

MA-004-99-1

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE SAAD DAHLED BLIDA

Faculté des sciences

Département d'informatique.



Mémoire Présenté par :

- Lachib Zineddine
- Cheikh Wail

Pour l'obtention du diplôme Master

Domaine : Mathématique et Informatique.

Filière : Informatique.

Spécialité : Informatique.

Option : Ingénierie du logiciel.

Sujet :

RESTAURATION DES DOCUMENTS

ANCIENS :

SUPPRESSION DE BRUIT DE

SEGMENTATION

MA-004-99-1

Soutenu le : /07/2012 devant le jury composé de :

M.

Président

M. Hadj Yahia.O

Promoteur

Dr Meziane Abdelkrim

Encadreur

Examineurs

Année universitaire 2011/2012

Remerciements

Nous tenons à remercier et exprimer notre travail gratitude et reconnaissance, tout d'abord à ALLAH le tout puissant, qui nous a aidé à réaliser ce modeste travail.

Notre remerciement s'adresse chaleureusement à Mr hadj Yahia notre promoteur et Mr Meziane avec sa collègue Mlle Setitra pour leur assistance, leur redressement et leur orientation avec une louable consistance.

Nous remercions aussi les membres de jury qui ont l'honneur de bien vouloir évaluer ce modeste travail.

Nous remercions aussi toute personne qui nous a appris quelque chose depuis notre enfance à ce jour-là.

Enfin, nous remercions tous ceux ont aidés de près ou de loin pour réaliser ce travail.

Liste des figures

Chapitre 1	Généralités sur l'imagerie et traitement d'image	
Figure 1.1 : représentation des pixels sur une image numérique	4	
Figure 1.2 : Différents pavages	4	
Figure 1.3 : Notion de voisinage e pavage rectangulaire	5	
Figure 1.4 : Différentes distances entre deux pixels	4	
Figure 1.5 : Les images illustrent l'influence de la résolution sur la qualité de l'image ...	7	
Figure 1.6 : Image originale en 256 niveaux de gris	8	
Figure 1.7 : exemple de synthèse additive	9	
Figure 1.8 : l'espace HSV comme représentation en coordonnées cylindriques	12	
Figure 1.9 : l'image «iggy » original en vraies couleurs sur 24 bits	12	
Figure 1.10 : espace teinte /saturation/valeur : les trois plans et la mire HSV	12	
Figure 1.11 : Image en niveaux de gris et son Histogramme	16	
Figure 1.12 : Structure de stockage d'une image	17	
Figure 1.13 : les différentes qualités d'image jpeg	17	
Figure 1.14 : une image au format PBM et le grossissement du coin supérieur gauche.....	18	
Figure 1.15 : une image au format PGM et le grossissement du coin supérieur gauche.....	18	
Figure 1.16 : Une image au format PPM et le grossissement du coin supérieur gauche.....	19	
Figure 1.17 : influence de la quantification selon bits/composante	17	
Figure 1.18 : Un exemple de restauration	27	
Figure 1.19 : Exemple de détection de contours	31	
Chapitre 2	Généralités sur le manuscrit	
Figure 2.1 : Evolution du support de manuscrit	34	

Chapitre 3 **numérisation des anciens documents**

Figure 3.1: exemple d'un matériel de numérisation	42
Figure 3.2: schéma de processus de numérisation	42
Figure 3.3 : Schéma bloc d'une chaîne de numérisation de documents	50
Figure 3.4: exemple des patrimoines d'Adrar	52
Figure 3.5: exemple des patrimoines dans le centre algérien de la cinématographie(CAC)	53

Chapitre 4 **dégradation des anciens documents**

Figure 4.1 : exemple de dégradation biologique.....	55
Figure 4.2 : exemples des dégradations chimiques	55
Figure 4.3 : exemples de dégradations physique	56
Figure 4.4: Exemples de dégradations mécanique.....	57
Figure 4.5 : Finesse de la grille pour une faible et une forte résolution	59
Figure 4.6 : Perte de la topologie avec le déplacement aléatoire d'une grille de résolution.....	59
Figure 4.7 : Problèmes d'une faible résolution sur une image de trait	59
Figure 4.8 : Aspect destructif de la compression JPEG	60
Figure 4.9 : Limites de la numérisation des microfilms	61
Figure 4.10 : Dégradations du fond sur une image	63
Figure 4.11 : Dégradations des formes sur une image de synthèse	64

Chapitre 5 **Restaurations de documents anciens**

Figure 5.1 : Suppression des taches en transparence par recalage	67
Figure 5.2 : Suppression des taches en transparence par recalage	68
Figure 5.3 : Suppression des taches en transparence par analyse de l'orientation	69
Figure 5.4 : (a) Image d'origine, (b) Image finale de recto séparée du verso	70

Figure 5.5 : Séparation recto/verso par segmentation et agrégation de régions couleurs	70
Figure 5.6 : Application de l'approche de [Ley-04]	71
Figure 5.7 : Principe de la restauration d'une lettre cassée par les contours actifs	72
Figure 5.8 : Cas de dégradations de la lettre «e»	73
Figure 5.9 : Restauration par prototypage des formes dégradées de lettres	73
Figure 5.10 : Limite d'une restauration par prototypage	74
Figure 5.11 : Défauts géométriques de la photographie d'un livre ouvert	75
Figure 5.12 : Suppression des taches en transparence par analyse de la couleur	76
Figure 5.13 : Effets des opérateurs morphologiques sur les images binaires	77
Figure 5.14 : Restauration de la dégradation colorimétrique par ajustement du contraste	78

Chapitre 6

proposition de la méthode

Figure 6.1 : résultats de segmentation de k-moyennes	86
Figure 6.2 : résultats de segmentation k-plus proche voisins	88
Figure 6.3 : cachet rond dégradé	90
Figure 6.4 : cachet sous forme d'écriture	90
Figure 6.5 : résultat de classification par la méthode de calcul de poids	92

Chapitre 7

Implémentation

Figure 7.1 : organigramme de l'application	95
Figure 7.2 : la fenêtre principale de l'application	96
Figure 7.3 : menu principal	96
Figure 7.4 : menu de fichier	97
Figure 7.5 : menu de prétraitement	97
Figure 7.6 : menu de restauration	98
Figure 7.7 : restauration en version RGB	98
Figure 7.8 : restauration en version imprimable	99

1.5.1	La qualité de stockage	17
1.5.2	Format de stockage	18
1.5.2.1	Les formats bruts	18
1.5.2.2	Les formats avec Compression	19
1.6	Système de traitement numérique d'images	22
1.7	Etape de l'analyse d'image Le traitement d'image	22
1.7.1	L'acquisition	23
1.7.1.1	L'échantillonnage et la quantification	23
1.7.2	Transformation ponctuelle	24
1.7.3	Opération entre images	25
1.7.4	La restauration d'images	27
1.7.5	La segmentation	28
1.7.5	Le filtrage	28
1.7.5.1	Définition du filtrage	28
1.7.5.2	Filtrage Global	28
1.7.5.3	Filtrage Local	29
1.7.5.4	Filtrage Local Linéaire	29
1.7.5.5	Filtrage Local Non-Linéaire	31
1.8	Quelques domaines d'application de traitement d'image	32
1.9	conclusion	32

Chapitre 2

Généralités sur le manuscrit

2.1	Introduction	33
2.2	Définition d'un manuscrit	33
2.3	Genèse des manuscrits	34

3.12	Le traitement des images et la numérisation des manuscrits	50
3.13	La numérisation du patrimoine en Algérie	51
3.14	Conclusion	53

Chapitre 4 **dégradation des anciens documents**

4.1	Introduction.....	54
4.2	Définition de la dégradation	54
4.3	Différent type de dégradations des documents	54
4.3.1	Dégradations biologiques	54
4.3.2	Dégradations chimiques.....	55
4.3.3	Dégradations physiques	56
4.3.4	Dégradation mécanique.....	56
4.4	Dégradations dues à la capture	57
4.4.1	Dégradations matérielles	57
4.4.2	Dégradations numériques	58
4.5	Classification non-causale des dégradations	62
4.5.1	Dégradations uniformes.....	62
4.5.2	Dégradations non-uniformes	62
4.6	Conclusion	64

Chapitre 5 **Restaurations de documents anciens**

5.1	Introduction.....	65
5.2	Type de restauration	65
5.2.1	La restauration physique	65
5.2.2	La restauration numérique	66

5.2.3	La restauration virtuelle	66
5.3	Méthodes de restauration supervisées :.....	67
5.3.1	Séparation recto/verso par recalage	67
5.3.2	Séparation recto/verso par analyse de l'orientation	68
5.3.3	Séparation recto/verso par analyse des formes	69
5.3.4	Séparation recto/verso par analyse de la couleur	70
5.3.5	Restauration des formes par modèle	71
5.3.6	Restauration des formes par prototypage	73
5.3.7	Restauration géométrique de la courbure	74
5.4	Méthodes de restauration non-supervisées	76
5.4.1	Restauration du recto/verso par séparation de sources	76
5.4.2	Restauration des formes par morphologie mathématique.....	76
5.2.3	Restauration Colorimétrique	78
5.5	conclusion	79

Chapitre 6

proposition de la méthode

6.1	Introduction.....	80
6.2	Méthodologies étudiées et testées	80
6.2.1	Le prétraitement.....	80
6.2.1.1	Amélioration de la luminosité	80
6.2.1.1	Seuillage	81
6.2.2	Restauration	84
6.2.2.1	Segmentation	84
6.2.2.2	Classification	89
6.3	Méthodologie choisie	92
6.4	Conclusion	93

Chapitre 7	Implémentation
7.1 Introduction	94
7.2 Environnement matériel et logiciel	94
7.3 Base d'image de documents	94
7.4 Organigramme de notre application	95
7.5 Présentation du logiciel	96
7.5.1 Menu principal	96
7.5.2 Prétraitement	97
7.5.3 Restauration	97
7.5.4 Restauration de l'image	98
7.6 Conclusion	99

Conclusion générale

Conclusion générale.....	100
--------------------------	-----

Bibliographie

Bibliographie.....	101
--------------------	-----

Webographie

Bibliographie.....	110
--------------------	-----

Glossaire codicologique

Glossaire codicologique.....	111
------------------------------	-----

Introduction générale

Introduction générale

Bien que la restauration des images naturelles soit largement traitée dans la littérature scientifique, la restauration des images de documents est considérée comme un domaine de recherche émergeant ; de nouveaux problèmes vont s'ajouter aux problèmes classiques présents sur les images naturelles. Par problèmes classiques, nous faisons référence aux dégradations apparues lors de la capture, de l'acquisition, de la transmission, du changement de format ou du stockage de l'image. Dans le cas des documents anciens, d'autres types de dégradations apparaissent. Ces dégradations sont intrinsèquement liées au support physique du document et aux conditions de sa conservation. En effet, ce patrimoine écrit dont la valeur historique est souvent inestimable n'échappe pas, en dépit des précautions prises, à l'usure du temps (vieillesse, modification des couleurs, parasité du papier, acidité de l'encre, humidité et variation de la température de stockage, présence d'insectes, sinistres de toutes sortes, etc.) qui détériore énormément le support. Ces dégradations qui s'ajoutent à celles liées à la procédure de numérisation (variation de l'éclairage, résolution, compression.) vont contribuer à la dégradation de la copie numérique. Toutes ces dégradations peuvent se traduire par des modifications de couleurs, des trous dans le support (associés à des caractères disparus), des taches recouvrant des parties plus au moins importantes du document, la suppression du recto et du verso en transparence, des caractères devenant flous, un effet bloc, une courbure de la page, etc. Compte tenu de ces différents nouveaux problèmes, la restauration des images des documents anciens, que l'on qualifiera de restauration informatique ou virtuelle, ne se limite pas à une simple transcription des outils classiques de traitement et d'analyse, et encore moins à une application immédiate des méthodes de restauration déjà définies pour les images naturelles dégradées. Mais quelle que soit la nature du document (image naturelle ou image de document), l'objet principal de la restauration reste le même : il consiste à atténuer les dégradations présentes sur un document image. En outre, la restauration est un pré-requis nécessaire pour un grand nombre d'usages d'images de document.

Dans ce projet, il est question de faire une recherche sur les méthodes et outils qui permettraient de restaurer les vieux documents manuscrits algériens, et d'en étudier la faisabilité et la possibilité de certaines méthodes d'apporter des solutions au problème des taches, les cachets et les annotations au bord du manuscrit.

Notre objectif serait de réussir à enlever ces marques pour améliorer d'une part la lisibilité du document et d'autre part améliorer si possible les performances des outils informatiques en adaptant une nouvelle approche.

Le mémoire présent suit l'organisation suivante et est divisé en 7 chapitres :

- Chapitre 1 généralité sur l'imagerie et traitement d'image : met en évidence une généralité sur l'imagerie qui parle des notions de base, le prétraitement et le traitement de l'image.
- Chapitre 2 généralités sur le manuscrit : aborde des généralités sur le manuscrit arabe, une définition d'un manuscrit et ses caractéristiques est présenté et l'état des manuscrits en Algérie est soulevé.
- Chapitre 3 la numérisation des anciens documents : donne une idée générale sur la numérisation du patrimoine, ses avantages, ses objectifs et ses limites. Puis aborde l'état de la numérisation en Algérie.
- Chapitre 4 dégradations des images de document : définit la dégradation des images de manuscrits.
- Chapitre 5 restaurations de documents anciens : on définit les différents types de restauration et un état de l'art sur les différentes méthodes utilisées dans la restauration d'image des documents anciens.
- Chapitre 6 proposition de la méthode : présente l'approche adoptée qui est basée sur le prétraitement, la segmentation et la classification.
- Chapitre 7 implémentation : dans ce dernier chapitre sont présentés, à travers l'application développée, les différentes illustrations et les étapes suivies pour restaurer une image manuscrite algérienne.

Chapitre 1

*Généralités sur l'imagerie et
traitement d'image*

1.1 Introduction

L'image constitue l'un des moyens les plus importants qu'utilise l'homme pour communiquer avec autrui. C'est un moyen de communication universel dont la richesse du contenu permet aux êtres humains de tout âge et de toute culture de se comprendre.

C'est aussi le moyen le plus efficace pour communiquer. Chacun peut analyser l'image à sa manière, pour en dégager une impression et en extraire des informations précises.

De ce fait, le traitement d'images est l'ensemble des méthodes et techniques opérant sur celles-ci, dans le but de rendre cette opération possible, plus simple, plus efficace et plus agréable, d'améliorer l'aspect visuel de l'image et d'en extraire des informations jugées pertinentes.

1.2 Définitions de l'image

L'image est obtenue par transformation d'une scène réelle par un capteur. Dans une scène à imager : les objets, soit émettent une onde électromagnétique, ce sont des sources, soit reflètent ou réfractent une onde électromagnétique. La longueur de ces ondes peut se situer dans le visible (de 400 μm à 800 μm) ou en infrarouge, ultra-violet et au-delà. Ces dernières n'étant pas visibles par l'œil humain sont utilisées à diverses fins. L'imagerie infrarouge par exemple est utilisée pour détecter des zones émettant de la chaleur. En astronomie, où la précision est primordiale, toutes les longueurs d'ondes sont utilisées pour produire des images. Les capteurs transforment les ondes électromagnétiques reçues en images selon différents procédés. [lin 08]

1.3 L'image numérique

Pour un ordinateur, une image est un ensemble de pixels. Un pixel est un élément d'images. On peut considérer qu'un pixel n'a pas de dimension car si on regarde une photo, un pixel d'un objet situé près de la caméra correspond à une taille plus petite qu'un pixel d'un objet situé loin de la caméra, même si ces deux pixels font partie de la même image. A contrario, par exemple pour une image de lamelle microscopique,

on va vouloir relier la taille d'un pixel à celle des éléments sur la lamelle. Dans ce cas, tous les pixels correspondent à une même taille dans le monde réel. Alors le pixel peut avoir une dimension. C'est particulièrement vrai dans le cas des images médicales 3D où des mesures de volumes peuvent être effectuées par exemple. La taille d'un pixel est reliée à l'échantillonnage et au champ de vue. [lin 08]

1.4 caractéristique d'une image numérique

1.4.1 Le pixel

Un pixel ou picture element est un élément de l'image numérique. Il possède une valeur qui peut être un scalaire et représenter un niveau de gris, un vecteur représentant une couleur, ou toute autre chose.



Figure 1.1 : représentation des pixels sur une image numérique.

Des notions de base sont souvent reliées aux pixels tels que la notion de pavage ou tessellation et la notion de distance. [lin 08]

1.4.1.1 Pavage ou tessellation

Le pavage ou tessellation est la forme sous laquelle les pixels sont rangés. Elle peut être rectangulaire dans un tableau 2D, hexagonale, triangulaire ou rectangulaire en quinconce (voir figure 1.2).

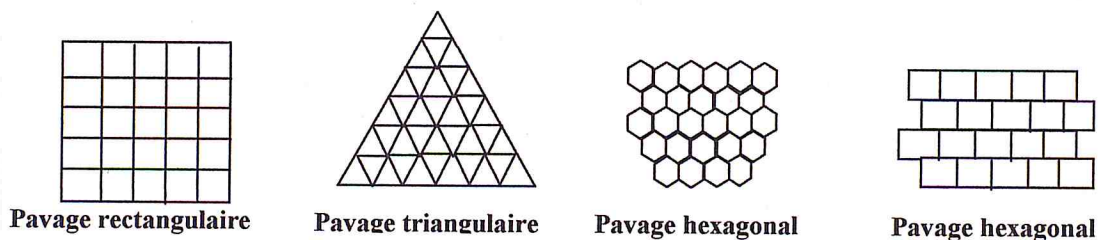


Figure 1.2 Différents pavages.

Certains pavages sont motivés par leur adéquation au système d'acquisition.

Chapitre 1 Généralités sur l'imagerie et traitement d'image

D'autres sont motivés par des relations géométriques telles que le voisinage. Si on considère le voisinage dans le cas du pavage rectangulaire, les voisins ayant une arête en commun avec le pixel courant, ne seront pas forcément considérés de la même façon que les voisins ayant seulement un sommet en commun. On parle alors de connexités 4 ou 8, représentant le nombre de voisins considérés. Par contre dans le cas du pavage hexagonal, on n'a pas ce problème ; tous les voisins sont au même niveau (voir figure.1.3).

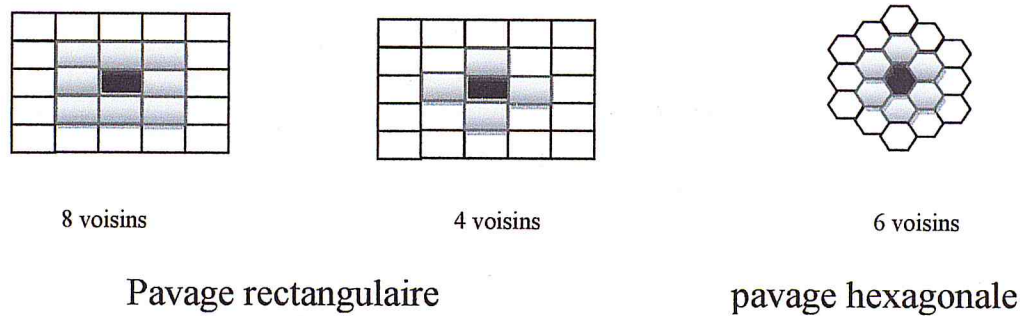


Figure 1.3 : Notion de voisinage en pavage rectangulaire (connexité 8 ou 4 bits) et en pavage hexagonal

Cependant, sauf cas particulier, on se placera par la suite dans le cas du pavage rectangulaire, et ce pour des raisons de commodité : il correspond au stockage des pixels dans un tableau de 2 dimensions.

C'est aussi le mode de restitution d'images utilisé par la majorité des périphériques numériques d'acquisition. [lin 08]

1.4.1.2 Distances

Après la notion de voisinage, vient naturellement la notion de distance entre pixel. Différentes distances peuvent être utilisées (**figure 1.4**) La distance euclidienne entre deux points $P(i, j)$ et $P(k, l)$,

$$\delta(P(i, j), P(k, l)) = \sqrt{(k - i)^2 + (l - j)^2} \dots\dots\dots 1$$

Chapitre 1 Généralités sur l'imagerie et traitement d'image

À l'avantage de ne privilégier aucun axe, ce n'est pas le cas de la distance par blocs (appelée également Manhattan distance en référence à l'île de Manhattan où il faut contourner différents blocks de maisons pour relier deux points),

$$\delta(P(i, j), P(k, l)) = |k-i| + |l-j|, \dots \dots \dots 2$$

Ou de distance "tour d'échiquier",

$$\delta(P(i, j), P(k, l)) = \max(|k-i|, |l-j|) \dots \dots \dots 3$$

On peut noter que ces deux dernières distances présentent des avantages au niveau des coûts de calcul.

$P(i, j)$ est l'intensité (ou brillance) au point de coordonnées (i, j)

$P(k, l)$ est l'intensité (ou brillance) au point de coordonnées (k, l)

(i, j) : est la position d'un point de l'espace sur le plan de projection

(k, l) : est la position d'un point de l'espace sur le plan de projection

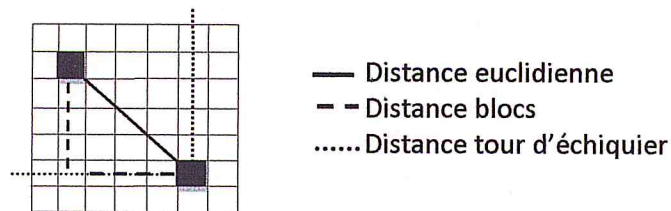


Figure 1.4 : Différentes distances entre deux pixels.

1.4.2 Dimension de l'image

Une image numérique, se présentant sous forme d'une matrice dont les éléments sont des valeurs numériques représentatives des intensités lumineuses (pixels), sa dimension est définie par la taille de cette matrice, c'est-à-dire le nombre de lignes multiplié par le nombre de colonnes. [lin 08]

1.4.3 Le bruit

Le bruit est tout phénomène imprévisible qui vient perturber le signal. Dans une image c'est un phénomène de brusques variations d'intensité d'un pixel par rapport à ses voisins. [lin 08]

1.4.4 La résolution d'image

La résolution d'une image est le nombre de pixels par unité de mesure de l'image. Lorsque la résolution est élevée, elle garantit une bonne qualité de l'image par contre, elle génère un fichier volumineux. Au contrario, lorsqu'elle se retrouve réduite, la qualité diminue et la taille du fichier devient acceptable. La résolution s'exprime en points par pouce (dot per inch).

Une autre notion est souvent utilisée pour exprimer la qualité de l'image. Il s'agit de la définition de l'image : C'est la résolution multipliée par la dimension. Ainsi, nous distinguons la définition horizontale, qui donne le nombre de pixels de la largeur et la définition verticale, qui donne le nombre de pixels de la hauteur de l'image numérisée.

Les images suivantes illustrent l'influence de la résolution sur la qualité de l'image.

[Eri 03]



Figure 1.5 : Les images illustrent l'influence de la résolution sur la qualité de l'image.

1.4.5 Types d'images [Eri 03]

1.4.5.1 Image binaire

Dans une image binaire, un pixel ne peut prendre que deux valeurs (0 ou 1) ce qui correspond généralement aux deux « couleurs » noir et blanc. Dans une telle situation, le codage brut optimal consiste à utiliser un bit par pixel mais certains formats tels que PBM permettant de stocker l'information en mode ASCII ce qui nécessite alors un octet par pixel.

1.4.5.2 Image en niveaux de gris

Une image en niveaux de gris est une image monochrome (une seule couleur) en tons continus, c'est-à-dire offrant plusieurs niveaux d'intensité entre le noir et le blanc. Sachant que l'œil humain perçoit en moyenne 200 niveaux d'intensité, une échelle de gris de 256 valeurs (8 bits par pixel).



Figure 1.6 : Image originale en 256 niveaux de gris.

1.4.5.3 Image en couleurs

Les questions liées à la colorimétrie (acquisition, représentation et restitution des couleurs) sont très complexes et de nombreux travaux sont encore en cours à l'heure actuelle. La notion de couleur est très dépendante du contexte d'utilisation de l'image, du matériel, du support (écran, papier), et bien pire, de l'œil du spectateur. Il existe un nombre considérable de systèmes colorimétriques et aucun ne semble réellement normalisé. Ces notions ne seront donc abordées que très superficiellement et avec beaucoup de réserve. Le lecteur intéressé est invité à consulter des documents plus spécialisés, en particulier ceux publiés par la CIE¹, censés faire référence.

Ainsi, une image couleur peut être considérée simplement comme trois plans monochromes traités indépendamment. Nous traiterons pour notre cas l'espace des couleurs primaires et l'espace lumière/couleur.

a) Espace des couleurs primaires

Il existe deux synthèses de couleurs pour la représentation des images en couleurs primaires, soit : la synthèse additive et la synthèse soustractive.

¹ : (Commission internationale de l'éclairage) a défini un nouveau triplet de couleurs permettant de représenter l'ensemble des couleurs avec des composantes positive.

Chapitre 1 Généralités sur l'imagerie et traitement d'image

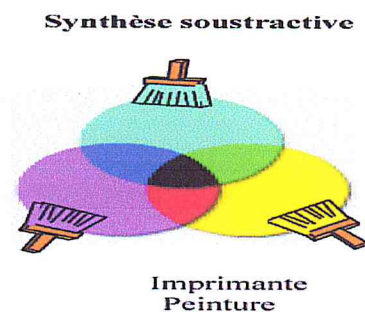
➤ Synthèse additive : le système RGB

Le mode colorimétrique de fondement pour les applications numériques est basé sur le fonctionnement des écrans vidéo (ordinateur, télévision...) qui restituent les teintes par l'addition en lumière (faisceaux d'électrons) de trois couleurs primaires : le rouge (R), le vert (G) et le bleu (B). Avec ce sous-système une teinte Θ est obtenu par une combinaison linéaire $\Theta = \alpha * R + \beta * G + \gamma * B$ avec $\alpha, \beta, \gamma \in [0,1]^3$.

Dans le cas d'une image RGB codé sur 8 bits (cas le plus courant), chaque couleur primaire est codé sur un octet et peut donc prendre n'importe quelle valeur dans l'intervalle $[0, 255]$. Le noir et le blanc correspondent alors respectivement au triplet $(0, 0, 0)$ et $(255, 255, 255)$. Les trois plans R, G, B sont des plans monochromes (en tons continus) dont les intensités peuvent varier du noir à la saturation (255), comme le montre la colonne gauche de la figure c2 correspondant à la décomposition de l'image.

➤ Synthèse soustractive : le système CMY et CMYK

L'espace CMY est le dual de l'espace RGB. Les teintes extrêmes noir et blanc sont cette fois représentées respectivement par les triplets $(1, 1, 1)$ $(0, 0, 0)$ et le blanc qui correspond à l'absence de couleur (c'est la couleur de fond par défaut, celle du papier sur lequel on imprime). Les trois autres couleurs utilisées dans ce système sont le Cyan C, le Magenta M et le Yellow (jaune) Y. Ces trois couleurs sont les primaires du mode synthèse soustractive utilisé par le système CMY mais aussi pour le système CMYK (k pour le black, noir) utilisé dans les applications d'impression.



