

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Électronique
Spécialité Instrumentation

Présenté par

ABEDDOU MOHAMED RAFIK

&

RAKENE IMAD EDDINE

Détection et correction de l'inclinaison dans les documents imprimés

Proposé par : M. NASR EDDINE KHORISSI & Mme AMEL MEZAOUER

Année Universitaire 2023-2024

Remerciements

Nous commençons par exprimer notre gratitude envers le grand **Allah** pour la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à adresser nos plus sincères remerciements à toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide et ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Nous exprimons notre reconnaissance envers notre encadreur, **Monsieur Nasr Eddine Khorissi & Mme AMEL MEZAOUER**, pour la documentation précieuse qu'il nous a fournie, ses conseils éclairés et le soutien continu qu'il nous a offert tout au long de notre étude et de la réalisation de ce projet. Nous exprimons également notre gratitude envers le président et les membres du jury pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail. Leurs conseils et suggestions avisés ont grandement contribué à la réussite de ce mémoire.

Nous tenons à remercier nos enseignants en électronique pour nous avoir préparés à mener à bien ce travail.

Nos remerciements vont également à nos parents, frères et sœurs pour leur soutien et leur contribution.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à toutes les personnes qui nous ont soutenus et encouragés tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier cet événement marquant de ma vie :
À la mémoire de mon grand-père **Boualem**, mon deuxième père, disparu
trop tôt.

Je ne saurais exprimer mon grand chagrin pour ton absence.

À mes très chers parents, sources de vie, pour leurs sacrifices afin que
rien n'entrave le déroulement de mes études.

Ma mère, tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.
Mon père **Abdennour**, mon idole dans le football, l'épaule solide, l'œil
attentif et compréhensif.

Que Dieu vous préserve et vous procure santé et longue vie.

À mes chères sœurs, **Malika** et **Imène**, sources de joie et de bonheur.

À ma chère grand-mère, la capitaine de la famille.

À tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

À tous ceux que j'ai rencontrés pendant mes études à l'université.

À mes chers amis pour leur sympathie :

Kader, Islem, Moussa, Moncef.

Enfin, je remercie mon binôme **Imad**, qui m'accompagne dans mes
études depuis mon enfance, depuis l'époque de l'école coranique, et
pour sa contribution à l'achèvement de cet humble travail.

Mohamed Rafik

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU

De m'avoir donné la force et le courage de mener
à bien ce modeste travail.

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont
chers,

A ma chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il
se doit.

Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes
cotés

a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon cher père **KARIM**

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager,
Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

À mes chers frères :

Ahmed et Meriem, sources de joie et de bonheur.

À mes chers grands-pères et grand-mère

Ahmed et Aicha, mes piliers, mes exemples, mes premiers supporteurs
et ma plus grande force.

Et toute la famille **Rakene** et **Mesloub**.

À tous ceux que j'ai fait la connaissance lors de mes études
universitaires :

Kader, Islem, Moussa, Moncef.

Et mon cousin Hichem.

Enfin Je tiens à exprimer ma gratitude envers mon Binôme **Mohamed**,
qui m'accompagne depuis mon enfance, depuis l'époque de l'école
coranique, et pour sa contribution à la réalisation de ce travail modeste.

IMAD

ملخص :

تتمثل دراستنا في تسوية المستندات المطبوعة المسوَّحة ضوئياً والتي تعرض زاوية ميل. للقيام بذلك، نستخدم طريقتين ملف تعريف الإسقاط وتحويل هوغ. سيتم تقريب صور المستندات عن طريق تحويل الموجات. لتقليل عدد النقاط في الوثيقة، نطبق نفس الأساليب على منطقة فرعية من الوثيقة.

Résumé :

Notre étude consiste à redresser les documents imprimés scannés présentant un angle d'inclinaison. Pour ce faire, nous utilisons deux méthodes : Le profil de projection et la transformée de Hough. Les images des documents seront approximées par transformée en ondelette. Pour réduire le nombre de point du documents, on applique les mêmes méthodes à une sous-région du document.

