul, s'ils sont performants. Nous avons préféré utiliser une méthode simple, le filtrage médian, dont nous avons accru les performances en le rendant adaptatif, sans complexité excessive. De plus, par une nouvelle méthode de programmation de ce filtrage pour les images, le filtrage est très rapide.

Soit S le support bidimensionnel du filtre médian.

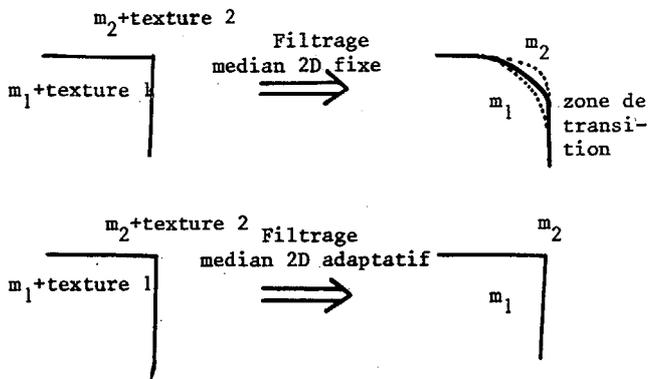
Nous le prenons rectangulaire $S = S_H \times S_V$. S_H et S_V sont les supports monodimensionnels horizontaux et verticaux de la forme : $S_H = [K_1, + K_2]$ et $S_V = [-L_1, + L_2]$

soit $[X(k,1) ; (k,1) \in S_H \times S_V]$ l'ensemble des échantillons du signal sur le support S du filtre. La valeur filtrée médiane $\hat{X}(0,0)$ est telle que son rang dans la suite ordonnée des $X(k,1)$ avec $(k,1) \in S_H \times S_V$ est $[(K_1 + K_2 + 1)(L_1 + L_2 + 1)/2] + 1$.

En pratique, dans les zones d'images homogènes, on prend un support de filtre carré et centré ($K_1=K_2=L_1=L_2$). Les capacités de filtrage (filtrage non linéaire) dépendent de la taille du support S . De façon à ce que le filtrage soit efficace, il faut que celle-ci soit grande. Corrélativement, la taille du support du filtre est lié à la taille minimale des zones homogènes que l'on va pouvoir restituer.

Un autre problème sont les performances du filtrage médian à support fixe sur image réelle. Dans le cas de contours réels (largeur de zone de transition non nulle et irrégulière pour les images échantillonnées) séparant deux zones de textures à contraste non nul, celles-ci viennent perturber le filtrage dans la partie proche du contour. De plus, même dans le cas de contours idéaux séparant deux zones de texture à contraste faible, le rendu des contours est mauvais si celui-ci n'est pas rectiligne, à fortiori si on est en présence d'une rupture de direction de contours. Le contour sera alors lissé comme le montre la figure ci-contre.

MODELE NON STATIONNAIRE D'IMAGES ET TRAITEMENTS ADAPTATIFS
AVEC CRITERE OBJECTIF DE QUALITE VISUELLE



Dans le cas d'un support de filtrage médian fixe par rapport au point à estimer, les zones à frontières de type concave ont tendance à s'épandre et inversement pour celles à frontières de type convexe. Le coin de la zone 1 est érodé. Ceci est très gênant si les valeurs moyennes m_1 et m_2 des zones 1 et 2 sont très différentes. La composante de texture comportera alors une partie du signal de la composante "par plateaux".

Un moyen, simple dans le principe pour combattre ces effets, est de décentrer le support du filtre médian en fonction des caractéristiques locales du signal d'image sur celui-ci. Le décentrement doit pouvoir porter à la fois sur les directions horizontale et verticale en fonction de la présence de contours horizontaux ou verticaux (ou des deux) sur le support du filtre. Il a pour but de rendre excentrique les éléments de contour sur le support du filtre.