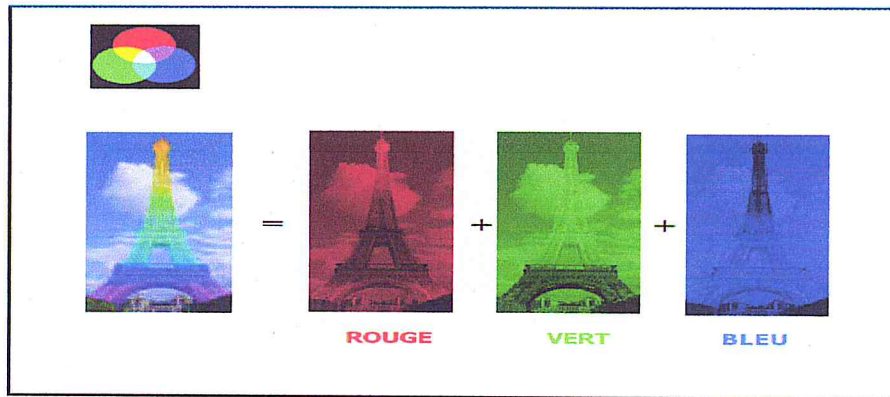


Figure 1.7 : exemple de synthèse additive.

b) Espace lumière /couleur

De nombreux modes de représentation de l'espace des couleurs utilisent une décomposition sur un plan représentant les informations de luminosité et deux plans représentant les informations de couleur. Les significations et les définitions de ces trois plans varient légèrement d'un mode à l'autre, mais leur interprétation reste à peu près stable.

Le plan de luminosité (ou *luminance*) permet de représenter l'*intensité lumineuse* d'un point indépendamment de sa couleur. Il modélise ainsi le fonctionnement des bâtonnets de l'œil humain, sensibles à la lumière mais pas à la couleur. On peut ainsi agir sur la luminosité d'un point sans modifier sa teinte. En fin de compte le plan de luminance correspond à la version *noir et blanc* d'une image en couleur. C'est d'ailleurs pour des raisons de compatibilité entre l'écran couleur et monochrome qu'ont été développés les premiers espaces de ce type.

Inversement, les deux plans de couleur (ou *chrominance*) permettent de représenter la teinte du point indépendamment de sa luminosité.

Si l'on considère une image en niveaux de gris comme une image en couleurs dont les trois plans primaires sont identiques, et qu'on la transforme dans un espace lumière / couleurs, le plan de lumière sera identique à l'image initiale et les deux plans de couleur seront uniformément noirs (ou blancs ou gris médian, selon le mode de transformation choisi).

Chapitre 1 Généralités sur l'imagerie et traitement d'image

➤ Teinte / saturation / valeur : le système HSV

Il existe plusieurs modèles de représentation de type HSV (*Hue, saturation, valeur* pour *teinte, Saturation, valeur*). Les relations permettant de passer directement du mode de base RGB au(X) mode(S) HSV sont assez lourdes et peu explicites, sauf pour V, généralement définie comme la valeur maximale du triplet R, G, B. En réalité, ces espaces sont construits à partir de modèles colorimétriques élaborés par la CIE pour définir la couleur indépendamment de tout support ou matériel et pour prendre en compte les propriétés du système visuel humain.

Néanmoins l'espace HSV est couramment utilisé dans les outils, logiciels et interfaces graphiques car il permet de définir ou contrôler une couleur de manière beaucoup plus simple que l'espace RGB. En effet, en RGB, pour réaliser des opérations apparemment simples comme *éclaircir* une teinte, ou la rendre plus *intense* ou *plus rouge* par exemple, il faut agir conjointement sur les trois composantes.

L'espace HSV permet d'accéder directement à des caractéristiques plus intuitives telles que, justement, la teinte, la saturation ou l'intensité.

Une couleur étant définie par trois informations, on peut la représenter comme un point dans un espace tridimensionnel. Les modes RGB ou CMY correspondent alors à des coordonnées cartésiennes de ce point. Le mode HSV correspondrait quant à lui à la représentation de la couleur en coordonnées cylindriques comme le montre la figure 1.8. L'axe vertical représente la *valeur* V (l'axe de gris c'est-à-dire la luminosité, mesurée sur l'intervalle réel $[0,1]$). La projection du point sur le disque horizontal de rayon 1 représente l'information de couleur, caractérisée par un angle H par rapport à une teinte de référence (H est mesuré sur l'intervalle $[0,2\pi]$ les valeurs $(0), (2\pi/3)$ et $(4\pi/3)$ correspondant respectivement aux couleurs primaire rouge, vert, bleu) et une distance par rapport au centre de disque, S, représentant la saturation, c'est-à-dire la distance au blanc de référence au point de coordonnées $(0,0,0)$.

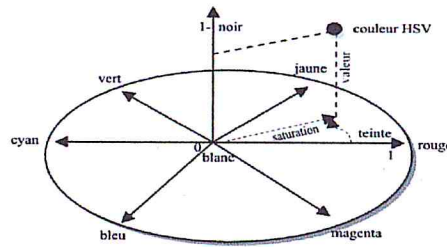


Figure 1.8 : l'espace HSV comme représentation en coordonnées cylindriques.

Les images de la figure 1.10 montrent les trois plans HSV de la décomposition de l'image Fig1.9 étalonnés sur l'intervalle entier [0,255] pour une image en vraies couleurs, ainsi que la « mire » représentant séparément le disque (H, S) d'une part et la colonne des valeurs V d'autre part. Cette « mire » est très souvent utilisée par les logiciels graphiques pour ajuster un couleur en mode HSV.



Figure 1.9 : l'image «iggy » original en vraies couleurs sur 24 bits.

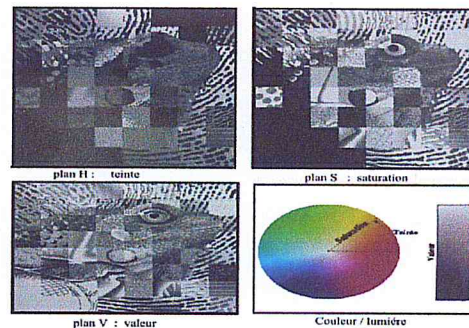


Figure 1.10 : espace teinte /saturation/valeur : les trois plans et la mire HSV.

➤ **Luminance / chrominance : les systèmes YUV, YIQ et YCbCr**

Parmi les espaces réalisant une transformation *lumière/ couleur*, et utilisés en compression, on trouve les espaces YUV, YIQ et YCbCr. A ce niveau les choses ne sont pas très claires. Il semble en effet très difficile de trouver dans la littérature deux formules égales pour la même transformation. Seule la définition du plan de luminance Y reste constante et est donnée par la combinaison linéaire suivante, avec les coefficients

$lum_R = 0.299, lum_G = 0.587$ et $lum_B = 0.114$:

$$Y = lum_R * R + lum_G * G + lum_B * B \dots \dots \dots 4$$

Chapitre 1 Généralités sur l'imagerie et traitement d'image

L'espace YUV a été initialement développé par la CIE pour les applications vidéo analogiques en mode PAL. La conversion directe (calibrée pour des valeurs RGB dans l'intervalle réel [0,1]) est donnée par :

$$\text{RGB} \longrightarrow \text{YUV} : \begin{cases} Y = lum_R * R + lum_G * G + lum_B * B \\ U = 0.492 * (B - Y) \\ V = 0.877 * (R - Y) \end{cases} \dots\dots\dots 5$$

L'espace YIQ est le système colorimétrique utilisé par le NTSC (National Television System Committee) pour les applications télévisuelles américaines. La version présente ci-dessous est une adaptation, réalisée par l'auteur, assurant une bonne conservation des teintes pour des images en vraies couleurs sur 24 bits (les valeurs R,G,B et Y,I,Q sont des entiers 8 bits).

$$\text{RGB} \longrightarrow \text{YIQ} : \begin{cases} Y = lum_R * R + lum_G * G + lum_B * B \\ I = (0.596R - 0.275G - 0.321B + 151.980) * 0.838926 \dots\dots 6 \\ Q = (0.212R - 0.523G + 0.311B + 133.365) * 0.956783 \end{cases}$$

$$\text{YIQ} \longrightarrow \text{RGB} : \begin{cases} R = (Y + 0.956I + 0.621G - 200.279) * 0.999741 \\ G = (Y - 0.272I + 0.647G + 118.616) * 0.987985 \dots\dots\dots 7 \\ B = (Y - 1.105I + 1.702G + 72.650) * 0.973524 \end{cases}$$

Quant à l'espace $Y C_b C_r$ défini par la recommandation CCIR-601.1 et utilisé par les normes JPEG et MPEG, c'est une version adaptée de l'espace YUV. Les relations de conversion ci-dessous sont celles tirées des spécifications du format TIFF-6.0 pour la norme JPEG.

$$\text{RGB} \longrightarrow \text{YC}_b\text{C}_r : \begin{cases} Y = \text{lum}_R * R + \text{lum}_G * G + \text{lum}_B * B \\ C_b = (B - Y) / (2 - 2 * \text{lum}_B) + 128 & \dots\dots\dots 8 \\ C_r = (R - Y) / (2 - 2 * \text{lum}_R) + 128 & \dots\dots\dots 8 \end{cases}$$

$$\text{YC}_b\text{C}_r \longrightarrow \text{RGB} : \begin{cases} R = Y + (C_r - 128) * (2 - 2 * \text{lum}_R) \\ G = (Y - \text{lum}_B * B - \text{lum}_R * R) / \text{lum}_G & \dots\dots\dots 9 \\ B = Y + (C_b - 128) * (2 - 2 * \text{lum}_B) \end{cases}$$

1.4.5.4 Image couleur indexée

Certains formats tels que GIF, PNG ou TIFF permettent de coder une image non pas à partir de ses plans de *couleurs* mais sous la forme d'un seul plan *d'index*. On associe à l'image un *dictionnaire* (on parle de *palette*) contenant un certain nombre de teintes de référence. Une entrée de la palette est généralement formée d'un triplet d'entiers représentant les trois couleurs de base, ou une luminance et deux chrominances. Un pixel de l'image n'est alors plus représenté par un triplet de couleur mais par l'index de la teinte de référence la plus proche de sa teinte réelle. Dans les formats classiques, la taille du dictionnaire est limitée à 256 entrées, ce qui permet de coder chaque pixel sur 8 bits au lieu de 24.

1.4.6 Contour et texture

Les contours représentent la frontière entre les objets de l'image, ou la limite entre deux pixels dont les niveaux de gris représentent une différence significative. Les textures décrivent la structure de ceux-ci. L'extraction de contour consiste à identifier dans l'image les points qui séparent deux textures différentes. [SAM 05]

1.4.7 Contraste

C'est l'opposition marquée entre deux régions d'une image, plus précisément entre les régions sombres et les régions claires de cette image. Le contraste est défini en fonction des luminances de deux zones d'images. [SAM 05]

Si L_1 et L_2 sont les degrés de luminosité respectivement de deux zones voisines A_1 et A_2 d'une image, le contraste C est défini par le rapport :

$$C = \frac{L_1 - L_2}{L_1 + L_2} \dots\dots\dots 10$$

1.4.8 Luminance [Syb 95]

C'est le degré de luminosité des points de l'image. Elle est définie aussi comme étant le quotient de l'intensité lumineuse d'une surface par l'aire apparente de cette surface. Pour un observateur lointain, le mot luminance est substitué au mot brillance, qui correspond à l'éclat d'un objet. Une bonne luminance se caractérise par :

- 1- Des images lumineuses (brillantes).
- 2- Un bon contraste : il faut éviter les images où la gamme de contraste tend vers le blanc ou le noir; ces images entraînent des pertes de détails dans les zones sombres ou lumineuses.
- 3- L'absence de parasites.

1.4.9 Histogramme d'une image

L'histogramme des niveaux de gris ou des couleurs d'une image est une fonction qui donne la fréquence d'apparition de chaque niveau de gris (couleur) dans l'image. Pour diminuer l'erreur de quantification², pour comparer deux images obtenues sous des éclairages différents, ou encore pour mesurer certaines propriétés sur une image, on modifie souvent l'histogramme correspondant. Il permet de donner un grand

² Voir le chapitre traitement d'image

Chapitre 1 Généralités sur l'imagerie et traitement d'image

nombre d'information sur la distribution des niveaux de gris (couleur) et de voir entre quelles bornes est répartie la majorité des niveaux de gris (couleur) dans les cas d'une image trop claire ou d'une image trop foncée. [Syb 95] [Gon 97]

Il peut être utilisé pour améliorer la qualité d'une image (Rehaussement d'image) en introduisant quelques modifications, pour pouvoir extraire les informations utiles de celle-ci.

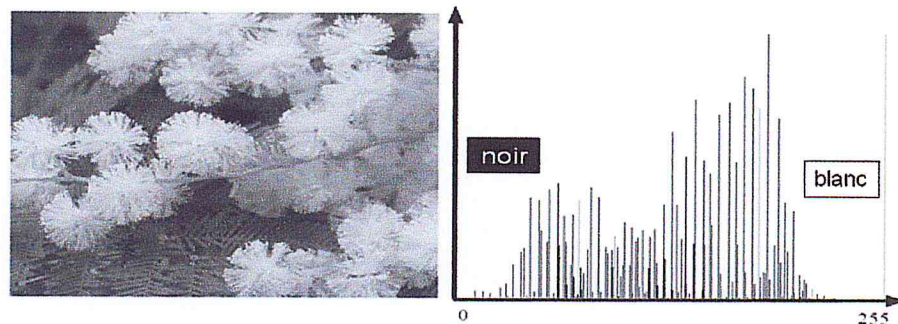


Figure 1.11 Image en niveaux de gris et son Histogramme.

1.5 Stockage des images [Eri 03]

On s'intéresse maintenant au stockage des images sur disque mémoire, c'est-à-dire sous forme de fichier. Les informations qui vont être stockées sont la largeur et la hauteur ainsi que les valeurs des pixels. On peut vouloir stocker d'autres informations telles que le type de données, l'auteur, la date, les conditions d'acquisition, etc. On va ainsi stocker les informations concernant l'image dans un en-tête puis les données. Certains formats d'image stockent dans deux fichiers différents l'en-tête et les données. Les données sont souvent stockées dans l'ordre des pixels de gauche à droite et de haut en bas, relatif au repère image.

Parmi les systèmes quand nous allons étudier les formats PMB, PGM et PPM. Ces formats, un peu anciens, sont disponibles en lecture et écriture dans de nombreux logiciel d'images, généralement sous leurs formes binaires. Ils sont cependant biens moins performants en termes de compression et donc bien moins souvent utilisés que les formes JPEG, GIF ou PNG .

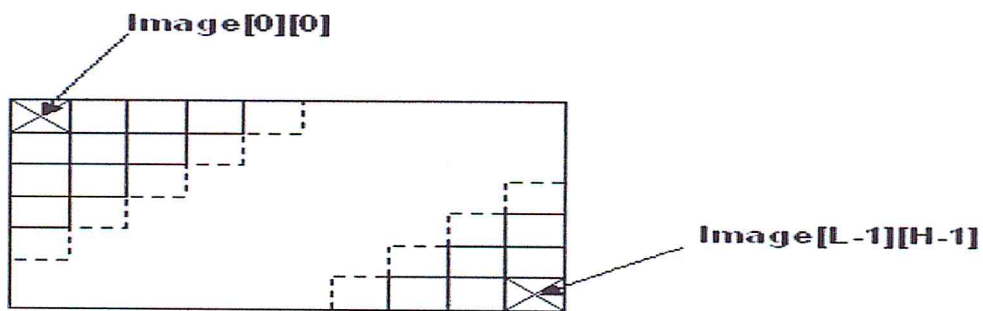


Figure 1.12 : Structure de stockage d'une image.

1.5.1 La qualité de stockage

Le volume des informations qu'il est nécessaire de stocker pour représenter l'image peut être très important, surtout dans le cas de l'utilisation d'images en haute résolution. Des techniques de compression doivent souvent être mises en place pour diminuer ce volume tout en conservant une certaine qualité de représentation. Il existe des techniques de compression non destructives (basées sur des compressions de données sans perte d'informations et qui conservent l'intégralité du signal) et des techniques destructives qui augmentent le taux de compression au prix d'une dégradation (généralement paramétrable) de la qualité de l'image. Un exemple de technique de compression destructive couramment utilisée, est la compression JPEG. Les images suivantes illustrent l'influence de la qualité de compression (en général paramétrable) sur la qualité de l'image par rapport à l'image d'origine. Pour information, la taille de l'image originale est de 256x256 pixels ce qui représente, avec un codage prenant 3 octets par pixel, une taille de 196 Ko.



Fig 1.13 : les différentes qualités d'image jpeg

1.5.2 Format de stockage

1.5.2.1 Les formats bruts

➤ le format PNM (Portable aNy Map)

Il ne s'agit pas à proprement parler d'un format de fichier mais plutôt d'une classe regroupant les trois formats suivants. Leur En-tête se réduit à un code à deux caractères, deux entiers pour les tailles et un entier pour la profondeur. Les données image sont ensuite codé soit en ASCII en binaire (beaucoup plus économique).

➤ Le format PBM

Ce format permet de stocker des images en noir et blanc, c'est-à-dire dont les pixels ne peuvent prendre que deux valeurs : 0 (noir) ou 1 (blanc).

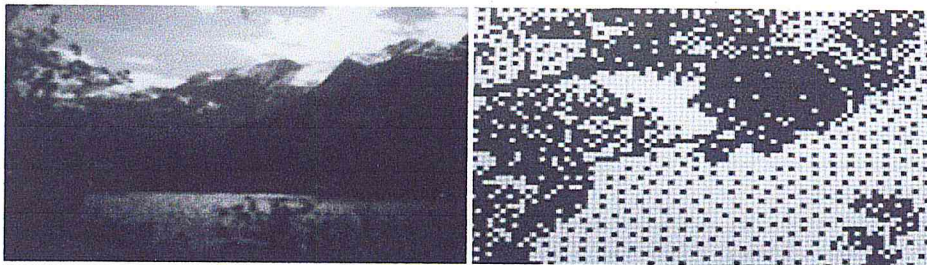


Figure 1.14 : une image au format PBM et le grossissement du coin supérieur gauche.

➤ Le format PGM

Le format PGM (portable gray MAP) permet de représenter des images en niveau de gris dont les pixels ont des valeurs entières comprises entre 0 (noir) et 255 (blanc).

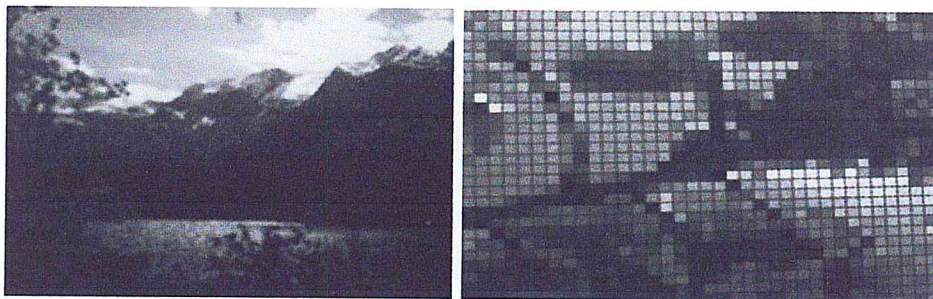


Figure 1.15 : une image au format PGM et le grossissement du coin supérieur gauche.

Chapitre 1 Généralités sur l'imagerie et traitement d'image

➤ Le format PPM

Le format PPM (portable pixel Map) concerne les images couleurs. Chaque pixel a pour valeur un triplet (R.G.B) composé d'une composante rouge, verte et bleue. Chaque composante est représentée par un entier pouvant prendre ses valeurs entre 0 et 255. Le triplet (0.0.0) correspond au noir, au rouge, (255, 0, 0) au jaune, ..., et (255, 255, 255) au blanc.

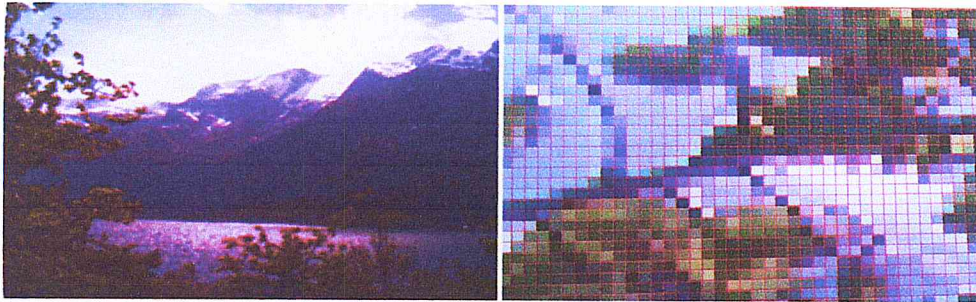


Figure 1.16 : Une image au format PPM et le grossissement du coin supérieur gauche.

➤ Le format BMP (BitMap) :

C'est le format de base sous environnement Windows. Sa structure est un peu plus complexe et accepte une compression RLE³ et l'utilisation d'une palette de couleur. De nombreux autres formats, surtout utilisés en mode compressif, proposent également un codage brut. C'est le cas en particulier des formats PNG et TIFF décrits dans la section suivante. Néanmoins, même en codage brut, ces formats requièrent un en-tête plus élaboré qui les rend un peu plus volumineux et surtout moins pratique d'utilisation que les formats PNM.

1.5.2.2 Les formats avec Compression

a) compression sans perte

Les choses se compliquent dès que l'on considère les formats compressés. En effet, certains formats annoncés comme « sans perte », ne le sont pas forcément lorsqu'il s'agit d'image couleurs complexes telles que les images photographiques. En fait, si

³La méthode de RLE (Run Length Encoding (On trouve parfois l'appellation RLC pour Run Length Coding)) consiste à réaliser une simple extension d'ordre 2 après avoir changé de support d'information, (voir chapitre 3 compression d'image Eric Incerti).

Chapitre 1 Généralités sur l'imagerie et traitement d'image

l'algorithme de compression utilisé est réellement sans perte, ces formats travaillent souvent en couleur indexées et proposent (et parfois imposent) des filtrages préalables (réducteur de bruit). Autrement dit, les données brutes sur lesquelles agit le processus de compression sans perte ne sont pas les données originales. Ceci doit donc être soigneusement pris en compte lors du choix d'un format de compression (en particulier avec le format GIF). Les formats de compression sans perte les plus courants sont :

- **TGA** (format True Vision) : souvent désigné sous l'appellation TARGA (du nom du logiciel pour lequel il fut développé à l'origine), ce format, proposé par la société True Vision, est un des plus anciens et même si la plupart des logiciels actuels prévoient encore son utilisation, il a tendance à disparaître. Le seul mode de compression qu'il propose est basé sur un codage RLE, comme le format BMP de Windows.
- **GIF** (Graphic Interchange Format) : basé sur l'algorithme LZW⁴ ce format travaille uniquement en couleurs indexées avec une palette de 256 teintes au maximum (couleur en niveaux de gris). Il permet une transparence binaire et propose un mode de transmission progressive dit « GIF entrelacé ». En revanche il ne permet pas le codage brut.
- **PNG** (Portable Network Graphics) : ce format est libre de droit (pour l'instant). Il a été conçu à la base pour devenir une référence dans les applications web.
- **TIFF** (Tagged Image File Format) : développé par la société adobe System Inc., TIFF est sans doute le format le plus complet même si peu de logiciels proposent toutes ses options. Il permet de coder tous les types d'images (binaire de type fax, en niveaux de gris couleurs vraies ou indexées, avec pratiquement n'importe quelle profondeur), il autorise la transparence, il propose plusieurs format de compression avec ou sans perte et plusieurs modes de transmission progressive.
- **JPEG** (Joint Photographic Expert Group) : bien que connu surtout pour son mode de compression avec pertes, le format JPEG propose aussi une compression sans perte basé sur plusieurs schémas de codage prédictif. Il en va

⁴ L'algorithme LZW est plus connu, car en général plus efficace, mais son dote moins utilisé car protégé par brevet (Unisys-Comuserve pour Unix), (voir chapitre 5 Compression d'image Eric Incerti).

Chapitre 1 Généralités sur l'imagerie et traitement d'image

de même pour son successeur, le format JPEG-2000 et sa version sans perte, le format JPEG -LS.

- **JBIG (Joint Bileved Image Group)** : plutôt qu'un vrai format de fichier, JBIG est une norme définie par les comités ISO (International Standard Organisations) et CCITT (comité Consultatif International sur le Télégraphe et le Téléphone) pour le codage progressif d'images binaires, utilisée essentiellement pour les codages de type fax.

b) compression avec perte

Les formats de compression avec perte les plus courants sont : JPEG, TIFF, JPEG-2000, FlashPix.

Plus l'on compresse, plus la place occupée diminue, mais également les nuances, il y a donc perte en lisibilité. De surcroît, la perte d'informations s'accroît lors de la restitution des documents numérisés en vue de la visualisation, et lors de compressions et décompressions successives (en cas de changement de format ou de codification).

- Les résultats obtenus avec le mode **JPEG** sont variables. C'est pourtant le mode de compression des images fixes le plus utilisé. La perte d'informations est paramétrable selon les accès prévus; elle n'est pas visible à l'œil nu (à l'impression) mais il sera impossible de restituer ce qui aura été perdu. Il est possible de choisir une perte minimale d'informations, avec une restitution, si le document s'y prête, à 80% et un taux de compression de 10.
- **TIFF (Tagged Image File Format)** : ce format propose, dans sa version 6.0, un mode de compression avec pertes basé sur la norme JPEG/JFIF.
- La technique **DjVu** code chaque élément séparément, un document constitué de texte et d'images est traité en deux parties. La comparaison avec les autres méthodes connues fait apparaître une perte d'informations inférieure et une qualité finale 5 à 10 fois supérieure.

1.6 Système de traitement numérique d'images [tra 07]

Le traitement numérique d'images est un domaine vaste, qui admet de plus en plus d'applications. Il désigne une discipline de l'informatique et des mathématiques appliquées qui étudie les images numériques et leurs transformations dans le but d'améliorer leur qualité ou d'en extraire de l'information. Par exemple identifier une séquence de texte [OCR – Optical Character Recognition] ou un chromosome, éviter un obstacle (robotique), détecter des zones soumises à l'érosion (télé-détection),... etc., en bref, traiter une image : c'est lui ajouter du sens par un procédé automatique.

Pour cela il peut être nécessaire de supprimer les facteurs de bruit et/ou de rehausser les signaux utiles contribuant à une meilleure lisibilité. Nous examinerons donc dans cette partie, différentes transformations sur l'image tel que les transformations globales, les opérations entre images permettent de traiter des séries d'image relatives à la même scène.

1.7 Etape de l'analyse d'image

La plupart des applications de traitement d'image passent par les étapes suivantes :

- **l'acquisition** : Echantillonnage, quantification
- **analyse globale de l'image et transformation ponctuelle** : Histogramme; statistique : moyenne, écart-type, etc....transcodage (palette de couleur [LUT]) et classification.
- **Opérations entre deux images** : indices, ratio; différence; opérations logiques, masque; seuillage.
- **Amélioration, filtrage et segmentation** : anamorphose (recadrage dynamique) ; opération de convolution : lissage, rehaussement, détection de contours ; squelettisation ; vectorisation.
- **interprétation et sémantique** : cartographie thématique : classification automatique et supervisée ; cartographie vecteur ; représentation des graphes et de la topologie.

1.7.1 l'acquisition [Coc 95]

C'est la transformation de l'image prise ou trouvée dans des documents « image d'origine » en une donnée binaire utilisée ou manipulée par la machine, c'est la conversion de l'image analogique en numérique. Celle-ci doit passer par une procédure de numérisation.

1.7.1.1 L'échantillonnage et la quantification

a) Échantillonnage

L'évolution du signal suivant la dimension « t » (ici le temps) est représentée par un nombre fini de ses valeurs. Les valeurs du signal sont prises régulièrement à une période d'échantillonnage T_e .

On peut aussi faire un échantillonnage d'une image sans la notion du temps, et cela par la résolution de l'image.

b) Quantification

L'amplitude du signal échantillonné est représentée par un nombre fini de valeurs d'amplitude (niveaux de quantification).

La quantification détermine la qualité de l'échantillonnage du signal. Celui-ci se mesure en nombre de bits par pixel de l'image (bpp). La précision du rendu colorimétrique de l'image dépend du nombre de niveaux du signal pouvant être codés pour chaque pixel. Les valeurs les plus courantes sont 8 bits/pixel pour les images en niveaux de gris (256 niveaux de gris) et 24 bits/pixels, c'est à dire 8 bits par composante primaire, pour les images en couleur (plus de 16 millions de couleurs distinctes).