Mots-clés : Angle d'inclinaison, redressement, profil de projection, transformée de Hough, transformée en ondelette, sous-région.

Abstract:

Our study is to straighten scanned printed documents with a skey angle. To do this, we use two methods: The projection profile and the Hough transform. The images of the documents will be approximated by wavelet transform. To reduce the number of points in the document, we apply the same methods to a sub region of the document.

Keywords: Angle of inclination, straightening, projection profile, Hough transform, wavelet transform, sub region.

Listes des acronymes et abréviations

PDF - Portable Document Format

DOCX - Document eXtended

JPG ou **JPEG** - Joint Photographic Experts Group

PAO - Publication Assistée par Ordinateur

PNG - Portable Network Graphics

TXT - Text

WAV - Waveform Audio File Format

XML - eXtensible Markup Language

EPS - Encapsulated PostScript

XLSX - Excel Spreadsheet eXtended

PPTX - PowerPoint eXtended

ODT - OpenDocument Text

RTF - Rich Text Format

BMP - Bitmap

PS - PostScript

PCL - Printer Command Language

PSD - Photoshop Document

TIFF - Tagged Image File Format

GIF - Graphics Interchange Format

DWT - DiscreteWaveletTransform (Transformée en ondelette discrète)

CWT - ContinuousWaveletTransform (Transformée en Ondelettes Continue)

TSI - Traitement du Signal et de l'Image

TEP - Tomographie par Émission de Positons

OCR - Optical Character Recognition (Reconnaissance Optique de Caractères)

TALN - Traitement Automatique du Langage Naturel

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre 1 : Généralités sur les documents et les images.....	2
I. Le document	2
1.1 Introduction	2
1.2 Définition d'un document	2
1.3 Format d'un document	2
1.4 Le document électronique	2
1.4.1 Définition document électronique	3
1.4.2 Caractéristique document électronique	3
1.5 Documents à structures complexes	3
1.6 Produire des documents en utilisant les outils électroniques	4
1.6.1 Structure logique et structure physique d'un document électronique	5
1.6.2 Les différentes étapes d'élaboration et les diverses formes intermédiaires d'un document	7
1.6.3 Types de formats de fichiers	7
1.7 L'image synthétique	9
II. Traitement d'image	9
1.8 Introduction	9
1.9 Application du traitement d'image dans différents domaines	11
1.10 Notions fondamentales en traitement d'images	12
1.10.1 Définition d'une image	12
1.10.2 Acquisition d'une image	12
1.10.3 Définition d'une image numérique	12
1.10.4 Définition du PIXEL	12
1.10.5 Les images binaires (noir ou blanc)	13
1.10.6 Les images en niveaux de gris	13
1.10.7 Les images couleurs	13
1.10.8 Bruit dans une image	14
1.10.9 L'histogramme	14
1.10.10 Segmentation d'une image	15
1.10.11 Classification	15
1.11 Conclusion	15
Chapitre 2 : Les méthodes de redressement des documents imprimés scannés : état de l'art..	16