La méthode de restauration adaptative que nous avons développée (9), et qui utilise deux fonctions de masquage horizontale M_H et verticale M_V , nous fournit les éléments nécessaires au calcul des décadrages horizontal d_H et vertical d_V en chacun des points (k,l) de l'image à traiter. Le décadrage horizontal et vertical ont été choisis linéaires avec les valeurs du masquage (à la quantification près).

Le calcul de la valeur médiane d'un ensemble de valeurs en nombre n , est un problème de classement nécessitant un nombre d'opérations voisin de $n(n-1)$. Pour un support de filtre médian carré, de côté égal à $2N+1$, $[(2N+1)^4 - (2N+1)^2]$ opérations sont nécessaires. Ceci donne un nombre d'opérations très important, même pour de faibles valeurs de N (3 ou 4). Nous avons mis au point une méthode de calcul de la médiane sous forme de calcul récursif d'histogrammes, qui tient compte du fait que les deux supports pour le filtrage médian de deux points voisins sont emboîtés. De plus,

le domaine de valeurs des signaux numériques d'images est faible (typiquement 0-255). Ceci conduit un nombre d'opérations moyen de la forme $C^{te} + 2(2N+1)$, où la constante est égale à la moitié du nombre total de valeurs possibles du signal numérisé.

On voit qu'en pratique, pour une dynamique [0-255] dès que $N > 1$, cette méthode est plus avantageuse que la méthode classique.

2) Traitement adaptatif des composantes

La dégradation envisagée ici, bruit seul, n'entraîne pas de dégradation de la composante par plateaux. Aussi celle-ci n'a pas besoin d'être traitée dans ce cas. Evidemment l'influence du bruit va porter totalement sur le composante de texture.

Le traitement de la composante de texture est fait de façon locale et adaptative pour tenir compte de la non-stationnarité de ce signal (seule, sa valeur moyenne est nulle), mais également des propriétés du système visuel concernant la visibilité des défauts de traitement. Cette méthode, qui utilise un filtrage linéaire local, séparable et variable, se fait suivant une procédure décrite dans (9) et (11). Le principe en est l'égalisation, en tout point de l'image après traitement, de la visibilité des dégradations résiduelles (flou et bruit).

3) Recombinaison

L'image traitée est obtenue par simple additivité de la composante par plateaux (non traitée ici) et de la composante de texture traitée.

IV. - MISE EN OEUVRE ET CONCLUSION

Nous avons testé cette méthode de traitement sur plusieurs images dont les caractéristiques sont assez différentes : forme et taille des zones homogènes, richesse en contours, textures de contraste faible et moyen, ... Le bruit utilisé, généré par programmation, est additif sur la composante densité lumineuse (logarithmique de la luminance).

L'algorithme précédemment décrit, utilise les valeurs du masquage tant pour l'adaptativité du filtrage médian (séparation en deux composantes) que pour celle du filtrage de la composante de texture. Aussi, l'algorithme complet de traitement est le suivant :

- Calcul des valeurs du masquage horizontal et vertical (11) à l'intérieur du médaillon observé, centré sur le point à traiter (la dimension utile du



MODELE NON STATIONNAIRE D'IMAGES ET TRAITEMENTS ADAPTATIFS
AVEC CRITERE OBJECTIF DE QUALITE VISUELLE

médaille est en pratique de 9×9 pour une distance d'observation de l'écran de télévision égale à 6 fois sa hauteur).

- Calcul des dérivées filtrées horizontale et verticale du masquage horizontal et vertical en chaque point, d'où on en déduit la valeur du dégradé horizontal et vertical pour le filtrage médian de l'image dégradée observée.

- Séparation en deux composantes.

- Détermination en chaque point des filtres optimaux séparables de traitement de la composante de texture. En pratique, le temps de traitement étant prohibitif, une série de filtres monodimensionnels ont été calculés hors ligne. Ils correspondent à une segmentation du domaine de valeurs du masquage.

- Filtrage de la composante de texture.

- Recombinaison additive des deux composantes.