La figure 1.17 illustrent l'influence de la quantification (nombre de bits pour le codage de chaque composante primaire) sur la qualité de l'image. Par rapport à l'image originale codée sur 8 bits par composante, la dégradation est progressive jusqu'à atteindre une image qui est "monochrome" dans chacune des couleurs primaires (image retravaillée en contraste).



Figure 1.17 : influence de la quantification selon bits/composante.

1.7.2 Transformation ponctuelle

Une transformation ponctuelle peut facilement être réalisée à partir de données numériques. Elle correspond à la transformation d'une valeur (scalaire) en une autre (scalaire ou vectorielle pour une image couleur). Elle est entièrement déterminée par la fonction donnant les valeurs de sortie correspondant à chacune des valeurs d'entrée. L'usage d'une transformation ponctuelle permet, entre autres, de modifier l'apparence de l'image à l'affichage (exemple : affichage de fausses couleurs à partir d'une image en niveaux de gris), ou encore de modifier le niveau entrant de gris ou de couleur afin de compenser certaines non-linéarités dues au système d'affichage (moniteur). Une autre utilisation possible est la modification du contraste de l'image afin de le rehausser.

En traitement d'image, on peut considérer 3 types de transformations

a) de point à point

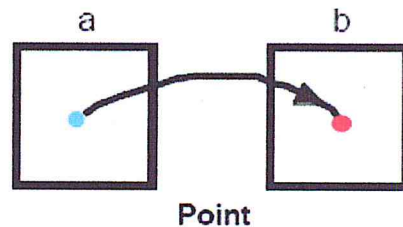
telle que la valeur $P(m_0, n_0)$ d'un pixel de l'image résultat « b » dépende uniquement de la valeur $P(m_0', n_0')$ d'un pixel de l'image d'entrée « a ».

Typiquement, les coordonnées (m_0', n_0') sont égales aux coordonnées (m_0, n_0) ;

- m : indice des lignes

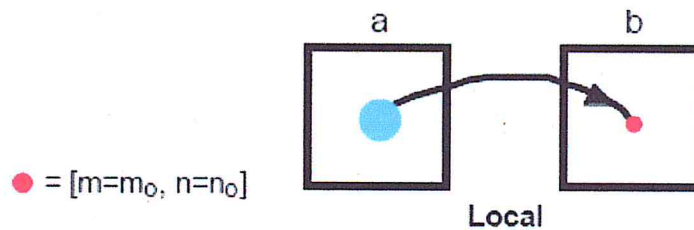
● = $[m=m_0, n=n_0]$

- n : indice des colonnes



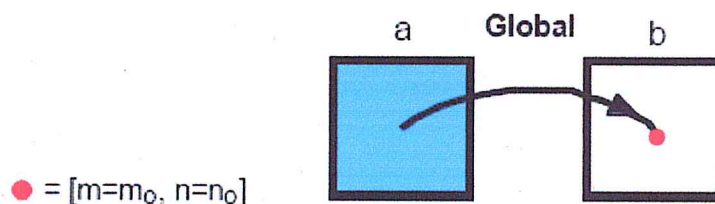
b) d'une zone locale vers un point

Cette fois la valeur d'un pixel de l'image b ou d'un élément de b dépend d'un ensemble de pixels de a pris au sein d'une fenêtre $R(m, n)$. Cette fenêtre est typiquement formée d'un nombre limité de pixels localisés autour du pixel (m_0', n_0') de l'image d'entrée a. Par exemple, $R(m, n)$ peut-être un bloc rectangulaire de taille $(K \times L)$ pixels, ou plus généralement un voisinage de pixels autour de (m_0', n_0') et qui conserve sa forme et sa taille quelles que soient les coordonnées (m_0', n_0') .



c) transformation globale vers un point

La valeur calculée d'un élément (m_0, n_0) de la sortie dépend de la totalité des pixels de l'image d'entrée a. C'est typiquement le cas lorsque l'on transforme globalement l'image du domaine spatial vers le domaine fréquentiel. La transformation de Fourier discrète (TFD) ou la transformation en cosinus discrète (TCD) sont des exemples bien connus (et qui seront développés dans le livret) où chaque composante fréquentielle $X(nX, nY)$ est fonction de l'ensemble des pixels de l'image à transformer.



1.7.3 Opération entre images [Guy 05]

Si on dispose de plusieurs images de la même scène, on peut appliquer une fonction sur deux images ou plus, afin d'en extraire des informations significatives :

$$N_s = f(N_{e1}, N_{e2}, N_{e3}, \dots) \dots\dots\dots 11$$

Le domaine de variation de la fonction est en général différent du domaine de variation de la variable. Le niveau de gris en sortie (N_s) peut donc être inférieur à 0

Chapitre 1 Généralités sur l'imagerie et traitement d'image

ou supérieur à 255. On peut alors soit ramener toutes les valeurs à cet intervalle en tronquant celles qui en sortent, ce qui fait perdre de l'information, soit normaliser la fonction par une transformation linéaire.

a) Différence de deux images

La différence entre l'image d'un objet et l'image du fond permet d'isoler directement cet objet. Cette technique s'applique aussi à deux images correspondant à deux positions du même objet.

Par exemple La différence de deux images d'une balle de ping-pong est de calculer son déplacement.

b) Division d'image

Cette opération est utilisée en télédétection pour calculer le ratio entre deux canaux, qui est plus facile à interpréter que les canaux d'origine. par exemple le ratio entre le canal infrarouge et le canal vert du satellite SPOT est un indicateur de transparence de l'eau.

d) Opération logique

Ces opérations s'appliquent souvent à des images binaires mais elles sont quelquefois étendues à des images quelconques. Un masque étant défini comme une image ne contenant que des pixels à 0 ou 255, son application s'effectue par un ET logique entre le masque et l'image correspondante. La création d'un masque peut être effectuée par le seuillage⁵ d'une image. Cette technique est utilisée en télédétection pour isoler les étendues couvertes d'eau car leurs valeurs radiométriques sont très faibles dans les canaux infrarouges. Un masque peut aussi traiter séparément deux zones distinctes de l'image puis de les regrouper par une addition après traitement.

⁵ : Méthode de segmentation d'une image par son histogramme, l'opération dite de 'seuillage simple' consiste à mettre à zéro tous les pixels ayant un niveau de gris inférieur à une certaine valeur et à valeur maximale les pixels ayant une valeur supérieur.

1.7.4 La restauration d'images [Bur 01] [LFS 78]

La restauration d'images consiste à améliorer une image qui a été dégradée lors de la prise de vue. Les dégradations les plus courantes sont un flou de bougé ou de défocalisation (le système de prise de vue a bougé pendant l'ouverture de l'obturateur, ou bien la distance au sujet a été mal réglée). On peut démontrer que cela a pour effet d'atténuer certaines fréquences de l'image. Pour améliorer l'image, le traitement va donc consister à rétablir les fréquences qui avaient été atténuées. Mais qu'est-ce que la notion de fréquences de l'image? Cela est lié aux variations du niveau d'intensité dans l'image. Par exemple, lorsque l'on a un objet sombre sur un fond clair, au niveau de la limite entre l'objet et le fond, on a une variation brutale de l'intensité: c'est de la haute fréquence. Par contre, si à l'intérieur de l'objet le niveau d'intensité change peu, on a de la basse fréquence. Le bougé et la défocalisation ont pour effet d'atténuer les hautes fréquences de l'image. Si les hautes fréquences sont atténuées, toutes les variations brutales d'intensités sont atténuées: les contours des objets deviennent donc flous. La méthode de restauration va remonter le niveau des hautes fréquences, afin de rétablir les variations brutales d'intensité, et donc des contours nets.



Image fortement dégradée



Restauration obtenue par traitement d'image

Figure 1.18 : Un exemple de restauration.

1.7.5 La segmentation

La segmentation est en effet un des problèmes fondamentaux de l'analyse d'images et reste une étape presque incontournable en vision par ordinateur. Elle s'inspire du système de perception visuel humain pour générer une interprétation d'une image [Coc-95]. La segmentation cherche à extraire, de façon aussi exacte que possible, des régions homogènes et disjointes les unes des autres dont chacune caractérise un des objets présents dans cette image. Dans le cas d'une sur-segmentation, un objet peut être fragmenté en plusieurs régions. Inversement, une sous-segmentation réunit plusieurs objets dans une même région de l'image. Dans le cas idéal, tous les objets sont représentés par une seule et unique région de l'image séparée des autres objets. Et pour faire face à ces dégradations on fait appel au filtrage.

1.7.6 Le filtrage [Xav 07]

1.7.6.1 Définition du filtrage

Le principe du filtrage est de modifier la valeur des pixels d'une image, généralement dans le but d'améliorer son aspect. En pratique, il s'agit de créer une nouvelle image en se servant des valeurs des pixels de l'image d'origine. N'entrent pas dans la catégorie du filtrage toutes les transformations de l'image d'origine : zoom, découpage, projections.

1.7.6.2 Filtrage Global

Dans le filtrage global, chaque pixel de la nouvelle image est calculé en prenant en compte la totalité des pixels de l'image de départ. Dans cette catégorie on trouve, par exemple, les opérations sur les histogrammes ou les opérations qui nécessitent de passer dans l'espace de Fourier⁶.

⁶ : Lorsque le système récupère le signal il remplit un espace mathématique qui est appelé **espace de fourrier**

1.7.6.3 Filtrage Local

Dans le filtrage local, chaque pixel de la nouvelle image est calculé en prenant en compte seulement un voisinage du pixel correspondant dans l'image d'origine. Il est d'usage de choisir un voisinage carré et symétrique autour du pixel considéré. Ces voisinages sont donc assimilables à des tableaux à deux dimensions (matrices) de taille impaire.

1.7.6.4 Filtrage Local Linéaire [Gon 08]

Un filtre linéaire transforme un ensemble de données d'entrée en un ensemble de données de sortie selon une opération mathématique nommée convolution. Quand il s'agit de données numérisées comme dans le cas du traitement d'image, la relation entre les valeurs des pixels de sortie et celle des pixels d'entrée est décrite par un tableau de nombres, le plus souvent carré, nommé matrice de convolution. Le temps de calcul est fréquemment diminué quand on veut séparer un filtre en deux filtres dont la convolution mutuelle sert à reconstituer. Cette remarque est utilisée surtout pour créer un filtre à deux dimensions à partir de deux filtres à une seule dimension (vecteurs) dans le sens horizontal et le sens vertical.

a) Le lissage d'images

C'est une opération importante en traitement d'images, utilisée pour atténuer un bruit qui corrompt l'information, le plus souvent avant un autre traitement. Cette opération consiste le plus fréquemment à appliquer à l'image un filtre linéaire passe-bas⁷ numérique.

Ceux-ci sont des filtres passe-bas qui coupent plus ou moins les plus hautes fréquences. Ils sont utilisés pour atténuer les bruits d'origines les plus diverses qui polluent l'information, surtout dans la détection de contours reconnue ci-après.

⁷ : Ce filtre n'affecte pas les composantes de basse fréquence dans les données d'une image, mais doit atténuer les composantes de haute fréquence.

Chapitre 1 Généralités sur l'imagerie et traitement d'image

Techniquement, il s'agit de traductions discrètes de filtres continus qui, comme ceux-ci, ne modifient pas le niveau global du signal. Les termes de la matrice de convolution sont par conséquent le plus souvent des entiers à diviser par leur somme.

- b) **Filtre uniforme** : Il est obtenu par convolution de deux filtres unidimensionnels rectangulaires. L'ensemble des composantes de la matrice ont la même valeur. L'imperfection de ce filtre réside dans le fait qu'il introduit des déphasages.
- c) **Filtre pyramidal** : La convolution d'un filtre rectangulaire avec lui-même conduit à un filtre triangulaire grâce auquel les phases ne sont plus modifiées. Le filtre pyramidal est obtenu à partir de filtres triangulaires dans les deux directions.
- d) **Filtre gaussien** : Ce filtre particulièrement populaire utilise la loi de probabilité de Gauss. Des approximations de plus en plus précises peuvent être obtenues, selon le Théorème de la limite centrale par itération de l'un des filtres qui ont précédé.

Le filtre gaussien est utilisé comme constituant du masque flou qui perfectionne la netteté apparente des photographies numériques. Quoiqu'il soit popularisé par la photographie plus ou moins artistique, il est aussi utilisé dans certaines techniques, comme l'astronomie.

- e) **Détection de contours** : L'objectif de la détection de contours est de repérer les points d'une image numérique qui correspondent à un changement brutal de l'intensité lumineuse.

Ces filtres transforment l'image d'entrée en une image noire sauf aux points où un contour est détecté qui est marqué en blanc. Les valeurs absolues importent peu, il est sans intérêt de changer d'échelle comme pour un lissage.

La détection est basée sur la dérivation selon les deux coordonnées. Si on considère classiquement les signaux comme des sommes de sinusoides, la dérivation apparaît comme un filtre passe-haut qui introduit par conséquent du bruit à l'origine de faux contours. Pour l'amateur il est recommandé, avant d'utiliser un filtre simple, d'atténuer ce bruit par passage dans un filtre flou. Des méthodes plus élaborées ont été systématisées pour les professionnels.

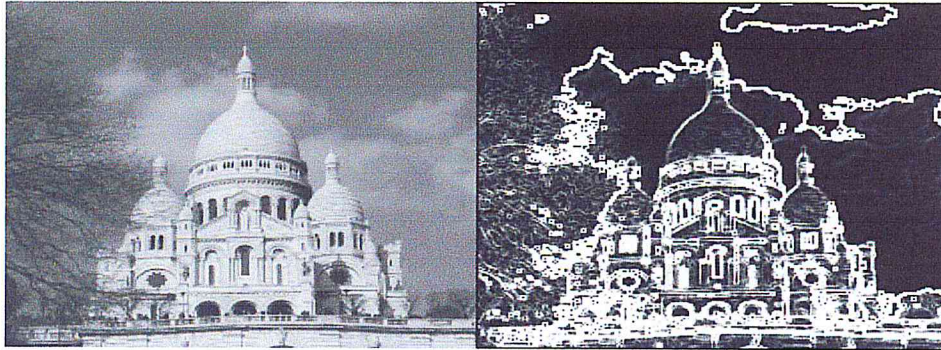


Figure 1.19 : Exemple de détection de contours.

1.7.6.5 Filtrage Local Non-Linéaire

Si le filtre ne peut pas être exprimé par une combinaison linéaire, il est appelé "non-linéaire". Les filtres non-linéaires sont plus complexes à mettre en œuvre que les filtres linéaires. Cependant les résultats obtenus avec les filtres non-linéaires sont très souvent de meilleure qualité que ceux obtenus par les filtres linéaires.

a) Filtre médian

Ce filtre est efficace sur des images dégradées par une source de bruit impulsionnel; il permet d'éliminer les pixels isolés. Le principe de ce filtre est :

- considérer une fenêtre sur le pixel ;
- trier les pixels selon un ordre croissant de leur niveau de gris.
- affecter au pixel central la valeur médiane.

La valeur de médiane est celle qui sépare la séquence triée des valeurs des niveaux de gris en deux effectifs égaux.

b) Filtrage de rang

Ces approches reposent sur un raisonnement très différent. On considère que le signal vrai doit être estimé à partir d'échantillons bruités. Ces échantillons appartiennent à une fenêtre $V(x, y)$ de $N \times N$ pixel entourant le pixel à filtrer.

Chapitre 1 Généralités sur l'imagerie et traitement d'image

Si la fenêtre est à cheval sur des champs de statistiques différentes, on doit trouver un estimateur robuste qui non seulement écartera le bruit, mais supprimera également l'influence du signal parasite. [Las 04]

1.8 Quelques domaines d'application de traitement d'image

Le traitement d'image possède l'aspect multidisciplinaire. On trouve ses applications dans des domaines très variés parmi ces domaines :

- Télédétection : météo, cartographie, astronomie
- Imagerie médicale : aide au diagnostic, tomographie, suivi automatique, reconstruction 3D
- Applications militaires : guidage de missile, reconnaissance terrestre
- Robotique : reconnaissance/assemblage de pièces, véhicules autonomes, contrôle de qualité
- Sécurité : identification de visages, reconnaissance d'empreintes digitales, tatouage d'image (*watermarking*), *data hiding*
- Divertissement : *HDTV*, images haute qualité (*DVD*),
- compression (normes *JPEG* et *MPEG*)

1.9 Conclusion

La représentation des images fixes est un des éléments essentiels des applications multimédias, comme dans la plupart des systèmes de communication.

De nos jours, le traitement d'images prend une importance grandissante. En vue d'interpréter des images acquises par un procédé quelconque, de nombreuses méthodes sont alors indispensables pour quantifier leurs performances.

Chapitre 2
Généralités sur le
manuscrit

2.1 Introduction

L'apparition du livre en écriture arabe se confond avec l'avènement de l'Islam [Hum 02]. En effet, c'est en cette ère que l'écriture arabe fut essentiellement utilisée pour la transcription du Coran.

Depuis ce temps la langue arabe a connu une expansion extraordinaire, permettant aux graphèmes arabes d'être utilisés dans environ, 130 langues [Hum 02]. Ce qui a eu pour résultat de produire un nombre considérable de manuscrits.

Témoin d'une époque glorieuse du monde musulman, le manuscrit arabe est recherché pour divers aspects. Premièrement, un intérêt particulier est porté par les chercheurs à son contenu, qui constitue un fond riche mais partiellement exploré et deuxièmement, son aspect matériel qui constitue un intérêt non des moindres par rapport au premier. En effet, la qualité des réalisations calligraphiques et les miniatures témoignent de la finesse de la civilisation musulmane, qui intéresse les érudits et les historiens.

L'objectif de notre étude dans cette partie est d'étudier la description générale de manuscrits arabes et manuscrits arabes algériens du point de vue codicologique afin d'élaborer un mode d'accès électronique aux manuscrits arabes numérisés en mode image.

2.2 Définition d'un manuscrit

Un manuscrit (du latin *manus scriptus*) est littéralement un texte écrit à la main [Wiki-01 2007]. La production d'un manuscrit constitue un art et fait intervenir plusieurs métiers simultanément. Nous retrouvons, dans un premier lieu, le parcheminier, le copiste ou le Scribe, l'enlumineur et le relieur.

Les manuscrits anciens se présentent essentiellement sous deux formats :

- Le volumen ou rouleau de papyrus. (Le volumen est une bande de matière support d'une écriture – le plus souvent à base de papyrus – qui s'enroule naturellement.)
- Le codex, livre de feuillets manuscrits. (codex : *bloc de bois* ou *livre* en latin)

Contrairement aux manuscrits anciens, les manuscrits modernes consistent, pour l'essentiel, en un ensemble de manuscrits des écrivains ou de divers documents officiels (registres de mairies, registres de banques etc.).

2.3 Genèse des manuscrits

L'assemblage de feuillets de manuscrits forme un codex. Par extension le terme de codex a été employé pour des recueils de lois d'où le nom de code [Wiki-02 2007].

Le format du codex dépend de la façon dont est plié le feuillet : en deux, in folio, en quatre, in quarto, en huit, in octavo, etc.

Le premier support de transcription fut le parchemin, conçu à partir de peaux d'animaux, puis de papyrus. Le papier ne vit le jour qu'au cours du 14^{ème} siècle.

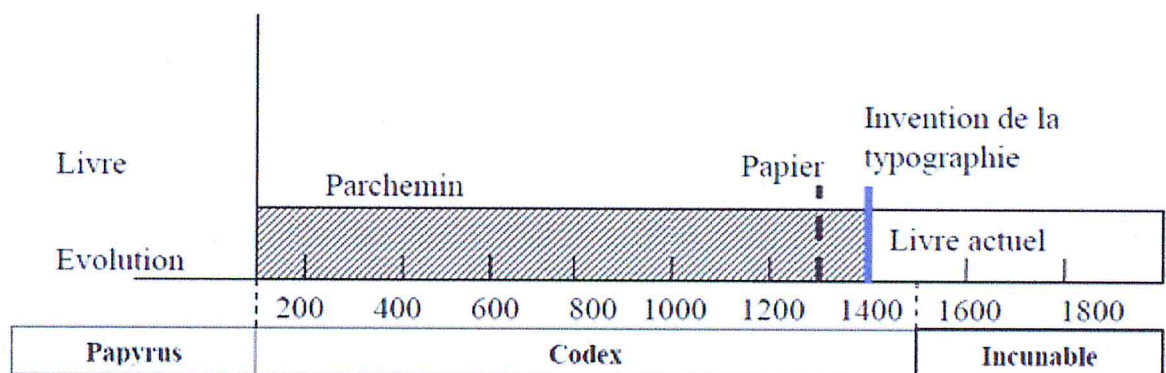


Figure 2.1 : Evolution du support de manuscrit [wiki-02 2007].

Les manuscrits ne respectent aucunement une forme ou une structure bien définie. Ils sont, généralement, de dimensions inégales et formés d'un nombre de pages très variées. Nous retrouvons certains d'entre eux réduits à une seule page et d'autres allant jusqu'à plus de 500 pages.

2.4 Description du manuscrit

- Le manuscrit est le véritable témoin de la présence d'un texte à une époque donnée. Il véhicule les connaissances de cette ère. Il serait donc, intéressant de pouvoir accéder au contenu de ces manuscrits. Pour ce faire, il faudrait mettre en place un système de description adéquat des manuscrits ;
- Notons par ailleurs, qu'un manuscrit est tout d'abord une œuvre produite d'une manière artisanale, utilisant des matériaux rares et coûteux. Il est de ce fait un document archéologique qui peut être approché à travers ses caractéristiques matérielles et son histoire ;
- Un manuscrit est un document unique, qu'il faut examiner depuis sa fabrication, jusqu'à l'intervention des lecteurs et des possesseurs successifs. Par conséquent, les rédacteurs de notices descriptives de manuscrits doivent relever tous les aspects caractérisant les manuscrits, relatifs à sa composition et à son contenu.

2.5 Caractéristiques des manuscrits arabes anciens

Les caractéristiques communes aux manuscrits arabes peuvent être résumées comme suit [Ors 93] :

- Début des manuscrits au verso du premier feuillet, alors que le recto est réservé à l'inscription du nom de l'auteur, au commanditaire de l'œuvre et parfois au cachet ;
- Le début du texte peut être accompagné d'un décor particulier et représente souvent, le début de chaque chapitre, section ou sourate quand il s'agit d'une œuvre coranique ;
- Le texte est écrit en longues lignes, à l'exception du texte poétique ;
- Des règles d'usage de l'encre sont observées : la couleur rouge est souvent utilisée pour l'écriture des noms propres, des nombres et des citations ;
- L'usage du texte encadré dans les manuscrits coraniques ;
- Présence du texte dans les marges.

2.6 Etude codicologique du manuscrit [IRH 06]

Le mot codicologie trouve ses origines dans la concaténation de deux mots, l'un latin : codex qui signifie livre et l'autre grecque : logos qui signifie science.

Larousse définit la codicologie comme "une science détachée de la paléographie et s'appliquant à l'étude des manuscrits dans leur ensemble (histoire des collections, site actuel des manuscrits, catalogue, nomenclature, reproduction, répertoires de copistes, relieur, etc.)[Lar 82]. La codicologie est en quelque sorte l'archéologie du livre.

La codicologie a pour but d'étudier les manuscrits sous deux aspects. Il s'agit pour le premier d'étudier ce qui été écrit sur le manuscrit en dehors du texte principal, comme les notes figurant dans la marge (les commentaires, les explications) et tout ce qui peut aider à identifier les manuscrits (leur(s) possesseur(s), leur date, leur copiste, etc.)

Autrement dit, cela consiste à identifier l'environnement historique et géographique des manuscrits, plutôt qu'à étudier le texte lui-même.

Le deuxième aspect concerne la description physique du document (papier ou parchemin, encre, ornementation, rouleur, taille de codex, marquage de pages, réclame, reliure, etc.).

2.6.1 Rédaction d'une notice de manuscrit selon le (IRHT)

La notice d'un manuscrit permet de saisir clairement ses éléments codicologiques distincts, tout en mettant en évidence les liens historiques qui les unissent. Plus ou moins approfondie et détaillée en fonction de sa destination et du degré de complexité du manuscrit, elle comporte, en principe, les éléments suivants (les plus importants sont marqués d'un astérisque). Pour la signification des termes employés, on se reportera au glossaire codicologique.¹

¹ Glossaire codicologique à la fin du mémoire

a) Description matérielle**1. Signalement rapide du manuscrit**

-cote actuelle : elle est composée du nom de la ville où est conservé le manuscrit, du dépôt, puis éventuellement du fond, suivi du numéro et/ou de la lettre (ou du groupe de lettres) désignant le manuscrit ;

- dimensions en mm ;

- nombre de folios ;

- palimpseste ou non ;

- homogène ou hétérogène ;

- date donnée ou restituée (année si le manuscrit est daté, sinon siècle), origine.

2. Support

- parchemin / papier ;

- si papier : vergeures, fils de chaîne, filigranes... .

3. Encre

- encres à écrire ;

- encres de couleur (pour la décoration).

4. État du manuscrit

- qualité de la copie ;

- état de conservation.

5. Organisation du volume

- système de numérotation : foliotation, pagination ;

- signatures ;

- réclames ;

-cahiers : composition, succession.

6. Préparation de la page avant l'écriture

- piquères ;

- réglure : instrument utilisé, schéma.

7. Écriture

-distinction des différentes mains (ne pas oublier les gloses ou les commentaires) ;

-caractérisation des écritures.

8. Mise en page

- nombre de colonnes, de lignes ;
- surface écrite (en millimètre) ;
- titre courant, manchettes ;
- dispositions spéciales (tableaux, blancs...) ;
- gloses, commentaires....

9. Décoration

- hiérarchie du décor ;
- description : décor du texte, de la page, illustration ;
- mentions écrites pour l'enlumineur ;
- notation musicale.

10. Colophon, souscription ou mention similaire

- type de mentions ;
- transcription ;
- critique : interprétation des dates, identification des personnes et des lieux.

11. Reliure

- technique (plat, couverture, dos, titre) ;
- décor (emplacement, motifs) ;
- éléments annexes (signets, boulons, fermoirs, chaîne...) ;
- datation, localisation, histoire, remaniements, restaurations .

12. Possesseurs et lecteurs

- marques de possesseurs ;
- interventions des éditeurs et des lecteurs.

13. Héraldique

- armoiries (écu, timbres, ornements extérieurs) ;
- devises, emblèmes, chiffres.

b) Contenu**1. Liste des textes dans l'ordre du manuscrit***

Pour chaque texte :

2. Folios extrêmes

3. État matériel : lacune / fragment.**4. Identification**

- auteur ;
- titre ;
- date de composition ;
- prose / vers (formule métrique) ;
- langue, dialecte.

5. Analyse du texte

- formule initiale (dédicace) ;
- pièces liminaires (préface, prologue, table) ;
- intitulé du début et de la fin (s'il est différent du titre) ;
- incipit (au moins 5 mots) ;
- particularités (divisions, lacunes, additions, gloses) ;
- explicit ;
- pièces terminales (postface, épilogue, envoi).

6. Caractère

- texte intégral / extrait ;
- remaniement (source) ;
- compilation, florilège ;
- autres exemplaires manuscrits connus (pour les textes rares).

7. Bibliographie

- édition(s) du texte ;
- sigle, appellation dans une édition, un répertoire, un catalogue moderne ;
- études dans lesquelles un manuscrit est décrit, cité ou reproduit en fac-similé.

c) Histoire**1. Origine**

- date de copie ;
- lieu de copie (colophon ou formule de souscription du copiste) ;
- artisan(s) ;

2. Destinée

-(personnes physiques ou morales pour qui et / ou sur l'ordre de qui le ms. a été exécuté, possesseurs successifs)

- ex-libris ou ex-dono à transcrire en indiquant le folio où ils se trouvent

-relevé de l'incipit et de l'explicit-repères, pour confrontation avec les catalogues anciens, avec renvoi éventuel à des catalogues médiévaux où le ms. est mentionné.