2.1	Introduction.....	16
2.2	Algorithmes de détection d'orientation.....	17
2.2.1	Méthodes de projection.....	17
a.	analyse du profil de projection.....	19
2.2.2	Transformation de Hough.....	20
a.	L'algorithme proposé.....	21
2.2.3	Regroupement des plus proches voisins.....	22
a.	La méthode de codage des séries de pixels noirs.....	23
b.	La méthode des composantes connexes.....	24
c.	Une approche se basant sur l'extraction des liaisons.....	24
d.	Une approche travaillant seulement sur des sous régions de l'image.....	25
e.	Les approches travaillant sur le document compressé.....	27
2.2.4	Correction de l'inclinaison.....	27
2.3	Conclusion.....	27
Chapitre 3 : Généralités sur la transformée en ondelettes et reconnaissance de documents....		28
III.	La théorie des ondelettes.....	28
3.1	Introduction.....	28
3.2	Le temps-fréquence : l'étude.....	28
3.2.1	La transformation de Fourier.....	28
3.2.2	La transformation à fenêtre de Fourier.....	29
3.3	La transformée en ondelettes.....	30
3.3.1	L'idée de la transformée en ondelettes et l'analyse multi-résolution.....	30
3.3.2	Les étapes de transformée en ondelette.....	32
3.3.3	Quelques illustrations des fondements des ondelettes.....	33
3.4	La transformée en ondelettes continue.....	35
3.5	Modèle graphique du calcul des coefficients d'ondelettes.....	35
3.6	La transformée en ondelettes discrète.....	37
3.7	l'analyse multi-résolution.....	38
3.8	Intérêt en traitement d'image.....	38
3.9	Conclusion.....	39
Reconnaissance de document.....		39
3.10	Introduction.....	39
3.11	Les bénéfices des formats électroniques chiffrés par rapport aux formats visuels	40
3.12	Composantes d'un système de reconnaissance.....	41

3.12.1	Numérisation ou acquisition	41
3.12.2	Correction ou redressement	41
3.12.3	La binarisation	42
3.12.4	Division ou segmentation des pages	42
3.13	Conclusion	43
Chapitre 4 :	Étude Expérimentale	44
IV.	Partie expérimentale	44
4.1	Introduction	44
4.2	L'environnement d'évaluation	44
4.3	Démarche d'expérimentation	46
4.4	L'interface graphique du logiciel	46
4.5	Résultats et discussion	47
4.5.1	La première méthode : Profil de projection sans ondelette	47
4.5.2	La deuxième méthode : Profil de projection avec ondelette (DWT)	49
4.5.3	L'impact de niveau de décomposition N	52
4.5.4	L'impact de la base ondelette	55
4.5.5	L'impact de nombre de sommet K	57
4.5.6	La troisième Méthode : Méthode de Hough	60
4.5.7	Méthode de sous-régions	65
4.6	Conclusion	70
	CONCLUSION GENERALE	72
	Annexes	73
	Bibliographie	74

Liste des figures

<i>Figure 1.1.</i> Un document à structure complexe d'un journal (exemple).....	4
<i>Figure 1.2.</i> Un exemple de structure logique dans un document électronique.	5
<i>Figure 1.3.</i> Exemple de structures.....	6
<i>Figure 1.4.</i> Un exemple de structure physique dans un document électronique.	6
<i>Figure 1.5.</i> Exemple des structures.....	6
<i>Figure 1.6.</i> Etapes de production et les différentes formes d'un document.....	7
<i>Figure 1.7.</i> Architecture matérielle d'un système complet de traitement d'image.....	10
<i>Figure 1.8.</i> Image matricielle en HD.....	13
<i>Figure 1.9.</i> L'espace couleur Rouge Vert Bleu (RGB).....	14
<i>Figure 1.10.</i> Histogramme.....	14
<i>Figure 2.1.</i> Un document incliné.	17
<i>Figure 2.2.</i> L'histogramme horizontal et vertical.....	17
<i>Figure 2.3.</i> Illustration du calcul l'histogramme horizontal.	18
<i>Figure 2.4.</i> Algorithme proposé.....	18
<i>Figure 2.5.</i> Détection de l'angle d'inclinaison par la méthode de projection.....	19
<i>Figure 2.6.</i> Illustration d'une ligne droite sur un plan.....	20
<i>Figure 2.7.</i> Illustration d'une ligne droite dans l'espace de Hough.....	21
<i>Figure 2.8.</i> Texte incliné et ces composantes connexes.....	22
<i>Figure 2.9.</i> Méthode de groupement des plus proches voisins.....	23
<i>Figure 2.10.</i> Méthode de codage des séries de pixels noirs.....	23
<i>Figure 2.11.</i> La méthode des composantes connexes.....	24
<i>Figure 2.12.</i> La méthode d'extraction des liaisons.....	25
<i>Figure 2.13.</i> La sélection d'une région à partir d'un document.....	25
<i>Figure 2.14.</i> Histogrammes du document.....	26
<i>Figure 2.15.</i> L'organigramme de la méthode hybride.....	26
<i>Figure 3.1.</i> La transformation de Fourier.....	29
<i>Figure 3.2.</i> La transformation à fenêtre de Fourier.....	30
<i>Figure 3.3.</i> La transformée en ondelettes.....	30
<i>Figure 3.4.</i> L'analyse temps fréquence.....	31
<i>Figure 3.5.</i> La transformée en ondelettes agit comme un zoom mathématique.....	31
<i>Figure 3.6.</i> Diagramme global de la manipulation d'images par ondelettes.....	32
<i>Figure 3.7.</i> Schéma de la méthode de profil par projection.....	32
<i>Figure 3.8.</i> Ondelette Haar.....	33
<i>Figure 3.9.</i> Les ondelettes Daubechies.....	33
<i>Figure 3.10.</i> Les ondelettes symétriques.....	34
<i>Figure 3.11.</i> Les ondelettes biorthogonales.....	34
<i>Figure 3.12.</i> Modèle graphique du calcul du coefficient d'ondelette $W(a,b)$	35
<i>Figure 3.13.</i> Comportement du coefficient d'ondelette.....	36
<i>Figure 3.14.</i> Les types de documents et l'identification.....	40
<i>Figure 3.15.</i> Les différentes étapes de la reconnaissance de documents.....	41
<i>Figure 3.16.</i> Segmentation des pages.....	43
<i>Figure 4.1.</i> Plusieurs exemples de la base de données.....	45
<i>Figure 4.2.</i> Interface graphique de notre système d'un redressement des documents.....	46