A titre d'exemple, le traitement d'une image bruitée est présenté sur les photographies ci-jointes. Sont représentées : a) l'image d'origine (256×256) ; b) l'image bruitée ($\sigma = 10$) ; c) la composante par plateaux ; d) la composante de texture ; e) l'image traitée.

Les résultats obtenus sur écran de télévision montre à l'évidence que la séparation d'un signal d'image en deux composantes qui supportent chacune une des deux caractéristiques fondamentales des images : les contours pour la composante par plateaux, les textures pour la composante de texture, est un facteur important d'amélioration pour la qualité des traitements effectués. Par analogie avec ceux que peut faire le système visuel humain séparément pour chacune de ces composantes, on peut effectuer des traitements séparés et adaptés aux caractéristiques propres et totalement différentes de ces deux composantes fondamentales des images.

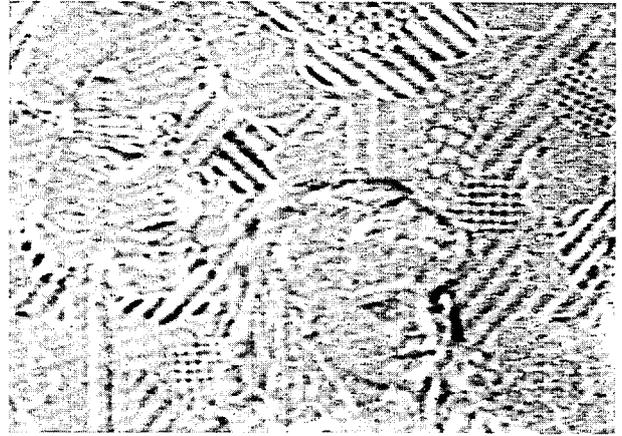
BIBLIOGRAPHIE

- (1) H. MAITRE, J. FLEURET : "Identification des défauts de prise de vue entachant une image". Ann. des Télécom., vol. 32, n°1-2, 1977.
- (2) T.S. HUANG : "Film Grain Noise", Nato Advance Institute on Digital Image Processing and Analysis, Bonas June 1976.
- (3) N.E. NAHI : "Role of recursive estimation in statistical image enhancement", Proc. of IEEE, vol. 60, n°7, July 1972.
- (4) D.P. PANDA, A.L. KAK : "Recursive least squares smoothing og noise in images". IEEE Trans. on A.S.S.P., vol. ASSP-25, n°6, Dec. 1977.
- (5) B. FAUST, J. FLEURET, H. MAITRE : "A non-stationary 1D Markov-Poisson mode for image signal representation".
- (6) J.W. MODESTINO, R.W. FRIES, A.L. VICKERS : "Stockastic image models generated by random tessellations of the plane". Comp. Graph. and Image Processing, vol. 12, 74-98, 1980.
- (7) N. AHUJA, T. DUBITZKI, A. ROSENFELD : "Some experiments with mosaic models for images". IEEE Trans. on S.M.C., vol. SMC-10, n°11, Nov. 1980.
- (8) R.W. FRIES, J.W. MODESTINO : "Image enhancement by stockastic homomorphic filtering". IEEE Trans. on A.S.S.P., vol ASSP-27, n°6, Dec. 1979.
- (9) D. BARBA : "Sur le traitement adaptatif d'images floues en présence de bruit signal-dépendant". GRETSI, 7ème Colloque, Nice, 28 mai/2 juin 1979.
- (10) M. BASSEVILLE : "Détection des contours : méthodes et études comparatives". Ann. des Télécom., tome 34, n° 11-12, Nov-Déc 1979.
- (11) D. BARBA : "Traitement numérique d'images avec critère psychovisuel de qualité". Thèse d'Etat Paris, 1981.

MODELE NON STATIONNAIRE D'IMAGES ET TRAITEMENTS ADAPTATIFS
 AVEC CRITERE OBJECTIF DE QUALITE VISUELLE



a) "Fille aux jouets" (image d'origine)



d) Composante de texture de b)



b) Image bruitée ($\sigma_B=10$)



e) Image traitée recomposée



c) Composante par plateaux de b)