2.7 Etat du manuscrit en Algérie

Notre pays est connu par un patrimoine très riche en manuscrit et la numérisation du patrimoine culturel permet de sauvegarder les originaux des films, ouvrages ou manuscrits pour éviter leur détérioration avec le temps et offre un accès en ligne.

Trois principaux établissements sont chargés de cette mission :

- Le Centre Algérien de la Cinématographie(CAC) pour le patrimoine filmique et documentaire (Cinéma).
- La Bibliothèque nationale pour les livres et manuscrits.
- le Centre national des manuscrits d'Adrar.

2.8 Conclusion

Les manuscrits mènent une existence en dehors des murs d'institutions officielles (Bibliothèque Nationale, Archives). Beaucoup de personne possèdent des collections privées de manuscrits. Ce sont généralement des personnes qui les ont hérités et nombre d'entre elles sont des nomades et ne se déplacent qu'avec leur trésor.

Depuis longtemps inaccessibles, ces documents sont en danger de disparition ; ils sont déjà dans un état de décomposition très avéré car les conditions de conservation ne sont pas assurées. Cette situation lamentable concourt à la disparition d'une part importance de la mémoire commune et un appauvrissement de l'héritage de toute nation.

Chapitre 3
Numérisation des anciens
documents

3.1 Introduction

Depuis quelques années, on numérise quotidiennement des quantités importantes de documents issus du patrimoine. Cette révolution technologique a ouvert de nouveaux domaines de recherche comme la restauration des images qui constitue le cadre de notre travail.

3.2 Numérisation du patrimoine

Le document joue un rôle important dans le développement des civilisations et de leurs cultures ; il permet de conserver et de transmettre les connaissances d'une génération à l'autre. Au fil des générations, le support physique des documents écrits a beaucoup évolué, allant des supports rigides (le bois, la pierre, le marbre, les galets, les tablettes de cire ou d'argile) aux supports souples (le papyrus, le parchemin, le cuir, le papier). Le papier, moins coûteux et plus commode, s'est généralisé dans le monde comme le principal support, mais, le papier est un support fragile dont la conservation est difficile. L'invention de l'imprimerie moderne au 14 ième siècle a marqué le début d'une nouvelle ère de production et de diffusion massive du savoir ; l'imprimerie n'est pas le résultat d'une seule technique mais d'un ensemble de techniques parvenues à maturité et correctement agencées.

Le récent développement des technologies numériques de l'information et de la communication a révolutionné la transmission des connaissances et remis en cause la suprématie du papier comme support unique de diffusion des savoirs. Le monde de l'édition physique (sur support papier) est complètement bouleversé par le monde du numérique. Le document électronique est aujourd'hui le vecteur de diffusion le plus utilisé dans le monde. Le document électronique possède de nombreux avantages par rapport aux documents papier.

3.3 Qu'est-ce que la numérisation ? [Gui 08]

La numérisation est un acte qui consiste à créer une copie en mode image d'un document physique existant.

Ces documents numérisés ainsi générés ne sont pas à confondre avec les documents dits « informatiques » créés dès l'origine sur ordinateur.

On utilise le terme « numérique » du fait que, par cette procédure, des données analogiques sont traduites en langage binaire (une suite de 1 et de 0) par un numériseur (scanner).

Cette « traduction » implique qu'il existe de bonnes et de mauvaises numérisations. La qualité de la numérisation se détermine alors en fonction de l'usage qui en est défini, et de la portabilité sur le réseau.

3.4 Que peut-on numériser ? [Gui 08]

Tout ce que l'on peut voir ou entendre est la plupart du temps numérisable.

Plus précisément : photo, journal, carte postale, diapositive, cassette de magnétoscope, cassette audio.



Figure 3.1 : exemple d'un matériel de numérisation

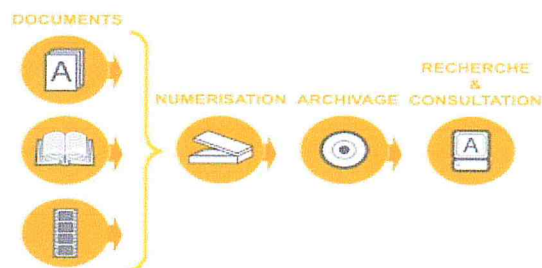


Figure 3.2 : schéma de processus de numérisation

3.5 Objectifs de la numérisation [Gui 08]

Les objectifs des chantiers associant numérisation et archivage sont nombreux. Dans les domaines de la Gestion Électronique des Documents (GED) et des sciences de l'information et des bibliothèques, elle remplit plusieurs fonctions :

- préserver et protéger des documents contre les risques d'altération (l'acidité par exemple) ;
- archiver des documents originaux en vue d'un gain de place, et les dupliquer sans risque de dégradation pour les mettre à disposition du public ;
- permettre au public de consulter et d'accéder à des documents anciens et/ou rares
- aider et susciter la recherche, faciliter l'indexation de textes et de documents multimédias, valoriser un fonds documentaire ;
- donner accès à la connaissance à distance dans une perspective de communication (bibliothèques électroniques en ligne, projet « Bibusages » sur Internet, etc.).

La numérisation est l'un des aspects de ce que l'on appelle quelquefois de façon impropre la dématérialisation.

3.6 Les avantages de la numérisation [Fay 05]

En ce qui concerne les avantages, tout d'abord une facilité de conservation grâce aux moteurs de recherche et aux gestionnaires de fichiers qui permettent de classer de manière organisée les œuvres numérisées mais aussi de rendre la consultation plus aisée et plus conviviale. Une préservation des documents originaux dans le but d'améliorer leur accès et leur sauvegarde à cause des nombreuses manipulations qui peuvent les détériorer. Ainsi, la numérisation offre la possibilité de remplacer les objets fragiles.

L'accessibilité au public et la promotion, grâce aux stockages robotisés qui permettent de consulter les documents n'importe quand et par plusieurs personnes en même temps créant ainsi une valorisation du patrimoine.

La recherche a été rendue plus facile et efficace par la numérisation, augmentant les moyens de recherche que cela soit sur Internet que sur le document lui-même. De plus, l'aspect pédagogique a été amplifié grâce aux plates-formes multimédias qui permettent la formation à distance et la publication des études. L'utilisation de toutes les formes d'éditions facilitant l'analyse et l'extraction des documents ou de certaines parties. Textes et images peuvent être réunis, coupés, collés, annotés, permettant d'organiser de différentes façons le document. Un autre des avantages de la numérisation est la reproduction de l'information numérisée qui peut être soit stockée, soit imprimée soit reproductible à l'infini sans avoir d'impact néfaste sur le document source (image, texte, son, vidéo etc.). La numérisation a été très bénéfique pour la gestion des collections (définition des priorités, sécurité, accès, recherche, catalogage, acquisitions, conservation, gestion des déplacements) mais aussi à l'ouverture d'un nouveau marché : l'édition électronique. En effet, les délais, les coûts de fabrication, de diffusion et de fabrication ont été nettement réduits.

3.7 Les limites et les contraintes de la numérisation

Pour les limites, trois ont été avancées : l'importante place de stockage que détiennent certains documents (images et collections de photographies), l'insuffisance de la qualité de numérisation pour certains documents : technologies pas encore assez évoluée, la perte de valeur juridique et d'authenticité des documents administratifs.

A travers toutes ces remarques, la numérisation n'est pour le moment qu'un moyen de sauvegarde des documents mais pas un outil de préservation. Concernant les contraintes, une sélection pertinente des documents est à faire : tout ne peut pas être numérisé, les coûts restreignent certaines structures, d'autres n'ont pas le personnel compétent, mais aussi on assiste à une non connaissance des réglementations juridiques et une limite des performances des appareils de numérisation.

- Exemple de programme de numérisation [ENR 00] – *Les logiciels de numérisation des livres anciens* – DESSID, avril 2000]

Le projet ou la station	La société	Caractéristiques
<p>DEBORA (Digital accEss to Books of the RenAissance) 1/1/1999 -> 30 mois Projet européen qui développe des outils permettant l'accès, à partir de postes de consultation distants, à des collections de documents du 16^{ème} siècle</p>	<p>Xerox -En association avec I2S (Bordeaux) (Le scanner Digibook) SGBI Entreprise (Transvision)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Logiciels d'amélioration et de restauration des images - Logiciels pour extraire les informations nécessaires à la fonction de la banque de données d'images. - Logiciels d'analyse des formes, des images de mots - Logiciels permettant d'accéder partiellement au texte à partir de la table des matières - Logiciels pour l'analyse et la comparaison des composantes non textuelles : lettrines, bandeaux, ornements, etc.
<p>Initiale Banque de données d'images numériques des enluminures des manuscrits depuis 1997. -Format de visualisation est le format Scopur</p>	<p>Base de données, produit de l'IRHT (Institut de recherche et d'histoire des textes); gérée sous Taurus (logiciel documentaire aujourd'hui de la société EVER) - (développé par la société Avelem)</p>	<p>Les images proviennent, d'une part, de la numérisation rétrospective des diapositives existantes et, d'autres part, depuis janvier 1998 de la photographie numérique directe des manuscrits.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Il permet 5 niveau d'images (vignette, imagerie, image plein écran, puis quart d'image et seizième d'image : soit un cinquième niveau de très haute

		définition).
BAMBI (Better Acces to Manuscript and Browsing of Images) Une station de travail pour historiens travaillant sur des textes anciens	Basé sur un projet développé au CNR (Comitato Nazionale della Ricerca) de Pise dans le Laboratoire ILC (Institute for Computational Linguistics).	La station BAMBI permet de - visualiser l'image d'un document source (un manuscrit) avec une haute résolution - transcrire, annoter et indexer le texte contenu dans les images - visualiser la transcription et l'Index Locorum dans une fenêtre adjacente à celle du document source -faire correspondre automatiquement chaque mot de la transcription avec la portion de l'image source dans lequel le mot est trouvé -exporter des informations sur les manuscrits au format SGML/HyTime

3.8 Les inconvénients de la numérisation

Quant aux inconvénients, le plus important est le coût du matériel de numérisation et la nécessité d'avoir une main d'œuvre qualifiée pour la faire. Se pose aussi le problème de rangement des supports de stockage de l'information numérisée donc un investissement important. Enfin, les coûts de préparation, c'est-à-dire, la saisie numérique. Tout un travail d'indexation et de nommage dans la base de données en amont doit être effectué.

3.9 processus de numérisation des manuscrits arabes

Les manuscrits arabes anciens représentent des œuvres précieuses qui peuvent intéresser différents types de populations : Etudiants, chercheurs, historiens, etc. La numérisation de ce type de documents est motivée par plusieurs objectifs parmi lesquels nous citons :

3.9.1 Objectif de préservation

Il est reconnu qu'aujourd'hui la numérisation est un moyen de préservation plutôt que de conservation [Ced 01]. En effet, un document en format numérique est de consultation très aisée et de manipulation facile.

La numérisation permet de ce fait, d'augmenter le taux de consultation du document sans un impact physique sur l'original.

3.9.2 Objectif de diffusion

L'accès physique au manuscrit représente un danger potentiel qui risque de réduire considérablement la durée de vie du manuscrit. Il est donc important de trouver un mode d'accès au manuscrit sans pour autant le manipuler physiquement. La diffusion du format numérique du manuscrit en Intranet de la bibliothèque, voire sur Internet constitue une solution salubre qui permet d'une part, d'accéder à l'œuvre et d'autre part, de limiter sa sortie des lieux de rangement. Par ailleurs, il est important de rappeler la grande souplesse qu'offre la diffusion numérique d'un document.

3.9.3 Objectif de valorisation

Tout document non consulté peut être considéré comme un document mort. En effet, une information invisible, combien même pertinente, ne peut guère servir l'humanité. Sa mise en ligne joue un double rôle: Le premier consiste à permettre son utilisation par le lecteur alors que le second permet sa sortie de l'anonymat. Cet aspect de valorisation de l'œuvre ne peut qu'être bénéfique pour la bibliothèque, lieu de conservation du manuscrit.

3.10 Quelle GED pour la numérisation des manuscrits ?

La terminologie se retrouve, bien souvent, source de beaucoup d'ambiguïté. En effet, par numérisation et mise en ligne de manuscrits, nous penserions qu'une solution Gestion Electronique des Documents (GED) serait très appropriée à ce genre d'application. Mais, la réalité de l'une et de l'autre se trouve diamétralement opposée, même si des ressemblances frappantes existent entre les deux systèmes (GED et numérisation des manuscrits).

En effet, la GED s'attaque essentiellement à la suppression de la production de papier en entreprise, elle respecte la théorie des trois âges d'un document. Le cheval de bataille de la GED étant la gestion d'un document depuis sa naissance jusqu'à son versement dans les archives. Le système GED trouve essentiellement sa raison d'être dans le milieu "entreprise".

Contrairement à cet aspect, la numérisation des manuscrits est avant tout dynamique. Autrement dit, à aucun moment le manuscrit n'est versé dans les archives, bien au contraire.

Un manuscrit numérisé et mis en ligne peut être annoté, commenté et enrichi par le lecteur. Le cycle de vie d'un manuscrit numérisé ne correspond aucunement à celui d'un document géré par une application GED conventionnelle.

3.11 Les modes de numérisation de manuscrits

La numérisation est une procédure qui consiste en la dématérialisation du support physique. Il s'agit d'une reproduction de la forme physique du document sous une forme électronique. Il est donc nécessaire que cette fonction se fasse d'une manière parfaite, sans omission de détails. Le captage de la structure physique de l'objet génère une image : On parle du mode image. Ce dernier présente la difficulté de recherche d'information plein texte.

Pour palier à cette difficulté, des logiciels de reconnaissance de caractères (Optical Character Recognition : OCR) sont utilisés dans le but de transformer l'image en texte : On parle du mode texte.

Si la fonction de recherche d'information plein texte paraît attrayante, son obtention se révèle comme un problème difficile, dont les résultats de réussite n'atteignent

jamais 100%. Un travail supplémentaire de correction s'avère souvent, nécessaire dans la majorité des cas. Cette difficulté devient encore plus importante quand il s'agit des manuscrits arabes anciens, qui présentent une calligraphie très variée et une qualité de support que nous ne pouvons pas classer parmi les meilleures.

3.11.1 Le mode image

On a vu que plusieurs raisons peuvent motiver une numérisation des manuscrits ou des documents anciens : Préservation, diffusion et valorisation. Ces divers objectifs induisent la considération de plusieurs paramètres de l'image numérisée:

- Quelle sera la durée de vie de conservation ?
- Quel sera le format de numérisation ?
- Le format de diffusion des images sera-t-il le même que celui de la conservation ?

Un autre problème important influe sur le mode de numérisation et de conservation des manuscrits numérisés : il s'agit de la taille des fichiers générés par la numérisation. En effet, une taille importante des fichiers engendre un investissement supplémentaire en matière de moyens de stockage, sans perdre de vue le néfaste impact que cela induirait sur la transmission du fichier sur Internet.

3.11.2 Le mode texte

La numérisation en mode texte consiste à coder le texte de l'image numérisé sous forme de caractères. Pour ce faire, des outils de reconnaissance de caractères sont mis en œuvre. Ces outils récupèrent le contenu du document numérisé d'une "image" et génèrent un format texte.

Le mode texte offre la possibilité de la recherche en plein texte à l'intérieur du document, d'annoter le contenu du document et d'effectuer des opérations sur le texte telles que copier coller,...etc.

Le passage du mode image au mode texte nécessite une étape supplémentaire qui est la reconnaissance optique des caractères, que nous rappelons, demeure médiocre pour les manuscrits arabes. Ceci est dû essentiellement à la complexité de la calligraphie des caractères arabes. C'est dans cette perspective qu'ont eu lieu des travaux de recherches se basant sur la structure physique du document. Ils

s'intéressent à la mise en forme de la présentation, à la structure logique du document et au type d'éléments logiques du document tels que le titre, l'auteur, les notes, les figures, ...etc. Ces méthodes génèrent une extraction automatique des métadonnées en vue d'indexation du manuscrit.

3.12 Le traitement des images et la numérisation des manuscrits

Un projet de numérisation des manuscrits ne saurait trouver un écho de différentes communautés scientifiques s'il se réduisait au seul passage du document du format analogique au format numérique. En effet, tout l'intérêt de la numérisation de telles œuvres réside dans la possibilité d'accès à leur contenu. Pour ce faire, le catalogage joue un rôle déterminant. Ce dernier est élaboré grâce à l'ensemble des métadonnées décrivant le manuscrit. Par ailleurs, certains travaux portent sur l'extraction automatique de métadonnées directement à partir de l'image numérisée, d'autres tentent une indexation automatique plein texte en s'attaquant directement au texte du manuscrit, dans ce cas un système de reconnaissance de caractères s'avère indispensable. De plus, l'affichage du contenu du manuscrit doit se faire d'une manière claire et lisible. Tous ces aspects que nous venons d'énumérer font appel à la technique de traitement de l'image.

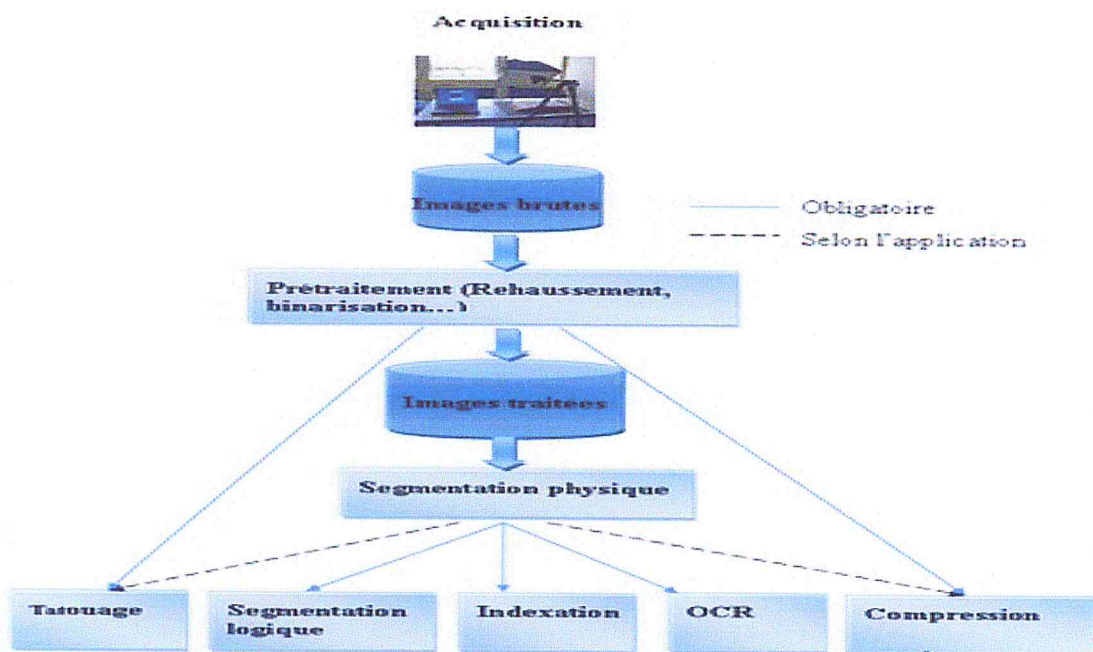


Figure 3.3 : Schéma bloc d'une chaîne de numérisation de documents.

3.13 La numérisation du patrimoine en Algérie [web 01]

L'Algérie possède plusieurs documents anciens (manuscrit, imprimé...etc.) de différentes langues. Les images de ces documents nous ont permis de voir la qualité de ces documents d'où nous avons besoin de les restaurer.

L'Algérie contient plusieurs établissements chargés de la numérisation du patrimoine afin d'éviter les dégradations des documents anciens. Nous pouvons citer :

- **Bibliothèque Nationale d'Algérie**

La Bibliothèque Nationale d'Algérie possède un patrimoine important de manuscrits et de documents rares et précieux qui doivent sans cesse être manipulés avec le plus grand soin et conservés dans des conditions normatives et adéquates.

Les services de conservation et de reprographie ont pour mission de microfilmer, dupliquer et numériser ces documents fragiles et précieux, de limiter leur consultation et leur manipulation, de les préserver et de leur assurer une bonne conservation.

L'une des principales missions de la Bibliothèque Nationale d'Algérie est la numérisation de l'ensemble du Fonds livres et manuscrits:

Environ 600.000 ouvrages (périodiques, manuscrits, ouvrages rares, fond Arabe, fond International, collections, affiches, cartes, photos, etc.)

La numérisation comporte trois grandes étapes à savoir :

- La digitalisation des fonds.
- Le stockage et la gestion de fonds numérisés.
- La consultation des fonds numérisés.

- **CENTRE NATIONAL DES MANUSCRITS D'ADRAR**

Créé par décret n°06 - 10 du 15 janvier 2006, il a pour missions principales :

- la conservation des manuscrits selon les méthodes scientifiques modernes
- la réalisation de l'inventaire général et la classification des manuscrits ;
- le catalogage scientifique des manuscrits.

A cet effet, le centre dispose d'un *Service de reprographie* qui a pour mission de numériser, stocker dans une base de données exploitable:

- Numériser et photographier les manuscrits en utilisant les différents moyens modernes de photographie (photographie numérique, scanner) ;
- Archivage des documents numériques et création d'une banque de données ;
- Création d'une bibliothèque virtuelle accessible ;
- Photographier les manuscrits auprès des particuliers détenteurs d'armoires (khizanats).



Figure3.4 : exemple des patrimoines d'Adrar .

- **Centre Algérien de la Cinématographie (CAC)**

L'une des principales missions du centre algérien de la cinématographie est la Numérisation du patrimoine filmique et documentaire (environ 50.000 films à numériser). L'informatisation des archives nécessite au préalable :

- Catalogage des documents et copies des films ;
- Inventaire de tous les documents didactiques et filmiques avant leur numérisation ;
- Etude des besoins pour le choix de faisabilité de numérisation.



Figure 3.5 : exemple des patrimoines dans le centre algérien de la cinématographie(CAC).

3.14 Conclusion

Notre travail rentre dans le cadre d'un projet que le CERIST mène avec le centre national du manuscrit d'Adrar. Nous avons pour objectif de restaurer des images dégradées de documents que le centre de manuscrit d'Adrar prendra charge de la numérisation.

Chapitre 4
Dégradation des anciens
documents

4.1 Introduction :

Les images de documents numérisés laissent apparaître souvent de nombreux défauts. Certains dépendent de l'état de conservation du document (la qualité du papier, l'acidité de l'encre, l'humidité du lieu de stockage, vieillissement du support, etc.) ou des modifications apportées par l'Homme (annotations, soulignements, mauvaise restauration physique, etc.). D'autres proviennent du processus même de numérisation (résolution insuffisante, courbure apparente, restitution non fidèle des couleurs, etc.).

La plupart des travaux, traitant les images de documents anciens, font référence à une classification des dégradations en fonction de leurs causes.

4.2 Définition de la dégradation

On appelle dégradation tous les effets indésirables cumulés nuisant à la lisibilité, au traitement ou à la conservation de l'image. Les dégradations ont plusieurs origines et l'accumulation des défauts rend difficile leur séparations. Les dégradations ont des effets plus destructeurs sur les images de documents que sur toutes autres images dites «naturelles». [une 83]

4.3 Différent type de dégradations des documents

4.3.1 Dégradations biologiques

Les agents de dégradation biologique (moisissures, insectes et rongeurs) contribuent majoritairement à la dégradation des collections. Ces agents se nourrissent des substrats organiques qu'ils trouvent. L'absence de ventilation, l'obscurité et les niveaux de température et d'humidité relativement élevés favorisent leur développement. Les dommages causés (destruction des papiers, des reliures, taches, etc.) sont irréversibles (figure 4.1) [web 02].

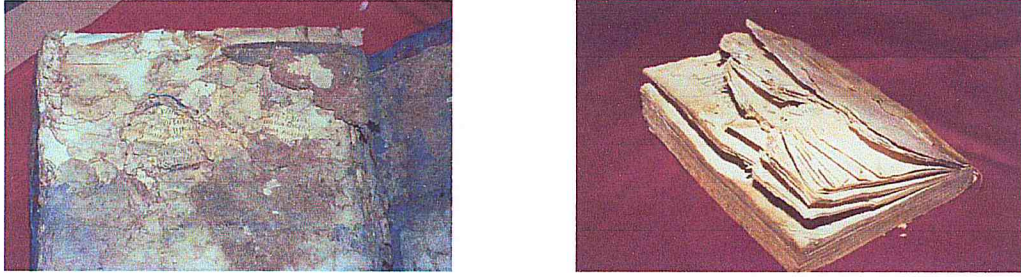


Figure 4.1 : exemple de dégradation biologique.

4.3.2 Dégradations chimiques [DRI 07]

Le papier est un moyen de stockage fragile et éphémère. Il est constitué par l'essentiel de matériaux naturels ou organiques qui sont chimiquement peu stables, les réactions chimiques, qui peuvent avoir lieu, peuvent provoquer des modifications irréversibles dans la structure des matériaux (Fig.4.2). Les processus chimiques ont des chances de s'intensifier avec l'accroissement de la température, l'humidité, la luminosité et la pollution atmosphérique. Toutes ces réactions chimiques peuvent se traduire, d'une part, par le jaunissement du papier, et de l'autre, par une décoloration des encres et des pigments. Les papiers minces de faible grammage sont sujet au phénomène de «transvision» (lorsque l'impression de l'arrière est visible sur l'avant). Une destruction complète du papier peut avoir lieu pour des réactions photochimiques au contact de l'oxygène. L'utilisation des matériaux tels que la colle ou les feuilles de protection en contact direct avec le support papier aide à propager des substances nuisibles qui peuvent ainsi provoquer des dommages.



Figure 4.2 : exemples des dégradations chimiques.

4.3.3 Dégradations physiques [web 02]

L'homme peut contribuer à la dégradation progressive du patrimoine documentaire. Outre des désastres inévitables comme les accidents ou les guerres, certaines dégradations qui sont imputables aux manques dans les règles élémentaires de conservation, peuvent être évitées. Par manque de moyens financiers, les bibliothécaires ne peuvent pas toujours investir dans des systèmes de climatisation pour réduire l'humidité. Certaines n'ont ni sécurité efficace contre les incendies ni alarmes appropriées.

Toute manipulation physique, par les conservateurs eux-mêmes, détériore les documents fragiles (Fig.4.3)



Figure 4.3 : exemples de dégradations physiques.

4.3.4 Dégradation mécanique

Cette forme de dégradation est directement liée à l'homme : l'utilisateur comme le bibliothécaire. Ce sont les chocs, les griffures, écorchures des reliures, déchirements de pages, etc., liés à la manipulation non adéquate. Cela peut également être lié au transport (chute du chariot, livre qui glisse des mains parce qu'on en porte trop à la fois, etc.).

Le rangement des ouvrages peut également provoquer la dégradation de ceux-ci. Un livre trop serré ou trop peu serré dans un rayonnage entraînera une modification de celui-ci : il peut s'affaisser ou se "tordre" par exemple. De plus, en ce qui concerne les ouvrages les plus grands, qui sont rangés à plat (dans les magasins par exemple) il faut veiller à ce qu'ils ne soient pas trop nombreux, sous peine de les abîmer en les manipulant. En effet, souvent lourds, et s'ils sont trop à être empilés, ils seront

difficiles d'accès, difficiles à manipuler et donc les risques de dégradation seront plus importants (Figure 4.4) [une 83]



Figure 4.4 : Exemples de dégradations mécaniques.

4.4 Dégradations dues à la capture

La numérisation, même de qualité, n'est qu'une représentation imparfaite, à un moment donné, d'un objet physique. Tout dépend des conditions de la prise d'image (placement, éclairage, réglages, etc.) et de la qualité du numériseur (capteur linéaire ou matriciel, bruit du capteur, précision de l'optique et de la mécanique, algorithmes de prétraitement, codage interne des couleurs, etc.). Les choix techniques effectués (choix des paramètres du matériel, des prétraitements et des formats de fichiers) par les acteurs de la numérisation ont plus d'incidence sur la qualité des images que les problèmes précédemment cités.