<i>Figure 4.3.</i> Exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection sans (DWT).....	47
<i>Figure 4.4.</i> Exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection avec DWT «Haar».....	50
<i>Figure 4.5.</i> L'application de l'ondelette sur la méthode de profil de projection.....	50
<i>Figure 4.6.</i> Exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection avec DWT «Haar» et N=5.....	53
<i>Figure 4.7.</i> Exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection avec DWT «Haar» et N=2.....	53
<i>Figure 4.8.</i> Les résultats du tableau des niveaux de décomposition N sous forme de colonnes.....	55
<i>Figure 4.9.</i> Exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection avec l'ondelette «Haar».....	56
<i>Figure 4.10.</i> Exemple d'exécution de profil de projection avec l'ondelette « Bior1.3 ».....	56
<i>Figure 4.11.</i> Exemple d'exécution de profil de projection avec l'ondelette «Haar» et K=1.....	58
<i>Figure 4.12.</i> Exemple d'exécution de profil de projection avec l'ondelette « Haar » et K=5.....	58
<i>Figure 4.13.</i> Exemple d'exécution de profil de projection avec l'ondelette « Haar » et K=10.....	59
<i>Figure 4.14.</i> Les résultats du tableau de nombre de sommets K sous forme de colonnes.....	60
<i>Figure 4.15.</i> Exemple d'exécution de hough sans (DWT).....	61
<i>Figure 4.16.</i> L'application de hough avec l'ondelette.....	61
<i>Figure 4.17.</i> Exemple d'exécution de profil sans (DWT) et sans sous-région.....	65
<i>Figure 4.18.</i> Exemple d'exécution de profil sans (DWT) avec sous-région.....	66
<i>Figure 4.19.</i> Exemple d'exécution de profil avec (DWT) sans sous-région.....	67
<i>Figure 4.20.</i> Exemple d'exécution de profil avec (DWT) avec sous-région.....	68
<i>Figure 4.21.</i> Exemple d'exécution de hough sans (DWT) et sans sous-région.....	69
<i>Figure 4.22.</i> Exemple d'exécution de hough sans (DWT) et avec sous-région.....	69