4.4.1 Dégradations matérielles [dri 07]

Nous distinguons principalement deux façons de numériser : la numérisation directe du document original et la numérisation indirecte faite à partir d'une copie du document original (microfilms, photographies, négatifs, reproductions imprimées ou photocopies). La numérisation de copies est plus simple à mettre en œuvre et à automatiser mais la qualité des images produites est très inférieure à celle obtenue par la numérisation directe du document original.

4.4.2 Dégradations numériques [dri 07]

Les dégradations numériques sont les conséquences des choix technologiques délibérés ou accidentels comme le paramétrage du matériel, les prétraitements irréversibles et la compression avec perte des images. Les bibliothécaires ont très souvent privilégié la numérisation rapide de masse sur une numérisation de qualité. Pour réduire les temps d'acquisition et diminuer les coûts de la numérisation, ils ont fait des choix techniques qui auront des conséquences beaucoup plus graves sur la qualité des images. La réduction délibérée de la résolution spatiale ou colorimétrique et l'utilisation de formats de compression avec perte sont encore très largement utilisées pour sauver l'espace disque et réduire les coûts de stockage des images.

Les dégradations numériques sont aussi causées par une mauvaise utilisation du matériel. Citons, à titre d'exemples, l'application d'une méthode de compression d'images couleur sur une image binaire, le changement d'un format de fichier à un autre, l'application de traitements destructifs comme la correction du contraste ou le rehaussement de la netteté. Tous ces traitements réalisés modifient définitivement l'information. Il convient donc d'étudier les conséquences de ces pertes d'information sur les traitements et la lisibilité.

a) L'inadéquation de la résolution à la taille des textes

La résolution représente la finesse de la grille utilisée pour discrétiser les rayonnements visibles. Elle s'exprime en nombre de points par pouce (DPI : Dot Per Inch) ou en nombre de pixels par pouce (PPI : Pixels Per Inch). Plus la finesse de la grille diminue, moins les détails sont préservés (Fig 4.5). Une faible résolution s'accompagne généralement d'une perte de la topologie de l'objet transformant par exemple la lettre «e» en lettre «c» ou supprimant les espaces entre les lettres adjacentes (Fig 4.6).

Une bonne résolution aide à mieux distinguer les détails fins, mais elle requiert la réservation d'un grand espace de stockage. Pour réduire les coûts tout en générant des images numériques exploitables, il faut trouver un compromis entre la taille des images et leur qualité. En outre, lors de la numérisation d'une collection, la résolution est fixée à l'avance indépendamment des contenus des textes. La figure

4.7 montre un exemple d'une image illisible à cause d'une résolution insuffisante sur des textes de très petite taille.

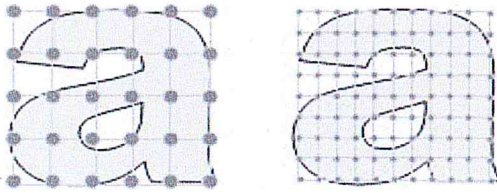


Figure 4.5 : Finesse de la grille pour une faible et une forte résolution.

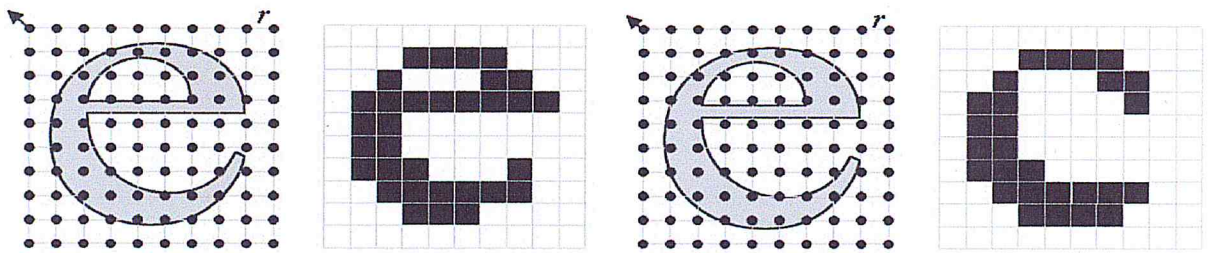


Figure 4.6 : Perte de la topologie avec le déplacement aléatoire d'une grille de résolution.

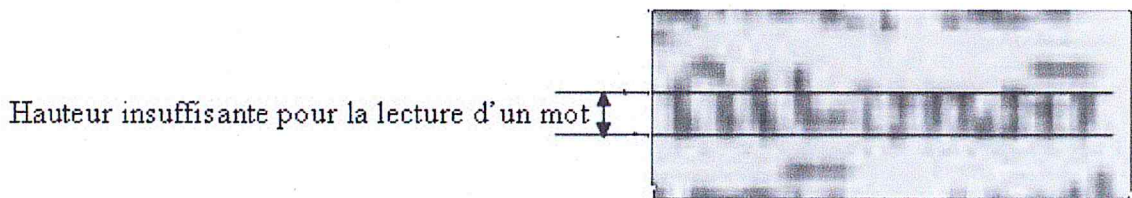


Figure 4.7 : Problèmes d'une faible résolution sur une image de trait.

b) Choix de la compression avec perte

La manipulation des images de documents requiert un temps et un espace disque qui augmentent en fonction de leur taille ; d'où l'intérêt de les compresser afin de réduire leur taille.

Le choix des formats de compression est très critique car il peut entraîner une altération irréversible des données. Toute information abandonnée ne sera pas récupérée à la décompression, s'il s'agit d'une compression avec perte. L'exemple le plus célèbre est certainement l'encodage JPEG des images qu'on avait abordé dans un chapitre précédant.

Cet encodage introduit une analyse fréquentielle sur des blocs de taille réduite (généralement de taille 8x8 pixels). Il a pour principe de privilégier un fort lissage

sur les zones uniformes et un faible lissage sur les zones très contrastées. La quantification indépendante de chaque bloc 8x8 de l'image provoque des ruptures des traits. Nous percevons sur l'exemple (Fig 4.8) la présence d'artéfacts¹ sur les frontières des carrés qui sont de plus en plus flagrants si on autorise à supprimer de nombreuses fréquences. On peut perdre jusqu'à 50% de l'information pour un facteur de qualité variant entre 100% et 90% [Emp 03].

Le format de compression JPEG dégrade ainsi les formes des caractères ; dégradation d'autant plus sensible que la taille de la police est petite ou que la résolution est très faible. Cela s'explique par l'augmentation de la complexité des frontières des lettres à l'intérieur des macro-blocs que le filtrage fréquentiel ne peut plus restituer. Malgré le développement de formats de compression moins destructifs comme JPEG2000 ou comme les méthodes de compression adaptées aux documents comme le format Déjà Vu [Bot 98] ou le format développé pour le projet Debora [Bou 07], la compression JPEG est le format de compression le plus utilisé pour la sauvegarde et la diffusion.

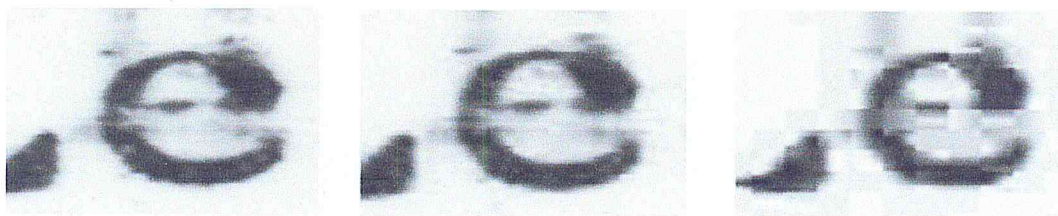


Figure 4.8 : Aspect destructif de la compression JPEG ; de gauche à droite respectivement : l'image originale et ses versions compressées avec un facteur de qualité 50 % et 10 %.

c) Le problème de la numérisation en binaire

La binarisation est un traitement irréversible qui permet de transformer une image en niveaux de gris ou en couleur en une image noir et blanc en fonction d'un seuil à définir. Toute valeur de pixel supérieure à un seuil fixe aura la valeur 255 (blanc), 0 (noir) sinon. Le choix du seuil de binarisation est donc crucial. Des algorithmes de binarisation à seuils adaptatifs, comme ceux proposés par Sauvola ou Niblack,

¹ Un **artéfact** ou **artefact** est un effet (*lat. factum*) artificiel (*lat. ars, artis*). Le terme désigne à l'origine un phénomène créé de toute pièce par les conditions expérimentales, un effet indésirable, un parasite

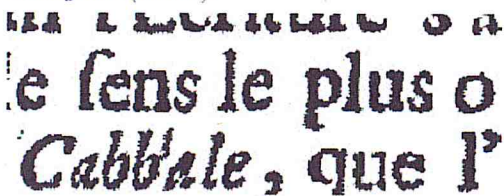
conduisent à des résultats intéressants, mais la qualité des images binaires produites dépend du document original. Un document original dégradé aboutit généralement à une image binaire de mauvaise qualité.

La binarisation échoue systématiquement sur des documents faiblement contrastés, ou lorsque les couleurs des encres et du papier ne sont pas uniformes (Fig.4.9.a). Les dégradations du support, comme l'apparition du verso par transparence sur le recto et la présence de taches d'humidité, sont conservées dans l'image binaire (Fig.4.9.b). En outre, le bruit du capteur étant plus élevé sur les zones de fortes variations d'intensité, la binarisation fait systématiquement apparaître des irrégularités aléatoires sur les contours des caractères (Fig.4.9.c). Elle modifie la topologie des formes en fonction de la résolution limitant ainsi les possibilités de segmentation des caractères et des mots (Fig.4.9.d). Les images en couleur ou en niveaux de gris sont beaucoup plus lisibles et plus facilement interprétables par une machine que les images binaires, les niveaux de gris ou la couleur apportent une information supplémentaire qui compense le manque de résolution.

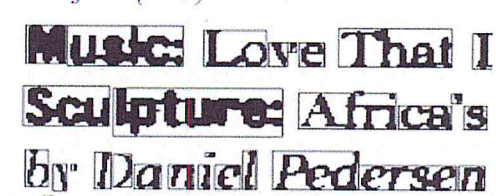


(a) Binarisation de documents en couleurs non homogènes (IRHT)

(b) Binarisation de documents dont le support est dégradé (BNF)



(c) Agrandissement des défauts visibles du bruit sur le contour des caractères dans une image binaire (Trévoux)



(d) Effet d'un manque de résolution : déformation des caractères, collage de caractères proches et division des caractères en morceaux

Figure 4.9 : Limites de la numérisation des microfilms.

4.5 Classification non-causale des dégradations [dri 07]

Les dégradations précédemment citées peuvent être classées en fonction des méthodes de restauration possibles comme suit.

4.5.1 Dégradations uniformes

Ce sont les dégradations qui affectent tout le document de façon uniforme. Elles englobent les dégradations colorimétriques ou géométriques comme l'inclinaison, les variations uniformes des couleurs ou de la luminosité ; elles regroupent les défauts issus d'une transformation globale de l'image qui peut agir uniformément soit sur la localisation des pixels (inclinaison, courbure) soit sur leurs valeurs (transformation de la couleur ou correction de la luminosité). La restauration revient, dans le cas présent, à définir la transformée inverse qui permettra de se rapprocher de l'information telle qu'elle l'était à l'origine. La restauration sera donc possible avec des méthodes globales qui appliquent les mêmes traitements sur toute l'image.

4.5.2 Dégradations non-uniformes

Par dégradations non-uniformes on entend toutes altérations qui varient suivant la position dans l'image. Il sera nécessaire d'utiliser des traitements adaptatifs. Deux sous-classes peuvent être définies en fonction de la localisation de l'information par rapport au papier ou au texte : dégradations du fond et dégradations des formes.

a) Les dégradations du fond

Les dégradations du fond (Fig4.10) se rapportent aux défauts du support papier comme les taches dues à l'humidité, au passage en transparence du verso, aux annotations et aux ajouts indésirables. Ces artefacts représentent une couche supplémentaire de bruit qui vient se superposer sur le texte original. Restaurer, revient dans ce cas à séparer les différentes couches d'informations.

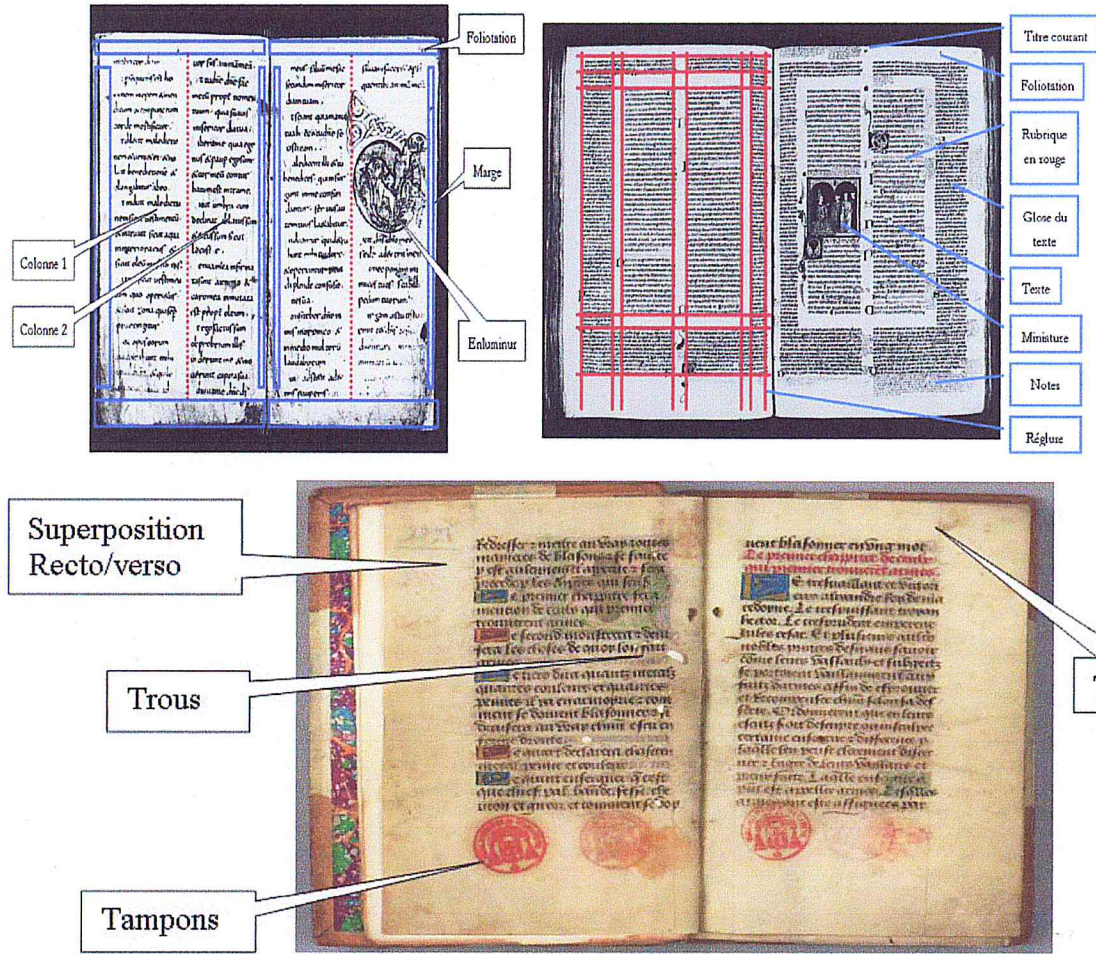


Figure 4.10 : Degradations du fond sur une image (source IRHT Institut de recherche et d'histoire des textes)

b) Les dégradations des formes

Nous appelons, dégradations de forme celles qui modifient la continuité des traits et la topologie des objets. Différentes dégradations peuvent apparaître sur les caractères : rupture des traits, caractères tronqués, vide dans les traits, fusion de caractères, effet d'escalier, etc. En outre, l'apparition des effets de transparence ou de trous risque de rendre certains caractères illisibles. Le mot de la figure 4.11 peut représenter les mots «parts», «paris» ou «parle».

Ces dégradations sont très pénalisantes pour la lisibilité des textes et pour la reconnaissance automatique des formes.

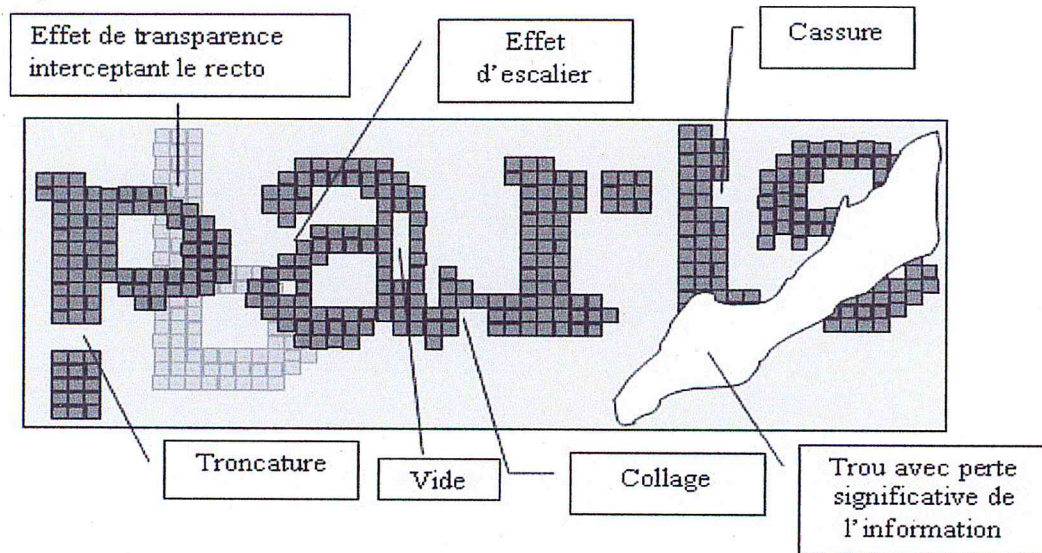


Figure 4.11 : Dégradations des formes sur une image de synthèse.

4.6 Conclusion

Nous venons de voir que les dégradations peuvent provenir de causes multiples. Nous avons montré qu'elles affectent la qualité visuelle des images et peuvent engendrer une perte significative de l'information. Nous avons mis en évidence les limites de quelques traitements (binarisation, compression) et l'impact d'un mauvais paramétrage (résolution) sur les images de documents. Compte tenu de la variété des dégradations et de leurs causes, nous avons proposé une classification qui regroupe les dégradations qui peuvent être traitées avec les mêmes méthodes.

5.1 Introduction

La restauration numérique a pour objectif de corriger les défauts causés par le processus de numérisation et la restauration virtuelle cherchant à réparer les dégradations physiques des documents.

Qu'elle soit numérique ou virtuelle, la restauration essaie toujours de retrouver l'image la plus précise et fidèle possible.

Un autre domaine très proche de la restauration est le domaine de l'amélioration des images. La frontière entre ces deux domaines demeure floue. En effet, l'amélioration et la restauration partagent des méthodes communes mais leur finalité reste différente. L'amélioration cherche à augmenter la qualité visuelle et non à retrouver l'image la plus fidèle possible. Une image fidèle au document original, nettoyée de toutes les dégradations physiques et numériques, n'est pas forcément une belle image qui offre un confort de lecture optimal. Qualité et beauté sont donc deux choses différentes.

A notre connaissance, il n'existe ni travaux abordant plusieurs dégradations ni méthodes génériques susceptibles de traiter des documents aux contenus différents.

On propose de faire le choix de classer les travaux sur la restauration suivant l'utilisation ou non de connaissances à priori. Cette classification orientée traitement est un peu moins redondante que celle basée sur la classification des types de défauts et de leur localisation sur le fond ou la forme.

5.2 type de restauration

5.2.1 La restauration physique

Elle a pour principal objectif la conservation et la sauvegarde des documents anciens ou fragiles. En effet, ce patrimoine écrit dont la valeur historique ou artistique est souvent inestimable n'échappe pas, en dépit des précautions prises, à l'usure du temps (vieillesse, modification des couleurs, porosité du papier, acidité de l'encre, humidité et variation de la température de stockage, présence d'insectes, sinistres...). La restauration physique consiste à redonner au document sa forme originale. Ce sont des méthodes de restauration physico-chimiques qui permettent de ralentir le vieillissement des documents et de renforcer les supports.

5.2.2 La restauration numérique

Elle regroupe l'ensemble des opérations de traitements informatiques qui ont pour objectif de retrouver la qualité de l'image originale avant sa dégradation par le processus de numérisation. Le traitement de l'image permet de corriger les défauts qui apparaissent lors du processus de capture d'images. Ces défauts sont notamment des défauts géométriques (inclinaison du document, courbure apparente le long de la reliure, etc.), des défauts optiques (éclairage non-homogène, netteté de l'image, etc.), des défauts électroniques (bruit et qualité du capteur), des défauts informatiques (traitements destructifs de l'image sans sauvegarde des originaux, compression avec perte, etc.) ou même des défauts extérieurs dus aux conditions de la prise d'image (présence d'éléments non-désirés, extérieurs au document). Dans ce cas précis, le traitement numérique doit être le dernier recours si on ne peut ni refaire une autre capture d'image ni améliorer les conditions de la numérisation ; il peut rarement retrouver l'information déformée par le processus de numérisation.

5.2.3 La restauration virtuelle

Elle cherche à retrouver la forme originale des documents par des méthodes de traitement des images. Elle est donc complémentaire à la restauration physique. Elle permet par exemple de retrouver la couleur d'origine, d'atténuer le verso quand il traverse le recto, de remplir les trous, d'enlever les taches ou de corriger la courbure après la restauration de la reliure. Il existe aujourd'hui une polémique sur l'intérêt de restaurer «virtuellement» les documents numérisés. Certains pensent qu'il est important de retrouver le document tel qu'il était avant les dégradations du temps, d'autres estiment qu'il faut conserver la représentation la plus fidèle possible de l'état actuel du document avec toutes les dégradations subies avec le temps ; tout dépend de l'usage que l'on fait de ces documents.

5.3 Méthodes de restauration supervisées [Dri 07]

Les méthodes dites «non-aveugles» ou supervisées sont des méthodes de restauration basées sur des connaissances a priori du contenu des documents. Elles utilisent des informations externes, fournies par l'utilisateur, qui ne peuvent pas être extraites de l'image elle-même.

Les méthodes supervisées sont très efficaces mais elles nécessitent toujours des données extérieures qui ne sont pas toujours disponibles. Par exemple, la séparation entre le recto et le verso par recalage requiert deux prises de vue séparées du recto et du verso de la même page. Ces méthodes de restauration ne sont pas suffisamment génériques pour traiter tous les types de document. En outre, la restauration des formes de caractères par l'observation de toutes les occurrences du même caractère dans la page ne fonctionne que sur des documents imprimés où les caractères peuvent être segmentés et comparés.

5.3.1 Séparation recto/verso par recalage

Le recalage a été plus particulièrement appliqué pour la suppression des marques en transparence avec la présence des deux faces du document (recto/verso associé). Le principe consiste à mettre en correspondance les deux faces d'une même page pour en extraire le texte original associé à chaque face. L'approche de Sharma [Sha 00] applique un filtre linéaire adaptatif sur les deux faces du document simultanément. Le cas de passage en transparence de l'écrit n'a pas été traité. La figure 5.1 montre le seul résultat publié par l'auteur ; il faut remarquer que les deux parties à séparer sont de natures différentes (texte et image).

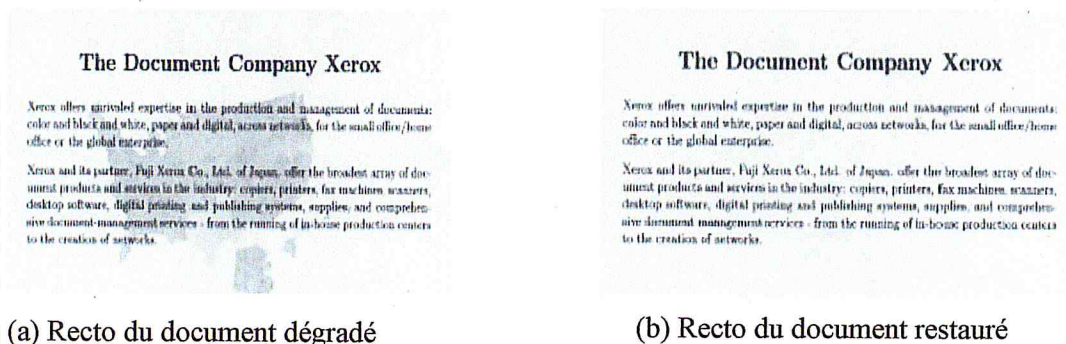
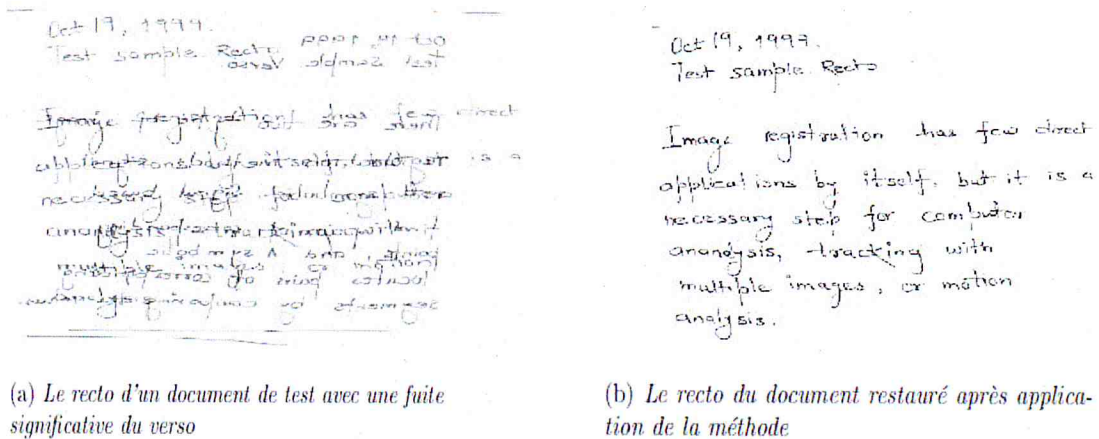


Figure 5.1 : Suppression des taches en transparence par recalage [Sha-00].

- Une autre méthode, proposée par E. Dubois et A. Pathak [Dub 01], consiste à traiter en même temps les deux faces (recto/verso) du document et à comparer les intensités des pixels du recto avec son correspondant du verso. Si l'intensité du pixel du recto est moins élevée que celle du verso, sa valeur est alors conservée. La figure 5.2 montre un exemple d'application de cette méthode.



(a) Le recto d'un document de test avec une fuite significative du verso

(b) Le recto du document restauré après application de la méthode

Figure 5.2 : Suppression des taches en transparence par recalage [Dub-01].

Certes les méthodes à base de recalage donnent de bons résultats mais leur dépendance vis-à-vis des deux faces du document limite énormément leur application ; il est nécessaire d'effectuer une mise en correspondance parfaite des deux faces ce qui n'est pas évident à mettre en œuvre quand l'image du recto est géométriquement déformée par rapport à celle du verso. Nous concevons donc l'intérêt des méthodes aveugles de séparation recto/verso qui n'utilisent qu'une seule face à la fois.

5.3.2 Séparation recto/verso par analyse de l'orientation

Certains documents sont caractérisés par des styles d'écriture très orientés. L'analyse de l'orientation s'avère donc efficace pour distinguer le texte du recto de celui du verso. Q.Wang et al. [Wan-03] proposent une analyse de l'orientation à base de la transformée en ondelettes. Le principe consiste à définir une transformée en ondelettes capable de séparer les traits suivant les directions 45° et 135° . Ainsi, le

recto va être obtenu dans l'image filtrée dans la direction 45° et le verso dans l'image filtrée dans la direction orthogonale à la première.

Néanmoins, certains détails du recto peuvent se projeter sur l'image du verso cassant ainsi les caractères. Les auteurs proposent d'extraire du document original les parties manquantes sur un certain voisinage de taille 7×7 (Fig.1). Cette approche est donc classée dans les méthodes de restauration supervisées puisqu'elle nécessite la connaissance à priori de orientations des textes du recto et du verso.

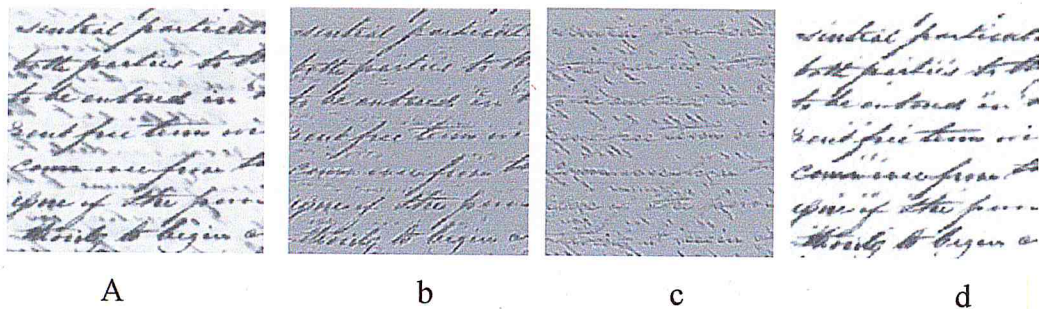


Figure 5.3 : Suppression des taches en transparence par analyse de l'orientation [Wan-03] : (a) image de test, (b) image associée à l'orientation 135° , (c) image associée à l'orientation 45° , (d) image restaurée de (a)

5.3.3 Séparation recto/verso par analyse des formes

[Wol 06] propose une méthode aveugle de séparation entre le recto et le verso basée sur une régularisation de la segmentation par les champs de Markov. La segmentation utilise une approche Bayésienne probabiliste pour classer les pixels du verso qui appartiennent aussi au recto. Cette séparation entre le recto et le verso n'utilise pas d'information sur la couleur ou sur les niveaux de gris. Les champs de Markov capturent la distribution spatiale des pixels et prédisent la configuration la plus probable à partir d'une configuration initiale donnée par la segmentation. Ils tendent à régulariser la segmentation pour préserver la continuité des traits du recto qui croisent ceux du verso (Fig.5.4).

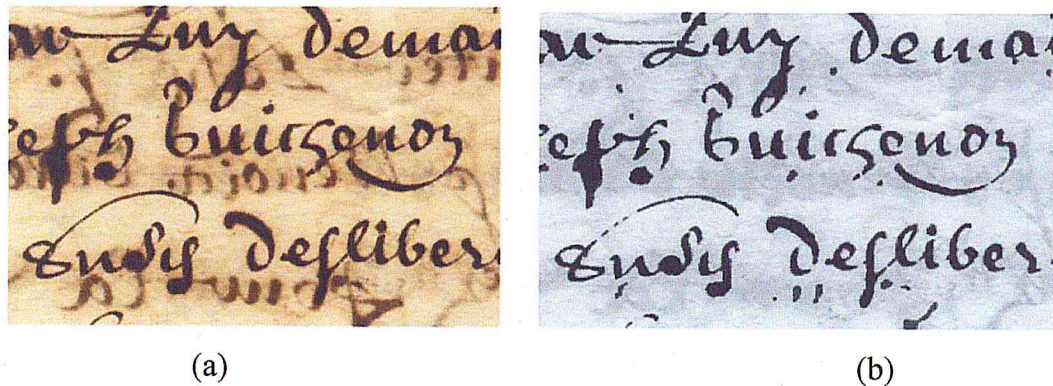


Figure 5.4 : (a) Image d'origine, (b) Image finale de recto séparée du verso [Wol-06]

5.3.4 Séparation recto/verso par analyse de la couleur

La séparation recto/verso par analyse de la couleur d'E. Smigiel [Smi-04] utilise une carte de Kohonen pour résoudre le problème de suppression des taches en transparence. Il détermine une classification des pixels en quatre classes (fond, texte, texte coloré et texte du verso). Cette approche nécessite une fastidieuse phase d'apprentissage sur une portion représentative d'une page. La classification ne marche pas si la luminance varie sur une même page ou d'une page à l'autre. Les performances de la séparation par classification dépendent donc de l'apprentissage.

- U. Garain [Gar 06] propose de séparer le recto du verso par une approche classique de segmentation en régions de couleur qui sont ensuite agrégées suivant des règles prédéfinies.

Le résultat montre un effet de mosaïque autour des régions agrégées et présente de nombreuses fragmentations des traits. De plus, cette approche échoue sur l'image de référence (Fig 1).

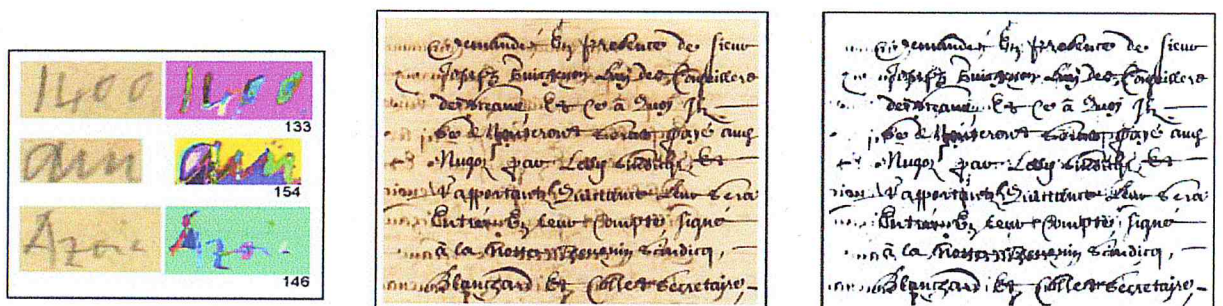
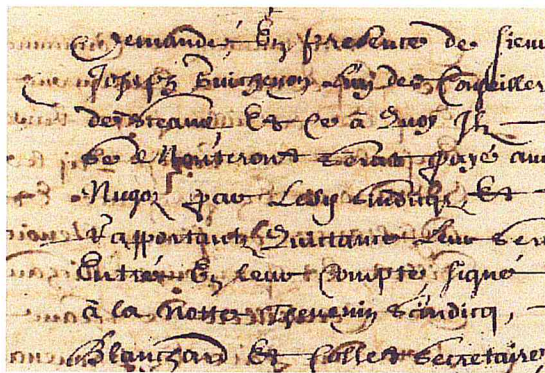
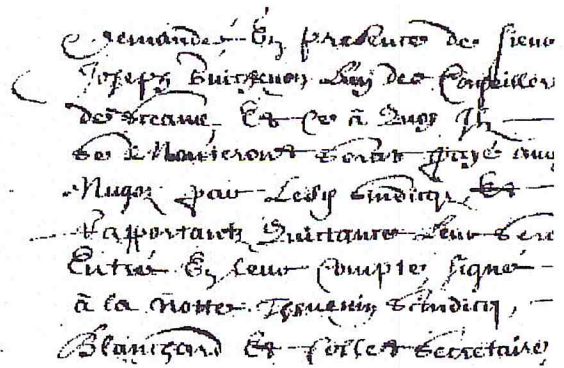


Figure 5.5 : Séparation recto/verso par segmentation et agrégation de régions couleurs : Résultats de la sur-segmentation en régions, image dégradée et restaurée par [Gar 06]

- La méthode de segmentation d'images couleurs d'Y. Leydier [Ley 04] est basée sur la sérialisation de l'algorithme des nuées dynamiques ; elle donne de bons résultats pour la séparation recto/verso (Fig.5.6). Il s'agit d'une classification automatique des couleurs sur une fenêtre glissante parcourant toute l'image. Durant le déplacement de la fenêtre, l'algorithme adapte automatiquement les centres des classes au contexte local. Cette approche permet donc de combiner les avantages d'une segmentation par classification et les méthodes de segmentation adaptatives classiques que l'on trouve dans le domaine du document. Son principal inconvénient réside dans la détermination manuelle du nombre de classes et des couleurs pour chaque classe. C'est donc une approche efficace mais entièrement supervisée qui nécessite l'intervention de l'opérateur pour chaque document.



(a)



(b)

Figure 5.6 : Application de l'approche de [Ley-04] : (a) Image originale (b) Résultat pour $K=2$, le nombre de classes

5.3.5 Restauration des formes par modèle

Certaines contributions pour la restauration des formes se sont orientées vers la définition de modèles reflétant plus ou moins fidèlement ces dégradations. Cependant, aucun modèle suffisamment générique pour décrire toutes les distorsions possibles n'a jamais été publié [Bai 00]. On peut citer, à titre d'exemple, le modèle de défaut proposé dans [Bai 93, Bai 92], modèle qui inclut un certain nombre de paramètres, à savoir, la taille du texte, la résolution, la translation, la rotation, le

changement d'échelle, le défaut de jet d'encre. Les différents paramètres pris en compte sont essentiellement reliés aux conditions de numérisation de la page.

- Un autre modèle de dégradation, proposé par Kanungo [Kan 94, Kan 00], suppose que les probabilités d'altération des formes ne dépendent que de la distance à leur frontière et suivent une loi normale. Ils simulent certains défauts, comme le flou, dus à l'impression et la numérisation, par des opérations de fermeture morphologique.
- Zhang et Kanungo [Zha 01] proposent d'utiliser un modèle de dégradation défini à partir de la numérisation d'une image idéale de caractères. Ce modèle est basé ainsi sur les paramètres extraits de l'image dégradée produite. Baird élabore dans [Bai-92] un modèle de dégradation utilisé pour entraîner un logiciel de reconnaissance optique de caractères et donc améliorer ses performances.

La restauration par modèle conduit en général à des résultats intéressants. Mais, elle exige des hypothèses de déformation homogène sur l'ensemble de la collection. Ces hypothèses figées ne restent applicables que pour des conditions très particulières d'acquisition.

Une simple modification des conditions prises en compte (changement de la résolution ou de la taille du texte, mauvais positionnement de la page sur le scanner) met en échec tout le modèle proposé.

- [All 03] propose la restauration des caractères cassés par contour actif (snake). Cette restauration consiste à faire évoluer un contour actif, guidé par le modèle d'une lettre entière, sur la lettre cassée (Fig 2). Cette réparation ne peut avoir lieu que si l'on dispose du modèle de lettre à réparer et si la lettre possède une topologie simple. Ces limites rendent cette approche difficilement exploitable en conditions réelles. De plus, cette méthode nécessite une segmentation en caractères et une recherche de la forme entière à partir de la forme cassée.

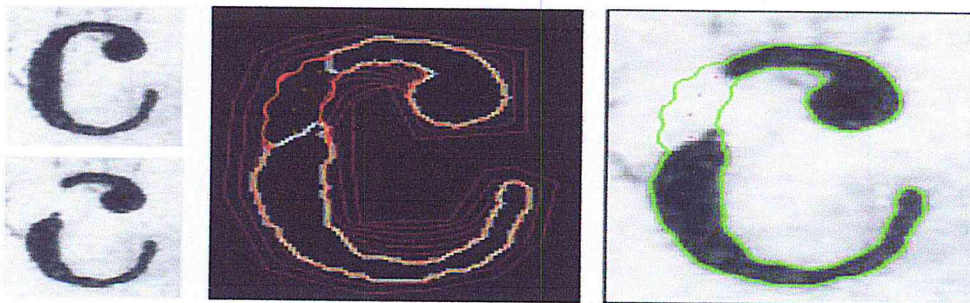


Figure 5.7: Principe de la restauration d'une lettre cassée par les contours actifs [All 03]

5.3.6 Restauration des formes par prototypage

Le prototypage est l'opération qui consiste à collectionner toutes les formes similaires d'une page. On l'applique généralement aux caractères d'un document imprimé. À partir de la superposition de toutes les formes dégradées d'une même lettre, on construit le modèle de la forme idéale de la lettre. La figure 1 montre différentes occurrences dégradées du caractère «e». Malgré les différences générées par les dégradations partielles, pour les trois premières occurrences, la structure est bien préservée. Toutefois, la structure n'est plus préservée avec les autres occurrences.

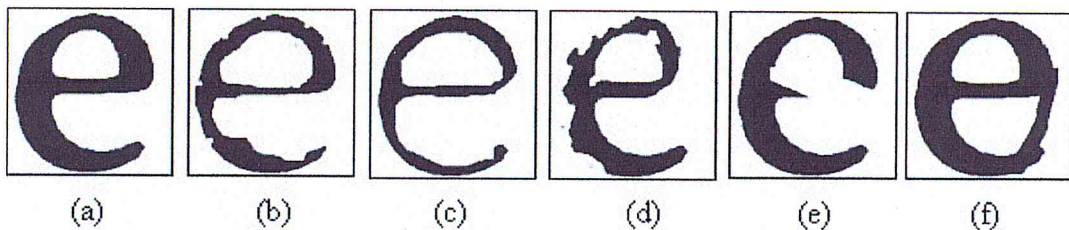


Figure 5.8 : Cas de dégradations de la lettre «e» : (a) caractère idéal ; (b),(c) et (d) caractères dégradés avec structure du «e» conservée, (e) et (f) caractères dégradés avec structure confuse : (e) «e» ou «c», (f) «e» ou «o»

- Hobby et Baird [Hob 97] proposent une technique de restauration basée sur l'interpolation du caractère idéal en utilisant le principe du prototypage. Le principe consiste à superposer plusieurs occurrences du caractère dégradé et à moyenner l'image résultante pour obtenir une approximation de l'image idéale du caractère. Chaque type de caractère dans le document sera ensuite substitué par son prototype (Fig.5.9).

So, we find special | So, we find special
term rewriting for | term rewriting for

Figure 5.9 : Restauration par prototypage des formes dégradées de lettres

Cette méthode reste confrontée aux problèmes de la bonne définition d'une similarité de formes pour le prototypage et de l'application de la segmentation. Elle ne reste efficace que pour des documents imprimés qui contiennent de faibles dégradations n'affectant pas la structure générale des formes des caractères ; elles peuvent alors améliorer les taux de reconnaissance des logiciels d'OCR. Mais, cette méthode ne peut pas s'appliquer aux documents manuscrits. En outre, elle ne permet pas de retrouver les parties irrégulières comme les formes anguleuses (Fig.5.10).

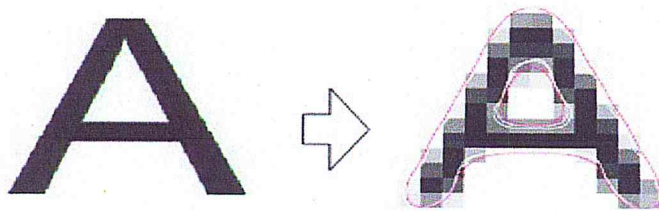


Figure 5.10 : Limite d'une restauration par prototypage.

5.3.7 Restauration géométrique de la courbure

La numérisation de livres volumineux reliés fait souvent apparaître des défauts géométriques, notamment l'apparition de la courbure à proximité de la reliure du livre : un traitement est alors nécessaire pour rendre le document lisible (Fig 5.11). Plusieurs solutions ont été proposées pour réaliser la mise à plat de l'image du document après les corrections géométriques. Certaines méthodes utilisent une analyse en deux dimensions de l'orientation des traits ou des lignes de texte, d'autres sont basées sur une analyse en trois dimensions permettant de construire le relief à partir de l'analyse de la réflexion de la lumière.

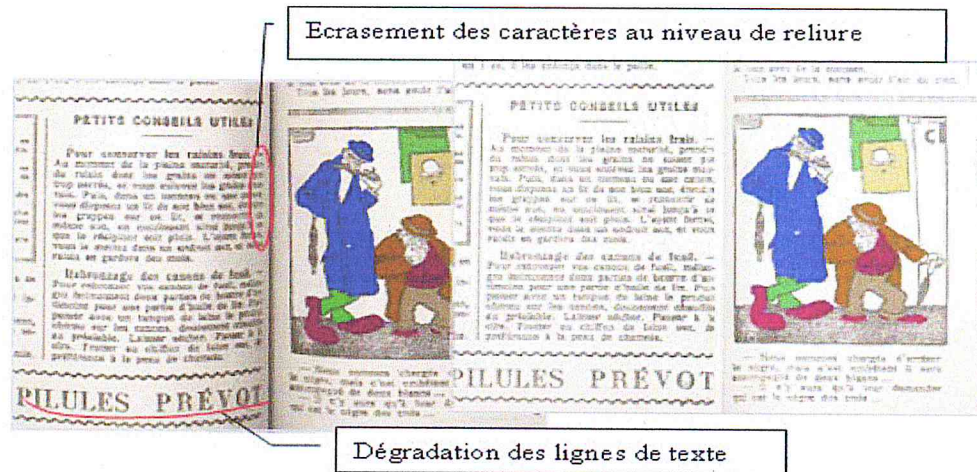


Figure 5.11 : Défauts géométriques de la photographie d'un livre ouvert à gauche et sa version restaurée à droite (source I2S).

➤ Restauration par un modèle 2D

Les méthodes de restauration de la courbure basées sur un modèle 2D procèdent en deux étapes : calcul de la courbure et traitement géométrique pour la corriger.

Le calcul de la courbure peut être fait à partir des lignes de textes [Wu-02, Cao-03, Zha 03] ou par extrapolation des bords de la page [Tak 01, Hir 01]. Q. Zheng [Zhe 01] propose une correction basée sur une analyse des lignes et des mots de l'image. E. Trinh [Tri 03] combine l'analyse de la courbure des lignes de textes et des bords des pages et obtient un résultat final de meilleure qualité. Sa méthode a contribué à l'élaboration du logiciel Book Restorer de la société I2S.

La modélisation 2D utilise les propriétés d'un document textuel (parallélisme et espacement vertical constant des lignes de texte au sein d'un même paragraphe) afin d'estimer la mise à plat du document. Elle sera limitée pour la segmentation des lignes de textes des documents dégradés [Bou 06] ou des manuscrits pour lesquels les alignements ne sont pas naturellement horizontaux. En outre, les dégradations du fond comme la présence de taches ou le passage du verso sur le recto complexifient les opérations de segmentation des lignes de texte.

5.4 Méthodes de restauration non-supervisées [Dri 07]

5.4.1 Restauration du recto/verso par séparation de sources

Les taches, qui viennent se superposer sur le texte original du recto, ont généralement une couleur différente qui les distingue du texte original. Nous pouvons ainsi modéliser ces taches par des couches supplémentaires. La séparation de sources permet de séparer ces différentes couches d'information.

- Tonazzini et al. [Ton 04] proposent, dans ce contexte, une approche utilisant l'Analyse en Composantes Indépendantes (ACI) [Hyv-99a] et plus particulièrement l'algorithme de FastICA [Hyv-99b] pour faire une séparation aveugle du recto et du verso. Cette approche ne nécessite ni l'information du verso, ni un modèle, ni un apprentissage. C'est donc une approche très intéressante du point de vue de l'utilisateur. Cette méthode résout le problème de transparence pour quelques images de documents dégradés (s'agissant le plus souvent d'images de synthèse). Cependant, les résultats associés à des images réelles de document restent bien modestes (Fig 5.12).

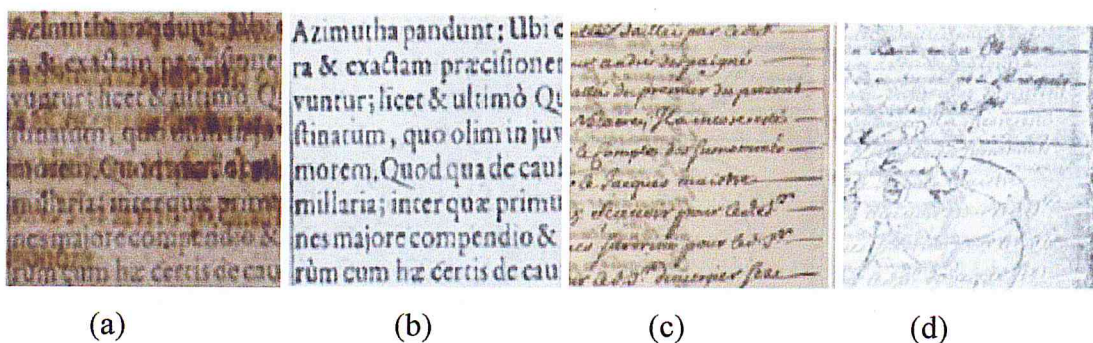


Figure 5.12 : Suppression des taches en transparence par analyse de la couleur [Ton-04] : (a) image de synthèse, (b) image restaurée de (a), (c) image réelle, (d) image restaurée de (c)

5.4.2 Restauration des formes par morphologie mathématique

La restauration des formes par morphologie mathématique est possible pour les petites dégradations qui concernent quelques pixels seulement. Les opérations de dilations et d'érosions conditionnelles permettent de réparer les ruptures de traits et de combler les trous [Bre 03] (Fig 5.13).

- Wichello et Yan [Whi-96] combinent la méthode de restauration par morphologie avec un suivi de contours. L'objectif consiste essentiellement à rétablir une certaine continuité des contours dégradés. Le suivi de contours, fait à l'aide de masques de tailles variables, autorise la connexion des parties du caractère dans une direction privilégiée ; en revanche, il risque de relier les éléments qui ne devraient pas l'être s'ils ont une distance inférieure à la taille du masque.

Ce problème a été résolu par Yu et Yan [Yu-01] qui ajoutent l'information sur la distance entre deux composantes connexes. Par ailleurs, cette proposition, testée pour des chiffres manuscrits cassés, fait appel à des critères de décision figés qui limitent son caractère générique. La définition de critères de décision a été également proposée par Shi et Govindaraju [Shi-96] pour la restauration des chiffres imprimés et manuscrits. Le principe consiste à voir pour un pixel donné la possibilité de le faire appartenir à un contour ou à un segment noir proche. Cette méthode présente l'avantage de ne pas modifier l'épaisseur des traits. Toutefois, les améliorations apportées dépendent de la taille de la fenêtre utilisée. La restauration par morphologie mathématique permet donc de remplir les vides et/ou de corriger les ruptures des traits ; cependant, elle n'est applicable que sur un petit voisinage du caractère et ne prend pas en compte des informations structurelles ou globales de la forme. En outre, la morphologie mathématique, par sa définition même, ne présente aucune précision sous-pixéllique. La taille de la fenêtre est toujours un nombre entier, ce qui n'est pas toujours le cas lors de la manipulation de traits plus ou moins fins. Enfin, les méthodes de restauration proposées restent très modestes et manquent même d'une évaluation objective des performances.

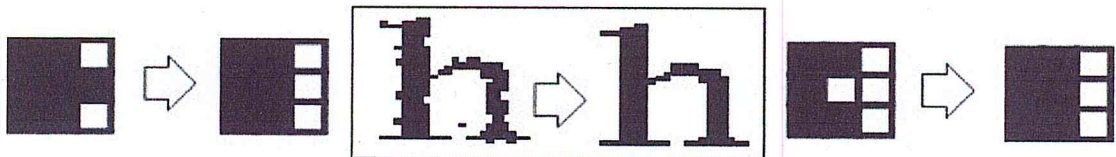


Figure 5.13 : Effets des opérateurs morphologiques sur les images binaires.

5.4.3 Restauration Colorimétrique

Toute chaîne de numérisation est exposée à deux types de dégradations que ce soit d'une source externe ou interne [Tsi-03]. Le support à numériser peut influencer sur la réflexion de la lumière. Les contraintes physiques impliquées par la reliure engendrent des dégradations photométriques. Nous observons alors une diminution des intensités lumineuses autour des courbures.

- E. Trinh[Tri 03] propose une méthode de correction des modifications de la couleur et de la luminosité près de la reliure à partir du calcul du profil de l'éclairage.

Ce profil utilise l'histogramme de chrominance et de luminosité de toute l'image et des colonnes.

Dans le cas d'un changement d'illumination interne ou externe à la source émettrice, il s'avère primordial d'appliquer un prétraitement global identique sur tous les pixels de l'image.

Changement de la valeur de luminance, correction gamma et recalage d'histogramme peuvent être des solutions pour résoudre ce problème et améliorer les couleurs de l'image. Certaines dégradations photométriques ont tendance à accentuer un ton par rapport à un autre. Pour remédier à ce problème, il suffit de supprimer la tonalité dominante et de mettre en place un équilibrage pour les couleurs [Gas 03]. Toutefois, ce traitement doit conserver la balance des couleurs de l'ensemble de l'image pour ne pas en perdre les détails. Une solution simple pour résoudre ce problème consiste à accentuer les contrastes en général. Le contraste est une propriété intrinsèque à une image qui permet de quantifier la capacité de distinguer deux régions distinctes (Fig.5.14).

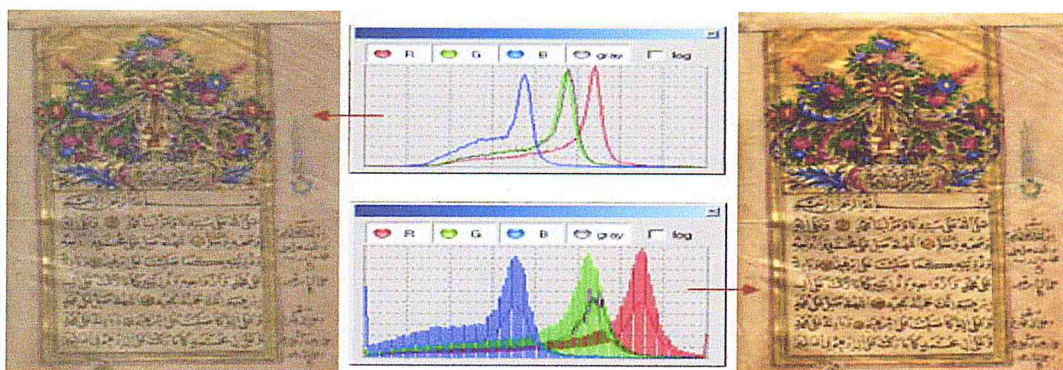


Figure 5.14 : Restauration de la dégradation colorimétrique par ajustement du contraste.

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressées à différentes approches de restauration proposées dans la littérature. On a étudié des différentes techniques selon le problème étudié. On a pu retenir que les dégradations posent encore de vrais problèmes qui ne sont pas encore résolus.

On a aussi constaté que les méthodes de restauration non supervisées étaient beaucoup plus rares que les méthodes supervisées reposant sur un modèle ou sur des connaissances a priori. Toutefois, les dégradations sont généralement des phénomènes aléatoires difficilement prévisibles.

Chapitre 6
Proposition de la méthode

6.1 Introduction

Les ouvrages anciens conservés dans les bibliothèques forment une grande partie de notre patrimoine culturel et scientifique. Ces manuscrits encourent une dégradation progressive et sont menacés d'un réel danger de disparition. Le traitement automatique de ces documents en vue de leur restauration/exploitation offre un avantage certain, mais il est confronté à de nombreuses difficultés dues au mauvais état de conservation de ces manuscrits et à la complexité de leur contenu. En effet, les documents anciens possèdent de nombreuses particularités qui invalident les algorithmes de segmentation couleurs classiques.

6.2 Méthodologies étudiées et testées

La méthodologie adoptée dans ce chapitre permet d'améliorer la qualité des images de documents arabes anciens qui présentent des irrégularités dues à leur mode artisanal de fabrication ainsi qu'à l'effet de vieillissement et de dégradation.

Pour ce faire, deux étapes indispensables doivent être réalisées à savoir le prétraitement et la restauration. Ces étapes permettent d'éliminer les annotations, les taches de bord et les cachets des pages de manuscrits.