Liste des tableaux

<i>Tableau 4.1.</i> Les différentes catégories qui constituent la base de données.....	45
<i>Tableau 4.2.</i> Les résultats obtenus avec la 1ère catégorie du profil sans DWT.....	48
<i>Tableau 4.3.</i> Les résultats obtenus avec la 2ème catégorie du profil sans DWT.....	48
<i>Tableau 4.4.</i> Les résultats obtenus avec la 3ème catégorie du profil sans DWT.....	48
<i>Tableau 4.5.</i> Les résultats obtenus avec la 4ème catégorie du profil sans DWT.....	48
<i>Tableau 4.6.</i> Les résultats obtenus avec la 5ème catégorie du profil sans DWT.....	49
<i>Tableau 4.7.</i> Les résultats obtenus avec la 6ème catégorie du profil sans DWT.....	49
<i>Tableau 4.8.</i> Les résultats obtenus avec la 1ère catégorie du profil avec DWT.....	51
<i>Tableau 4.9.</i> Les résultats obtenus avec la 2ème catégorie du profil avec DWT.....	51
<i>Tableau 4.10.</i> Les résultats obtenus avec la 3ème catégorie du profil avec DWT.....	51
<i>Tableau 4.11.</i> Les résultats obtenus avec la 4ème catégorie du profil avec DWT.....	51
<i>Tableau 4.12.</i> Les résultats obtenus avec la 5ème catégorie du profil avec DWT.....	52
<i>Tableau 4.13.</i> Les résultats obtenus avec la 6ème catégorie du profil avec DWT.....	52
<i>Tableau 4.14.</i> Les résultats obtenus du profil avec DWT «Haar» et différents niveaux de N....	54
<i>Tableau 4.15.</i> Les résultats obtenus du profil avec différentes bases d'ondelette.....	57
<i>Tableau 4.16.</i> Les résultats obtenus du profil avec différents nombres de K.....	59
<i>Tableau 4.17.</i> Les résultats obtenus avec la 1ère catégorie du hough sans et avec DWT.....	62
<i>Tableau 4.18.</i> Les résultats obtenus avec la 2ème catégorie du hough sans et avec DWT.....	62
<i>Tableau 4.19.</i> Les résultats obtenus avec la 3ème catégorie du hough sans et avec DWT.....	63
<i>Tableau 4.20.</i> Les résultats obtenus avec la 4ème catégorie du hough sans et avec DWT.....	63
<i>Tableau 4.21.</i> Les résultats obtenus avec la 5ème catégorie du hough sans et avec DWT.....	64
<i>Tableau 4.22.</i> Les résultats obtenus avec la 5ème catégorie du hough sans et avec DWT.....	64
<i>Tableau 4.23.</i> Les résultats obtenus de profil sans DWT (avec et sans sous-région).....	66
<i>Tableau 4.24.</i> Les résultats obtenus de profil avec DWT (avec et sans sous-région).....	68
<i>Tableau 4.25.</i> Les résultats obtenus de hough (avec et sans sous-région).....	70
<i>Tableau 4.26.</i> Comparaison entre les transformations.....	73

INTRODUCTION GENERALE

Depuis l'apparition de l'écriture, plusieurs civilisations, dont les Égyptiens, les Chinois, les Grecs, les Arabes et les Romains, ont joué un rôle dans son développement. Seulement une centaine des 3000 langues existantes ont un système d'écriture. Le début de l'ère du document imprimé a été marqué par l'invention de l'imprimerie par Gutenberg au 15ème siècle.

Les documents, qui sont des supports physiques utilisés pour conserver et transmettre des informations, peuvent être de nature textuelle, graphique ou multimédia. Et l'avènement de l'ère numérique a profondément transformé la façon dont les données sont collectées, conservées et traitées. Toutefois, le passage de l'information physique à des formats numériques pose de grands défis techniques, en particulier pour les documents imprimés scannés. Le redressement des documents est l'un de ces défis, un processus crucial pour assurer un bon alignement des textes et des images numérisées, ce qui facilite leur lecture, leur analyse et leur archivage.