6.2.1 Le prétraitement

Le prétraitement des images est réalisé pour améliorer la qualité de documents. Les prétraitements les plus connus sont : modification des caractéristiques visuelles, luminosité, seuillage... Dans le cadre de notre étude nous nous sommes intéressés aux améliorations de luminosité et au seuillage

6.2.1.1 Amélioration de la luminosité

L'effet de luminosité est donné par la formule suivante :

$$\text{TAUX} = (\text{TX} * 256) / 100$$

$$S = (\text{R}_{\text{ancien}} + \text{V}_{\text{ancien}} + \text{B}_{\text{ancien}}) / 3 ;$$

$$\text{R}_{\text{nouveau}} = \text{R}_{\text{ancien}} + (S * \text{TAUX}) / 256 ;$$

$$V_{\text{nouveau}} = V_{\text{ancien}} + (S * \text{TAUX}) / 256 ;$$

$$B_{\text{nouveau}} = B_{\text{ancien}} + (S * \text{TAUX}) / 256 ;$$

Tel que :

TX : est le quotient de l'intensité lumineuse.

R_{ancien}, V_{ancien}, B_{ancien} : sont les composantes rouge, vert et bleu respectives de l'image d'origine.

R_{nouveau}, V_{nouveau}, B_{nouveau} : sont les composantes rouge, vert et bleu respectives de l'image résultat de l'amélioration de luminosité.

6.2.1.2 Seuillage

Pour réaliser le seuillage de l'image il est indispensable de calculer l'histogramme de celle-ci et de la convertir en niveau de gris.

a) Conversion de l'image en niveau de gris

Il existe plusieurs méthodes qui permettent de convertir une image en couleur en une image de niveau de gris. Nous avons choisi pour cette étape l'espace couleur YIQ, qui a été adopté en premier par le NTSC (national television system committee) et qui a été défini en chapitre 1 :

$$\left\{ \begin{array}{l} Y = 0.2992 R + 0.5868 V + 0.1140 B \\ I = 0.5960 R - 0.2472 V - 0.3219 B \dots\dots\dots 1 \\ Q = 0.2109 R - 0.5229 V + 0.3120 B \end{array} \right.$$

L'algorithme suivant a été appliqué :

- Pour tous les pixel de l'image $I(x,y)$
 - Dans la nouvelle image, le pixel courant i de coordonnée $I(x,y)$ est remplacé par :
 - $I'(x,y) = 0.299 * c_r + 0.587 * c_v + 0.114 * c_b$;
- Fin pour

Tel que : $I'(x,y)$: Niveau de gris pour un pixel donné.

c_r : l'espace rouge de pixel donné.

c_v : l'espace vert de pixel donné.

c_b : l'espace bleu de pixel donné

b) L'histogramme

L'histogramme permet de fournir effectivement une estimation de la densité de probabilité des valeurs des pixels sur l'image observée.

L'algorithme de calcul de l'histogramme est le suivant :

```
Fonction Histogramme (Entrée : TableauPixel : tableau, Sortie Tab : tableau) ;  
Debut  
  Pour i=0 a n  
    Tab[Tableaupixel [i] ] := Tab[TableauPixel[i]]+1 ;  
Fin
```

Tel que :

Tableau pixel : est un tableau contient les niveaux de gris des pixels ;

N : est le nombre de pixels ;

Tab [1,.....,256] : est le tableau de sortie ;

c) Seuillage

Méthode d'Otsu

Dans la méthode d'Otsu, le seuil qui minimise la variance intra-classe est recherché à partir de tous les seuillages possibles :

$$\sigma_w^2(t) = \omega_1(t)\sigma_1^2(t) + \omega_2(t)\sigma_2^2(t) \dots\dots\dots 2$$

Les poids ω_i représentent la probabilité d'être dans la i ème classe, chacune étant séparée par un seuil t . Finalement, les σ_i^2 sont les variances de ces classes.

Otsu montre que minimiser la variance intra-classe revient à maximiser la variance inter-classe:

$$\sigma_b^2(t) = \sigma^2 - \sigma_w^2(t) = \omega_1(t)\omega_2(t) [\mu_1(t) - \mu_2(t)]^2 \dots\dots\dots 3$$

Qui est exprimée en termes des probabilités de classe ω_i et des moyennes de classes μ_i qui à leur tour peuvent être mises à jour itérativement. Cette idée conduit à un algorithme efficace.

Algorithme d'Otsu

- On balaie toutes les valeurs de seuil possible T
- Pour chaque seuil T on calcule les moyennes et les variances de chaque classe
 - On s'intéresse à la variance intra classes
 - Moyennes : μ_1 et μ_2
 - Variances : σ_1 et σ_2
 - Variance Intra – classes : $\sigma_w = P1.\sigma_1 + P2.\sigma_2$
 - Le seuil optimal est celui qui donne σ_w minimum

Tel que :

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{T-1} (h(i) - \mu_1)^2$$

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{256 - T} \sum_{i=T}^{255} (h(i) - \mu_2)^2$$

$$\mu_1 = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{T-1} h(i) \quad P_1 = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=0}^{T-1} h(i)$$

$$\mu_2 = \frac{1}{256 - T} \sum_{i=T}^{255} h(i) \quad P_2 = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=T}^{255} h(i)$$

6.2.2 Restauration

Notre approche pour la restauration se présente en deux étapes primordiales :

La segmentation et la classification.

La segmentation permet de diviser l'image en objets. Ces objets peuvent être un texte significatif, des taches, des annotations, des cachets ou tout autre type de dégradation. Ainsi, l'étape qui suit la segmentation doit être de classer ces objets pour les garder ou les éliminer.

Lors de notre étude, plusieurs méthodes de segmentation et de classification ont été découvertes. Nous en avons choisi quelques unes que nous avons testées pour pouvoir choisir celle qui répond le mieux à nos objectifs.

6.2.2.1 Segmentation

a) segmentation par k-moyennes

➤ principe :

Le principe de la méthode des K-moyennes consiste au début, à choisir un représentant ou un centre pour chaque classe. Ces centres initiaux sont généralement choisis au hasard.

Une procédure itérative permet de les mettre à jour jusqu'à stabilisation. Une telle procédure a pour objectif de minimiser la variance inter-classe définie par :

$$I = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} D_E(x_{ij}, c_j) \dots\dots\dots 4$$

Où K est le nombre de classes, C_j le représentant de la classe j, n_j le nombre des points x_{ij} de l'image appartenant à la classe j et D_E la distance Euclidienne.

La minimisation de ce critère est en fait un problème d'optimisation par descente de gradient. Essayons de mieux expliciter le principe pour le cas particulier d'une dimension ou d'un nombre d'attributs pour chaque point de l'image égal à 1. Étant donnée une partition initiale formée de K classes, le problème se formule en tant que calcul des centres c_j des différentes classes qui minimisent le critère donné par l'équation 4. Ces centres sont définis par :

$$c_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij} \quad \forall j = 1, \dots, K \dots\dots\dots 5$$

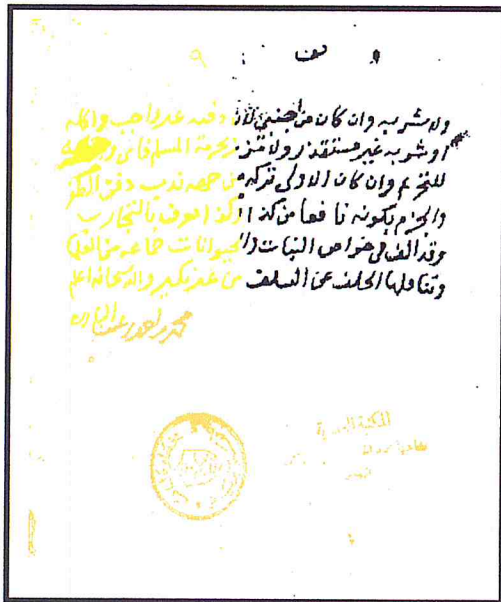
L'équation 5 prouve que les centres C_j ne sont autres que les centres de gravités des différentes classes. La nouvelle classification des couleurs est obtenue en affectant à chaque point de l'image le centre de gravité qui lui est le plus proche. Si la nouvelle distribution est égale à la précédente, alors on atteint une situation de convergence où les centres sont fixes et l'algorithme s'arrête. En cas de différence entre les deux partitions, il faut reprendre le calcul des centres C_j .

➤ **Algorithme :**

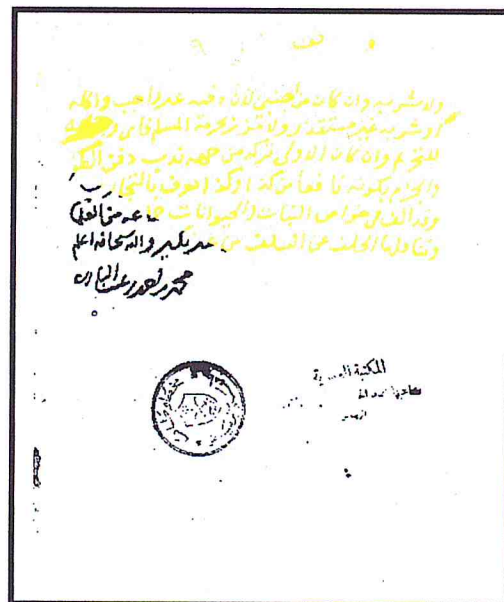
- Paramètre : le nombre de K groupe (K=le nombre de groupe que l'on veut segmenter)
- 1- Choisir K centres initiaux C_1, C_2, \dots, C_k (choisir k vecteur aléatoirement)
 - 2- Pour chaque pixel affecter un groupe dans le centre de C_i est le plus proche (la distance euclidienne minimale entre chaque pixel et le centre)
 - 3- Si aucun élément ne change pas dans le groupe alors arrêter et sortir les groupe
 - 4- Calculer les nouveaux centres pour tous les clusters, C_i est la moyenne des éléments du groupe
 - 5- Aller en 2

➤ **Résultat expérimentaux :**

Après avoir appliqué l'algorithme k-moyennes on a obtenu les résultats suivant sur nos manuscrit :



K=3(3 classe)



K=2(2 classe)

Figure 6.1 : résultats de segmentation de k-moyennes

➤ Critiques :

Après avoir vu les résultats de l'algorithme k -moyennes on soulève les points négatifs suivants :

- Difficulté dans le choix de la classe K : étant donné que nous faisons une segmentation par rapport au texte, taches, annotations et cachet, il faut choisir le nombre exact de K qui sera différent pour chaque type de document manuscrit.
- Difficulté dans le choix du critère de segmentation :
 - a) par la couleur des pixels.
 - b) par la densité des pixels.
 - c) par la distance des pixels.
- Le temps d'exécution de l'algorithme est trop long.

b) Segmentation par k -plus proche voisins :**➤ Principe :**

L'algorithme des k -plus proches voisins est un des algorithmes de segmentation les plus simples. Le seul outil dont on a besoin est une distance entre les éléments que l'on veut segmenter qui sera dans notre cas les pixels.

La première étape consiste à débiter avec un point (ou m points) et à classer chaque nouveau point dans la classe la plus représentée chez ses k (de l'ordre de 3 à 5) plus proches voisins (il ne s'agit donc pas de trouver les classes, ce qui est un vrai problème d'apprentissage, mais de classer de nouveaux candidats).

➤ **Algorithme :**

- 1-calcul de K nombre de pixel le plus proche voisins de I
- 2- pour chaque individu $X_i \in M[i]$ chercher les pixels les plus proches voisins X_j
- 3- ajouter pixel X_j a la classe $C(i)$
- 4- pour chaque pixel $X_j \in C(i)$ aller à l'étape 2
- 5-fin

Tel que X_i : le pixel de couleur noir

X_j : le pixel le plus proche voisin

$C(i)$: la classe qui contient tous les pixels X_j les plus proche voisins de pixel X_i .

➤ **Résultats expérimentaux**

Après avoir appliqué l'algorithme k-plus proche voisins on a obtenu les résultats suivant sur nos manuscrit :

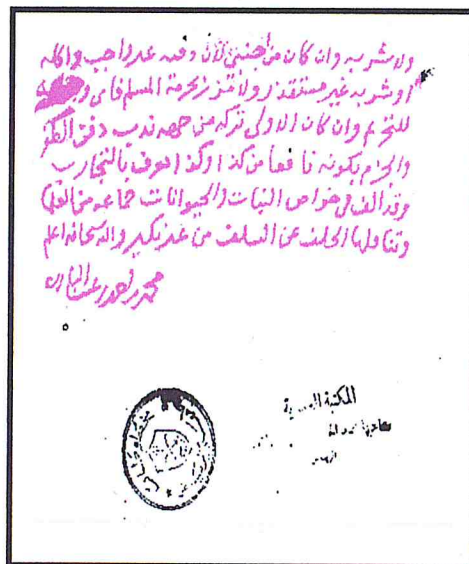


Figure 6.2 : résultats de segmentation k-plus proche voisins.

➤ **Critiques :**

Après avoir vu les résultats de l'algorithme k-moyennes on soulève les points suivants :

- La segmentation de l'image manuscrite est bien réussie à 90 %.
- Le temps d'exécution de l'algorithme est plus rapide que k-moyennes.

6.2.2.2 Classification

a) Classification par reconnaissance des formes avec le réseau de neurone

➤ **principe**

Pour éliminer les cachets et taches, la classification à base de réseau de neurone nous a semblé une solution intéressante. Celle-ci permet de classer les objets de l'image en 3 classes les cachets, les taches et le reste. Les cachets et les taches sont ensuite éliminés.

Le principe de la classification à base de réseaux de neurone est le suivant :

Calculer les descripteurs : dans ce cas les descripteurs sont :

Concave : signifie une forme arrondie à l'intérieur.

Convexe : signifie une forme arrondie à l'extérieur.

Après avoir calculé les descripteurs, une base d'apprentissage sera créée composée de descripteurs de plusieurs exemples de cachets et taches.

La méthode du réseau de neurone discriminant repose donc sur l'utilisation d'un unique réseau de neurones donnant en sortie la classe d'appartenance (dans notre cas les cachets et taches) de l'objet calculé à partir de ses probabilités d'appartenance. Il est composé d'une couche d'entrée, d'une couche cachée et de N sorties pour autant des objets à discriminer.

➤ Critiques :

Après l'analyse de cette approche nous déduisons ce qui suit :

- Dans le cas où le cachet est dégradé, il existe une grande probabilité qu'il ne soit pas reconnu dans la base d'apprentissage.
- Dans le cas où le cachet est sous forme d'écriture on ne peut pas le détecter comme un cachet.

Voici les exemples de cachet :

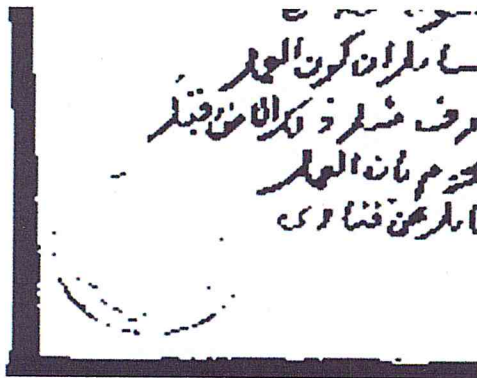


Figure 6.3: cachet rond dégradé

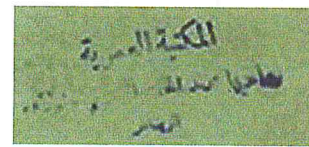


Figure 6.4 : cachet sous forme d'écriture.

b) Classification par analyse de l'orientation :

➤ Principe

Algorithme d'Avila et Lins [Bru 05]

Pour les annotations sur un manuscrit l'algorithme de Avila possède la particularité d'être capable de détecter une orientation quelconque (de 0° à 360°).

La première étape regroupe les différents pixels de l'image en blocs, principalement en blocs encadrant les lettres de l'image.

A chaque bloc, on associe ses plus proches voisins, qui vont donc naturellement être les autres lettres d'une ligne. Une fois les ensembles de blocs obtenus, on en déduit l'orientation du texte.

➤ **Critiques :**

- L'orientation du texte et annotation dans un manuscrit ne sont pas toujours identiques.

c) Classification par calcul de poids

➤ **principe**

On propose une méthode de calcul de poids des objets segmentées pour les classifier, puisque c'est bien évident que dans une page manuscrite le texte est beaucoup plus grand que les taches, les cachets et les annotations, donc on prend seulement le poids maximum et on élimine le poids minimum

➤ **Algorithme**

- 1- pour chaque classe calculer le poids des pixels.
- 2-éliminier le poids de valeur minimum.

Tel que :

Le poids : est le nombre de pixel dans un segment respectivement un objet.

➤ Résultat expérimentaux

Voici les résultats que nous avons obtenus sur des images de manuscrit réelles :

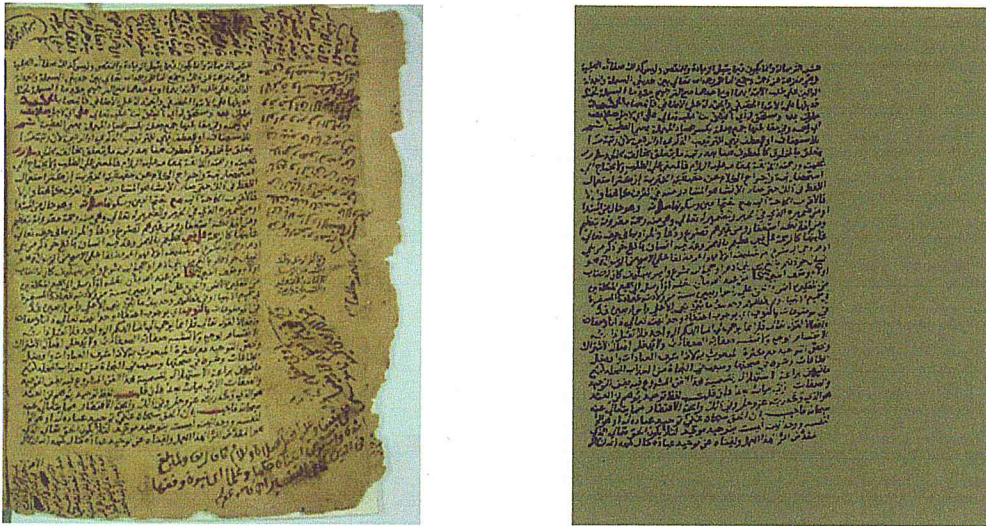


Figure 6.5 : résultat de classification par la méthode de calcul de poids.

➤ Critiques :

- Temps d'exécution un peu long mais il peut être rapide avec la nouvelle génération de processeur I3.
- Résultat fiable et réussie a 90 %.

6.3 Méthodologie choisie

Après l'analyse de toutes les méthodes citées nous avons opté pour la solution suivante:

- Application de chaine de prétraitement luminance et seuillage otsu.
- Segmenter avec la méthode k-plus proche voisin.
- Classifier avec la méthode de calcul de poids.

6.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté différentes méthodes de restauration de l'image manuscrite arabe en 3 phases : un prétraitement sur l'image, une segmentation et une classification.

On a pu arriver à un résultat satisfaisant avec des méthodes simples qui peuvent même être optimales.

Chapitre 7
Implémentation

7.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter et expliquer les différentes étapes de conception et réalisation de notre application.

7.2 Environnement matériel et logiciel

L'implémentation de notre application a été faite sur une machine de type intel pentium dual core de fréquence 2.2 GHZ doté de RAM de 2 GB et un disque dur de 250 GB et elle sera plus performante sur une configuration encore plus performante.

Pour le système d'exploitation, nous avons porté notre choix sur l'environnement Windows, car sa structure nous offre plusieurs avantages notamment la facilité de manipulation des images et des fichiers. Et pour le langage de programmation nous avons choisi le java eclipse.

7.3 Base d'image de documents

Afin de tester et évaluer notre méthode, nous avons préparé une base d'images de documents arabes anciens de différents types manuscrits. Ils ont été numérisés à l'aide d'un scanner professionnel et d'un appareil photo numérique de haute résolution. La résolution utilisée est en 300 DPI. Ces images sont stockées en vraie couleur de 24 bits dans un fichier BMP(image bitmap).

7.4 Organigramme de notre application

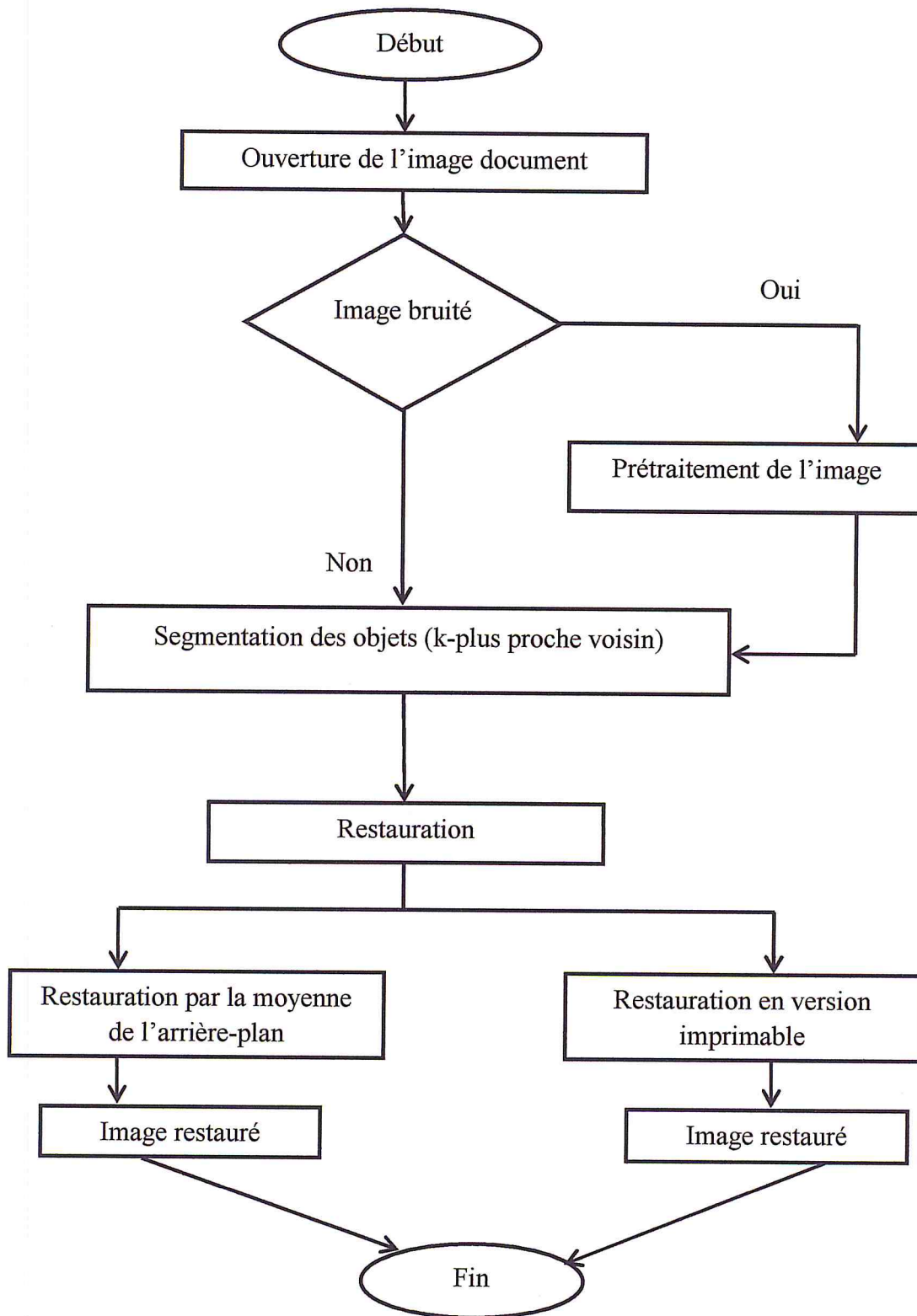


Figure 7.1 : Organigramme de l'application.

7.5 Présentation du logiciel

Notre logiciel a pour but de réaliser une restauration des documents manuscrits arabes et anciens.

La fenêtre principale comporte les composants de base de notre application (menu principale, barre d'outils, et zone d'affichage...).

L'interface de logiciel est définie par la figure suivante :

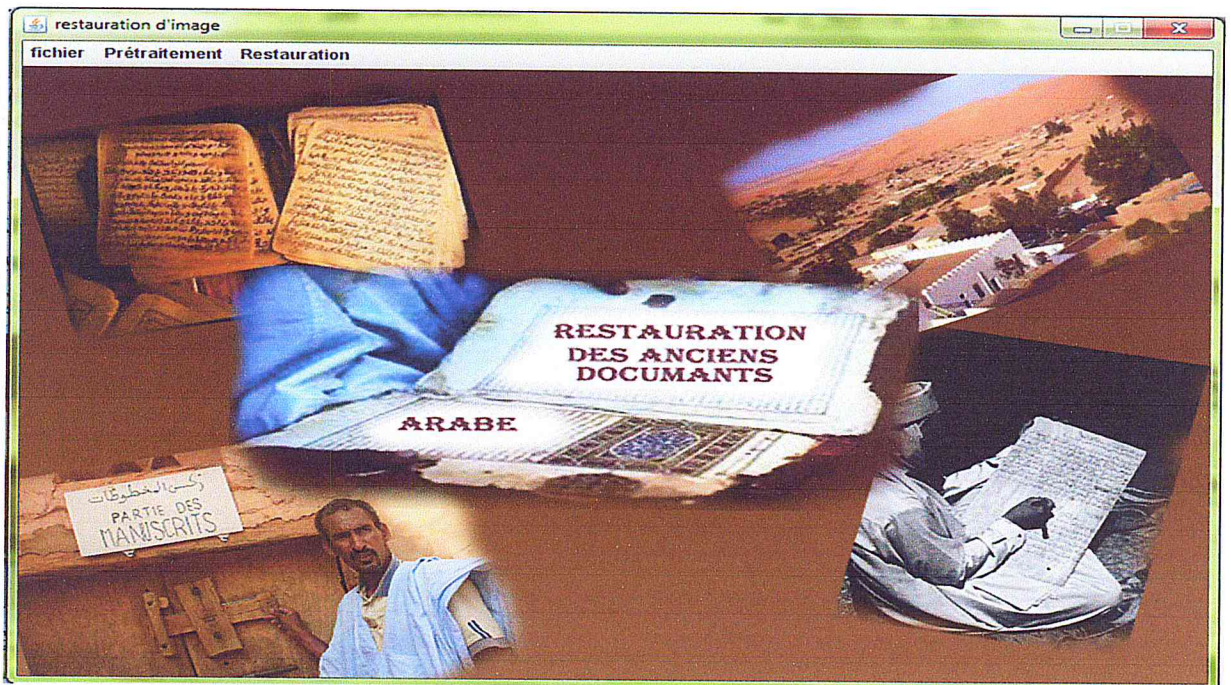


Figure 7.2 : La fenêtre principale de l'application.

7.5.1 Menu principal

Le menu principal contient les items suivants:



Figure 7.3 : Menu principal.

Fichier : comporte les commandes suivantes :

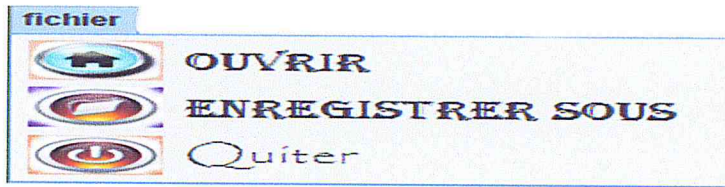


Figure 7.4 : Menu de fichier .

‘Ouvrir’ : pour ouvrir une image à restaurer.

‘Enregistrer sous’ : pour enregistrer l’image restaurée.

‘Quitter’ : pour quitter le programme.

7.5.2 Prétraitement

Comporte les commandes suivantes :

Luminance : pour ajouter de la luminance à notre image.

Seuillage : pour faire le seuillage à notre image.



Figure 7.5 : Menu de prétraitement.

7.5.3 Restauration

Comporte les commandes suivantes :

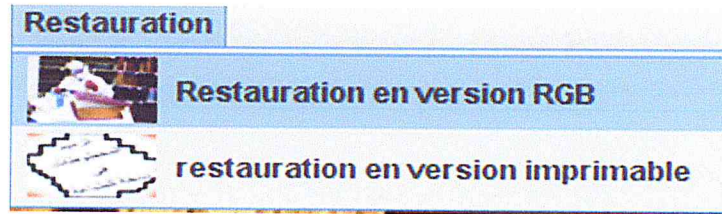


Figure 7.6 : Menu de restauration

Restauration en version RGB : pour restaurer en gardant le font de l’image manuscrite

Restauration en version imprimable : pour restaurer avec un fond blanc

7.5.4 Restauration de l’image

Après avoir présenté le logiciel, on présente la phase finale de restauration sur notre application :

a) Restauration en version RGB :

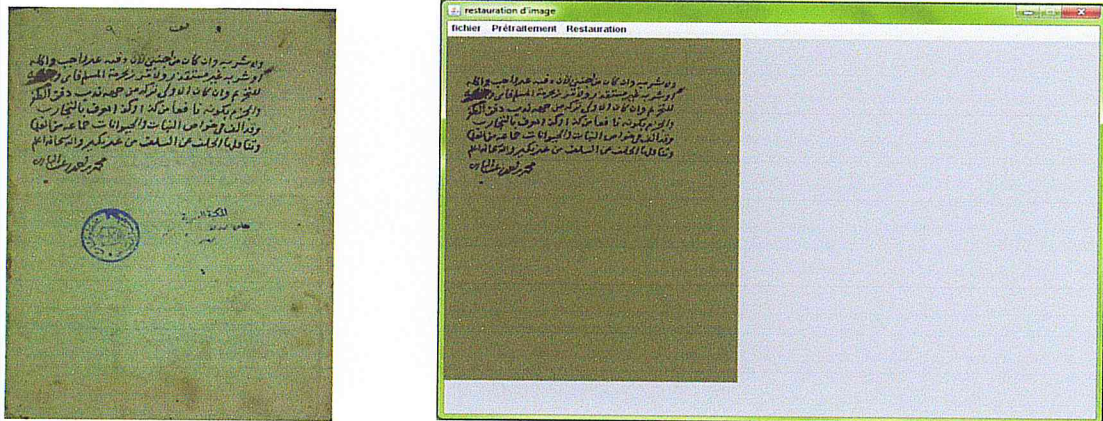


Figure 7.7 : Restauration en version RGB.

b) Restauration en version imprimable :

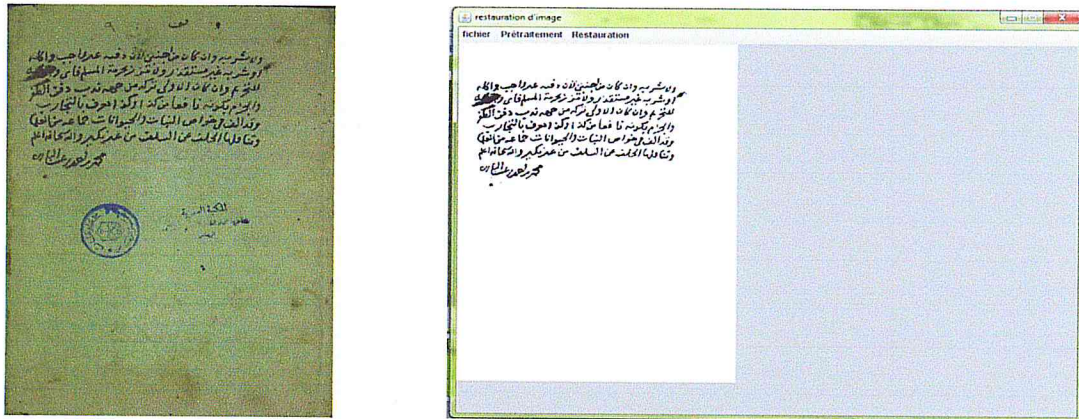


Figure 7.8 : Restauration en version imprimable.

7.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté notre application de restauration d'images de documents manuscrits arabes et anciens. Les différentes étapes sont présentées ainsi que les prétraitements utilisés et les restaurations en deux versions.

A partir de nos résultats nous remarquons que la méthode utilisée donne de bons résultats pour les images bruitées et les images.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le présent mémoire, nous avons étudié une des méthodes pour restaurer les images de documents et plus particulièrement de documents arabe anciens du patrimoine. Contrairement aux images naturelles, les images de documents sont des images particulières qui nécessitent des traitements adaptés. Les images de documents anciens du patrimoine possèdent de nombreuses dégradations dues à la mauvaise conservation physique et au vieillissement naturel des supports, auxquels s'ajoutent des dégradations numériques provenant de la chaîne d'acquisition et de traitement informatique. Il existe actuellement une forte demande pour le développement d'outils de traitements informatique adaptés à la restauration des images de documents.

Plusieurs techniques de restauration proposées dans la littérature : méthodes de restauration supervisée, méthodes de restauration non supervisée en tenant compte de leurs avantages et inconvénients quoiqu'il soit difficile de définir une méthode de restauration optimale.

Nous avons appliqué une méthode basée sur la segmentation et la classification pour la restauration de l'image manuscrite arabe ancienne. Cette approche procède en trois phases : un prétraitement pour améliorer la qualité de l'image, segmentation des objets dans le manuscrit (taches, texte, cachet, annotations) par l'algorithme k-plus proche voisin et la classification des objets par un algorithme de calcul de poids des pixels.

A travers les exemples cités et les idées qui les ont guidés, il apparaît clairement que cette méthode donne des résultats satisfaisants, nous remarquons que notre méthode de segmentation et de classification donne des bons résultats pour les images manuscrites qui contiennent des taches, des annotations et des cachets. Mais donne des résultats de restauration de faible qualité pour les images manuscrites contenant l'effet de transparence recto et verso.

Bibliographie

Bibliographie

- [All-03] B. ALLIER. Contribution à la numérisation des collections : apports des contours actifs, Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2003.
- [Bai-92] H.S.Baird. Document Image Defect Models, dans Structured Document Image Analysis. New York : Springer, pp. 546-556, 1992.
- [Bai-93] H. Baird. Document Image defect Models and Their Uses, Proc. of the Internatuonal Conférence on Document Analysis and recognition, pp. 62-67, Tsukuba, Japan, 1993.
- [Bai-00] H. Baird. State of the Art of Document Image Degradation Modeling. In Proceedings of 4th IAPR International Workshop on Document Analysis Systems, vol. 1, Rio de Janeiro (Brazil), 2000.
- [Bou 07] F. Le Bourgeois, H. Emptoz. DEBORA : Digital AccEss to BOoks of the RenAissance, International Journal on Document Analysis and Recognition(IJDAR), Special issue on the analysis of historical documents, Springer, Vo. 9, Nr 2-4, pp. 193-221, 2007.
- [Bre-03] S. Bres, JM. Jolion, F. Le Bourgeois. Traitement et analyse des images numériques. Paris : Hermès, 2003. ISBN 2-7462-0741-9.
- [Bur 01] (C)G.Burel /octobre 2001.

- [Bru 05] Bruno Tenorio Avila and Rafael Dueire Lins. A fast orientation and skew detection algorithm for monochromatic document images. DocEng'05, pages 118–126, 2005.
- [Ced 01] Laure Cedelle-Joubert – La numérisation des textes médiévaux littéraires – "Le Médiéviste et l'ordinateur. Histoire médiévale, informatique et nouvelles technologies –Direction du livre et de la lecture. N°40 – Automne 2001 :La numérisation des manuscrits médiévaux. Disponible sur <http://lemo.irht.cnrs.fr/40/mo40-toc.htm#TopOfPage> .
- [Coc-95] J.P. Cocquerez, S. Philipp. Analyse d'images : filtrage et segmentation, Paris, Masson, 1995.
- [Dri 07] Drira. F, Contribution à la Restauration des Images de Documents Anciens, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, soutenance le 14 décembre 2007 devant la commission d'examen.
- [Dub-01] E. Dubois, A. Pathak. Reduction of bleed-through in scanned manuscripts documents, Dans Proceeding IS&T Image processing, Image Quality, Image capture Systems, pp. 177-180, Montreal, Canada, 2001.
- [Dud-98] O. Duda, P. E. Hart, D. G. Stork. Pattern classification and scene analysis, New York, Wiley et sons, 1998.

- [Emp 03] H. Emptoz, F. Le Bourgeois, V. Eglin, Y Leydier. La reconnaissance dans les images numérisées, OCR et transcription, reconnaissance des structures fonctionnelles et des méta-données, dans l'ouvrage La numérisation des textes et des images : Techniques et réalisations. Villeneuve d'Ascq : éditions Presse de Lille 3, 2003, pp. 105-129. ISBN 2-84467-050-42003.
- [Enr 00] Enriketa KALLDRËMXHIU Les logiciels de numérisation des livres anciens – DESSID, avril 2000].
- [Eri 03] COMPRESSION D'IMAGE Algorithme et standards Eric Incerti,2003.
- [Fay 05] FAYE, Emiliane. La numérisation des documents: opportunités et contraintes. CODESRIA: conférence sur la publication et la diffusion, 2004,12p. [En ligne].Disponiblesur: http://www.codesria.org/links/conferences/el_publ/faye.pdf > (page consultée le 15 novembre 2005).
- [Gar-06] U. Garain, T. Paquet, L. Heutte. On foreground-background separation in low quality document images, International Journal on Document Analysis and Recognition, vol. 8, no.1, pp. 47-63, 2006.

- [Gas-03] F. Gasparini, R. Schettini, P. Gallina. Tunable cast remover for digital photographs. In Proceedings of SPIE, volume 5008 of Color Imaging VIII : Processing, Hardcopy, and Applications, pp. 92-100, 2003.
- [Gon97] R.C. GONZALES et P. WINTZ, « Digital Image Processing », Addison Wesley, 1997.
- [Gon 08] Rafæl C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing, Pearson Prentice Hall, 2008.
- [Gui 08] du 4 février 2008 Guide pour l'élaboration d'un cahier des charges de numérisation.
- [Guy 05] traitement numérique des images Guy Almouzni 2005.
- [Hir-01] T. Hiroshi, H. Hiroya, N. Koichi. Image processing device for providing correction of a curvature distortion of a bound portion of a spread book, Brevet US6330050, Ricoh Company, LTD, 2001.
- [Hob-97] J. D. Hobby, T.K. Ho. Enhancing Degraded Document Images via Bitmap Clustering and Averaging , Dans Proceeding of the International Conference on Document Analysis and Recognition, 4th ICDAR, Germany, pp. 394-400, 1997.

- [Hum 02] Geneviève Humbert – La tradition en écriture arabe – Revue des mondes musulmans et de la méditerranée – Novembre 2002.
- [Hyv-99b] A. Hyvarinen, E. Oja. A fast fixed-point algorithm for independent Unsupervised Learning, G. Hinton and T. J. Sejnowski, eds. Cambridge, Mass. : MIT Press, 1999.
- [IRH 06] Livret du stage d'initiation au manuscrit médiéval, réalisé par l'Institut de Recherche en Histoire et du Texte (IRHT), Lyon – France. Département des manuscrits arabes - disponible en ligne sur :
<http://aedilis.irht.cnrs.fr/stage/descriptionmanuscrit.htm> édité le 20/09/2006 par l'IRHT.
- [Kan-93] T. Kanungo, R.M.haralick, I. Phillips. Global and Local Document Degradation Models, Dans Proceedings of the 2nd International Conference on Document Analysis and Recognition, Tsukuba, Japan, pp. 730-734, 1993.
- [Kan-94] T. Kanungo, R. M. Haralick, H. S. Baird, W. Stuetzle, D. Madigan. Document Degradation Models : Parameter Estimation and Model Validation. Dans Proceedings of IAPR Workshop on Machine Vision Applications, Kawasaki (Japan), pp. 552-557, 1994.
- [Kan-00] T. Kanungo, R. M. Haralick, H. S. Baird, W. Stuezle, D. Madigan. A Statistical, Nonparametric Methodology for Document Degradation Model Validation. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22 (11) :1209-1223, 2000.

- [Lar 82] Grand Dictionnaire Encyclopédique Larousse. Paris :
Librairie Larousse. Vol. 3, 1982. p.2342.
- [Las 04] Lassouaoui.N 'Segmentation des images par différentes
approches et optimisation avec les algorithmes génétique.thèse
de doctorat, école nationale polytechnique, 2004.
- [Ley-04] Y Leydier., F. LeBourgeois, H. Emptoz. Serialized k-means
for adaptative color image segmentation : Application to
document images and others, Document Analysis Systems VI,
6th international workshop, pp.252-263, Florence, ITALY,
2004.
- [LFS 78] L.F. Salvet, Lavarou koz a Vreiz-Izel, 1978 .
- [Lin 08] Introduction au traitement d'image –Diane lingrand, 2008.
- [Ors 93] Paola Orsatti – Le manuscrit islamique : caractéristiques
matérielles et typologie (Ancient and medieval book
materials and techniques – Città del Vaticano : Biblioteca
Apostolica Vaticana, 1993, pp. 269-331.
- [SAM 05] SAMAMBA Tony, Reconnaissance des formes comme outil
d'aide aux traitements d'image. Cas des empreintes digitales,
mémoire ISP/Bukavu, 2005-2006.
- [Sha-00] G. Sharma. Cancellation of show-through in duplex scanning,
Appears in Proceedings IEEE International Conference on
Image processing, vol.2, pp.609-612, 2000.

- [Shi 96] Z. Shi, V. Govindaraju. character image enhancement by selective region-growing Pattern Recognition Letters, no. 17, pp. 523-527, 1996.
- [Smi-04] E. Smigiel, A. belaid, H. Hamza. Self-organizing Maps and Ancient Documents, Document Analysis Systems VI, 6th international workshop, pp.125-134, Florence, ITALY, 2004.
- [Syb 95] A. d'HARDANCOURT, « Fou du multimédia » Sybex 1995.
- [Tak-01] H.Takahashi, H. Hiroya, N. Koichi, Image processing device for providing correction of a curvature distortion of a bound portion of a spread book. Brevet US6330050, Ricoh Company, LTD, 2001.
- [Ton-04] A. Tonazzini, L. Bedini, E. Salerno. Independent Component Analysis for Document Restoration, International Journal on Document Analysis and Recognition (IJ DAR), pp. 17-27, 2004.
- [Tra 07] La transformée de Fourier en traitement d'images Humbert Florent 1^{er} avril 2007.
- [Tre 04] A.Trémeau, C.Fernandez-Maloigne, P.Bonton. Image numérique couleur : de l'acquisition au traitement. Paris : Dunod, 2004.

- [Tri 03] E. Trinh. De la numérisation à la consultation des documents anciens, Thèse de doctorat dans le cadre d'un projet européen Débora et d'un projet industriel, Book Restorer, INSA de Lyon, France, 2003.
- [Tsi 03] Y. Tsin, V. Ramesh, T. Kanade. Statistical Calibration of the CCD Imaging Process. In IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), volume 1, pp. 480-487, Vancouver, Canada, 2001.
- [Une 83] Livres et documents d'archives - Documents - UNESCO par Françoise Flieder et Michel Duchain.
- [Wan 03] Q. Wang, T. Xia, C. L. Tan, L. Li. Directional Wavelet Approach to Remove Document Image Interference, ICDAR 2003, pp. 736-740, Edinburgh, 2003.
- [Whi 96] A. Whichello, H. Yan. Linking Broken Character Borders with Variable Sized Masks to Improve Recognition, Pattern Recognition, vol. 29, no.8, pp. 1429-1435, 1996.
- [Wol 06] C. Wolf. Document Ink bleed-through removal with two hidden Markov random fields and a single observation field, Technical Report RRLIRIS-2006-019. Lyon : LIRIS, INSA Lyon, 2006.
- [Wu 02] C. Wu, G. Agam. Document Image De-warping for Text/Graphics Recognition, Proc. of Joint IAPR and SPR 2002 Windsor, Ontario, Canada, pp. 348-357, 2002.

- [Xav 07] Les filtres usuels en traitement d'images Xavier Philippeau, 2007.
- [Yu 01] D. Yu, H. Yan, Reconstruction of Broken Handwritten digits based on structural morphological features, Pattern recognition, no. 34, pp. 235-254, 2001.
- [Zha-01] Z. Zhang, C.L. Tan, Recovery of Distorted Document Images from Bound Volumes. International Conference on Document Analysis and Recognition, ICDAR'01, Seattle, WA, pp. 429-433, 2001.
- [Zhe-01] Q. Zheng, T. Kanungo, Morphological Degradation Models and Their Use in Document Image Restoration , Rapport LAMP-TR-065/CS-TR-4218/CAR-TR-962, University of Maryland, College Park, USA, 2001.

Webographie

Webographie

[Web 01]

<http://www.m-culture.gov.dz>

Commentaire [w1]: Page 51

[Web 02]

http://archive.ifla.org/VI/6/dswmedia/fr/txt_envi.htm
(disponible le:22/04/2009).

[Wiki-01 2007]

Encyclopédie universelle Wikipedia – Le manuscrit : Notion générales sur les manuscrits. Disponible sur le Web à l'adresse <http://fr.wikipedia.org/wiki/manuscrit>. Consulté le 13/04/2007.

[Wiki-02 2007]

Encyclopédie universelle Wikipedia – Le Codex – disponible en ligne à l'adresse <http://fr.wikipedia.org/wiki/codex> - Dernière mise à jour 27/07/2007 – consulté le 19/10/2007.

Glossaire codicologique

Glossaire codicologique

Ais

Planchettes de bois ou feuilles de carton attachées aux nerfs de la couture ; ils protègent le volume et servent de support à la couverture.

Attente (En)

Lettre ou titre à rubriquer, écrit à la mine de plomb ou à l'encre, en petits caractères et destiné à disparaître (gommé, gratté, surchargé ou rogné avec les marges) après le travail du rubricateur.

Bifeuillet (Bifolio)

Pièce rectangulaire (de parchemin ou de papier), pliée en son milieu pour former deux feuillets (folios).

Bout-de-ligne

Petit trait horizontal, plus ou moins orné, tracé généralement à l'encre de couleur, pour terminer une ligne jusqu'à la justification.

Cahier

Groupe de feuillets obtenus par pliage d'une feuille (de parchemin ou de papier) ou par la réunion de plusieurs feuilles pliées. Les cahiers les plus courants sont constitués de :

- deux bifolios (binion), soit quatre folios et huit pages
- quatre bifolios (quaternion), soit huit folios et seize pages
- six bifolios (sénion), soit douze folios et vingt-quatre pages...

Coiffes

Parties remplies de la couverture en tête et en queue du dos.

Colophon

Formule finale dans laquelle le copiste mentionne son nom et/ou le lieu et/ou la date de copie.

Contreplat

Face interne de l'ais. Comme pour les plats, on distingue contre plat inférieur et supérieur.

Correction

Il existe différentes manières pour le copiste ou le relecteur de corriger un texte fautif : grattage, rature, expunction (le passage fautif est souligné de points).

Côté chair/Côté poil

Envers de la peau, tourné vers l'intérieur de l'animal / endroit de la peau (côté où les poils sont implantés).

Couverture

Pièce de peau ou de tissu qui recouvre le dos et les ais en plein ou partiellement (demi-reliure).

Pour les peaux, sauf indication contraire, le côté chair est placé contre l'ais.

Dos

Ce terme peut désigner deux éléments :

1. l'ensemble constitué par le dos des cahiers et les différentes coutures qui relient ces cahiers ;
2. la partie de la couverture qui recouvre cet ensemble.

Enluminure

Ensemble des éléments décoratifs et des miniatures exécutés dans un manuscrit.

Estampage

Procédé de décor du cuir par impression à chaud, à l'aide de petits fers, roulettes, palettes et plaques.

Explicit

voir Incipit.

Fermeoir

Système d'attache des deux plats ensemble, il est composé de trois éléments en métal, en métal et cuir ou en métal et tissu. Ces trois éléments peuvent être : une patte, une agrafe et une contre agrafe, ou bien une patte, une agrafe et un tenon. Sans mention particulière, le fermeoir est fixé en gouttière.

Feuille

Feuille de papier telle qu'elle sort de la forme (non pliée). Ne pas confondre avec le FEUILLET

OU FOLIO : dans un manuscrit, il s'agit de deux pages, c'est-à-dire d'un recto et d'un verso.

Ainsi là où la pagination indiquerait : page 1, page 2, la foliotation inscrit : folio 1 sur le seul recto (ou verso) du feuillet. Les catalogues notent : f. 1r (ou simplement f. 1) et f. 1v.

Filigrane

Dessin en relief réalisé avec un fil de laiton, attaché sur la forme à papier. Il se lit sur la feuille de papier par transparence. Son identification peut permettre la localisation et la datation du papier grâce aux répertoires de filigranes. Ne pas confondre avec une Lettre à filigrane (voir Lettre).

Fils de chaîne

- 1) Fils métalliques de la forme à papier, parallèles au petit côté ;
- 2) par extension : lignes qui apparaissent sur la feuille de papier, perpendiculairement aux vergeures.

Forme à papier

Boîte rectangulaire, permettant de fabriquer une feuille de papier, à partir de la pâte étendue sur des fils métalliques.

Gardes (garde et contregarde)

Le terme « garde » a deux sens, l'un générique, l'autre particulier :

1. il désigne l'ensemble des feuillets ajoutés au début (gardes supérieures) et à la fin (gardes inférieures) du codex ;
2. il désigne, parmi ces feuillets, ceux qui sont restés libres (« gardes volantes »), par opposition aux contregardes, qui sont collées sur le contre plat.

Glose

Explication d'un mot ou d'un passage du texte. La glose peut être, selon sa place dans la page, interlinéaire, marginale ou encadrante.

Gouttière (en)

Côté du livre opposé au dos. Voir Tranche.

Haste

Partie d'une lettre minuscule qui dépasse le noyau de la lettre, en haut (hastes montantes), ou en bas (hastes descendantes). On parle aussi de hampe pour qualifier l'haste descendante.

Héraldique

Armoiries, emblèmes, devises permettant d'identifier un ou des possesseurs anciens.

Incipit/ Explicit

1. **Incipit/explicit vrai** : les premiers / derniers mots d'un texte (à l'exclusion des titre, intitulé de chapitre, colophon, etc.). En l'absence de titre ou de nom d'auteur, l'incipit peut permettre l'identification du texte dans des recueils d'incipits. Même chose pour l'explicit si l'œuvre est acéphale.
2. **Incipit/explicit repère** : premiers / derniers mots d'un feuillet convenu arbitrairement (en général le second et l'avant-dernier), qui permettent d'identifier un exemplaire particulier d'un texte, dans les catalogues médiévaux qui usent de ce système de repérage.

Initiale

Lettre commençant un ouvrage, une partie de texte, un chapitre, un paragraphe, etc., mise en valeur par divers procédés dont le premier est la différence de module (voir : filigrane, rubrique, lettre historiée, lettre ornée). On peut aussi parler de lettrine. Attention à ne pas confondre cette acception particulière d'initiale avec le sens général du mot : lettre qui commence un mot, un vers.

Justification

- 1) Ensemble des lignes (verticales, horizontales) qui délimitent la surface écrite (voir Réglure) ;
- 2) Mesures de la surface écrite.

Lettre historiée

Initiale comportant une scène, un personnage ou un élément figuré signifiants par rapport au texte.

Lettre ornée

Initiale comportant des motifs géométriques, végétaux ou animaliers.

Lettre à filigrane ou filigranée

Initiale de couleur entourée de motifs filiformes, exécutés sans pleins ni déliés (voir supra, La décoration).

Longues lignes

Lignes d'écriture occupant toute la largeur de la page dans les manuscrits à pleine page, par opposition aux manuscrits copiés en colonnes (deux généralement).

Marge

Partie de la page qui n'est pas destinée à recevoir l'écriture, ni une illustration. On distingue les marges extérieures : supérieure, inférieure, de petit fond (du côté du pli), de gouttière ; pour un manuscrit à colonnes, on a aussi une ou plusieurs marges intérieures : entrecolonne(s).

Miniature

Peinture d'un manuscrit destinée le plus souvent à en illustrer le texte. Au Moyen Âge, on parlait d'histoire (mot attesté dès 1240).

Nerf

Bande de peau ou de septain autour de laquelle on enroule le fil qui sert à coudre les cahiers lors de la reliure. Les extrémités en sont fixées aux ais.

Note de possession

Annotation d'une personne qui a détenu le manuscrit ; figure généralement sur le dernier folio ou sur une garde.

Onglet

Bande de parchemin ou de papier pliée en deux dans le sens de la longueur, qui peut avoir deux usages. Elle sert à :

- renforcer un cahier au centre ou à l'extérieur
- coudre au cahier un feuillet isolé, dépourvu de talon.

Origine

Lieu d'achèvement de la copie d'un manuscrit (ne pas confondre avec Provenance)

Pied-de-mouche

Signe de paragraphe de forme arrondie, parfois utilisé à des fins décoratives.

Piqûre

Série de petits trous ou fentes, alignés sur le bord du feuillet, et destinés à guider le traçage de la réglure.

Plat

Le terme désigne habituellement la face externe de l'ais, au début (plat supérieur) ou à la fin (plat inférieur) du volume.

Pleine/demi-reliure

Dans une pleine reliure, le plat est entièrement recouvert par la couverture ; dans une demi-reliure, il ne l'est que partiellement.

Pontuseaux

Petites barres de bois reliées au cadre d'une forme à papier et soutenant les fils de chaîne. Par glissement de sens, on a longtemps appelé pontuseaux les traces laissées sur la feuille de papier par ces fils de chaîne.

Provenance

Établissement ou individu ayant possédé un ms. à un moment donné (ne pas confondre avec Origine).

Queue (en)

Partie inférieure du livre. Voir Tranche.

Réclame

Premiers mots du cahier suivant inscrits dans la marge inférieure de la dernière page du cahier précédent. C'est un des signes qui permettent au couseur et au relieur de vérifier la bonne succession des cahiers et de voir si le manuscrit est complet.

Réglure

Ensemble de lignes tracées sur la page (à la pointe sèche, à la mine de plomb, à l'encre) pour délimiter la surface à écrire et guider l'écriture.

Reliure souple

Reliure qui ne possède pas d'ais. Le plat est constitué uniquement par la couverture.

Rubrique

Mention écrite à l'encre rouge, et par extension, intitulé d'un texte ou d'une de ses parties mis en valeur par l'emploi d'une encre rouge, d'une autre couleur ou d'un autre signe distinctif (lettres de module différent,...).

Scolie (ou scholie)

Note sur un texte philologique ou historique due à un auteur antique (scolie) ou médiéval (scholie).

Scriptorium

Lieu dans lequel est copié le manuscrit, (et par extension) équipe de copistes à l'œuvre en un lieu déterminé (abbaye, école cathédrale, etc.). On parle aussi d'atelier de copie.

Signature

Numérotation des cahiers (le plus souvent sur le premier recto dans la marge inférieure, ou sur les rectos de la première moitié des feuillets) permettant de les coudre et relier dans le bon ordre.

Talon

Reste d'un feuillet coupé à peu de distance de la pliure, qui permet la couture de l'autre moitié du bifolio. Voir aussi Onglet.

Tête (en)

Partie supérieure du livre. Voir Tranche.

Titre courant

Mention (titres, numéros du livre, du chapitre...) inscrite dans la marge supérieure de chaque feuillet ou page, destinée à faciliter le repérage.

Tranche

Désigne les trois côtés du volume (tête, gouttière, queue) qui ne sont pas pris dans la reliure, par opposition au dos.

Tranchefiles

Système de broderie, qui, en tête et en queue du dos, unit les cahiers entre eux ou les cahiers entre eux avec les ais ou bien encore les cahiers entre eux avec les ais et la couverture.

Velin

Peau de veau tannée.

Vergeures

Marques sur le papier des fils de laiton droits d'une forme à papier, parallèles au plus grand côté de la forme et perpendiculaires aux fils de chaîne.