Dans de nombreux secteurs, comme les archives historiques, les bibliothèques, les institutions financières et les systèmes de gestion documentaire, il est essentiel de redresser les documents imprimés scannés. Le taux de reconnaissance des systèmes OCR(reconnaissance optique de caractères) est très réduit en cas d'image scannée inclinée, ce qui peut entraîner des erreurs de transcription et des pertes d'information. En outre, les documents qui ne sont pas correctement alignés peuvent compliquer la lecture humaine, ce qui réduit l'accessibilité et l'utilité des documents numériques.

Notre objectif est de redresser les zones textuelles inclinées d'un document imprimé scanné. Dans cette perspective, notre mémoire vise à étudier différentes méthodes de redressement des documents imprimés scannés, en mettant l'accent sur l'utilisation de la transformée en ondelettes. Le but principal est de faire une comparaison de l'efficacité de ces méthodes et de suggérer des solutions optimales pour le redressement de documents.

La structure de notre mémoire est la suivante : Dans le premier chapitre, nous aborderons les généralités sur l'analyse des documents et du traitement des images. Dans le chapitre suivant, nous aborderons l'état de l'art des méthodes de redressement des documents imprimés scannés à. Le troisième chapitre traitera les généralités sur la transformée des ondelettes. Dans le quatrième chapitre, nous exposerons les divers résultats expérimentaux. Enfin, nous concluons notre travail par une conclusion globale.

Chapitre 1 : Généralités sur les documents et les images

I. Le document

1.1 Introduction

Le processus de conversion d'un document papier vers un document électronique compréhensible et réutilisable est étudié dans l'analyse d'images de documents.

Ce procédé concerne toutes les problématiques liées au langage écrit et à sa conversion numérique : reconnaissance des caractères, formatage du texte, organisation du contenu et accès à l'information pour des applications d'indexation.

Il est essentiel de procéder à plusieurs prétraitements pour reconnaître les documents, parmi lesquels on peut citer la détection d'inclinaison, qui est souvent un problème dans un système d'analyse des documents.

1.2 Définition d'un document

Un document est un moyen d'exprimer ou de transmettre de l'information, qu'elle soit écrite ou numérique. Il peut contenir une variété de données, y compris du texte, des images et des graphiques, et il est utilisé dans une variété d'applications, notamment la communication, l'enregistrement et la transmission d'informations.

1.3 Format d'un document

Il se manifeste à travers des textes, des tableaux, des dessins, des photos,...Il arrive fréquemment que la forme et le contenu d'un document soient très codifiés : règles de mise en page, typographie...

Ainsi, le document est un objet extrêmement riche tant sur le plan de sa forme, de sa structure, de son fond que de son contenu [1].

1.4 Le document électronique

Nous aborderons dans cette partie le sujet du document électronique présentant ces caractéristiques, ainsi que des documents avec une structure complexe et de la création de documents à l'aide d'outils électroniques.

1.4.1 Définition document électronique

Un document électronique est une version numérique d'un document, encodée sous forme de données stockées dans la mémoire d'un ordinateur ou sur un support informatique, permettant sa transmission entre différents systèmes informatiques. Ces données sont organisées en une série d'octets dans un fichier informatique. Il est important de noter qu'un document électronique peut être présent dans une variété de formats de fichier, ce qui implique diverses représentations possibles.

Un document électronique est tout contenu conservé sous forme électronique, notamment un texte ou un enregistrement sonore, visuel ou audiovisuel [2].

1.4.2 Caractéristique document électronique

Les documents électroniques ont plusieurs traits distinctifs. Pour commencer, ils sont disponibles sous forme numérique, ce qui leur permet d'être transmis et stockés électroniquement. Ils sont facilement manipulables et traitables à l'aide de logiciels informatiques, ce qui leur donne une grande flexibilité dans leur utilisation. De plus, la diversité de leurs formats de fichier, tels que PDF, DOCX ou JPG, permet une personnalisation selon les besoins et les préférences. De plus, les documents électroniques sont plus faciles à rechercher et accessibles car ils peuvent être consultés à partir de divers appareils électroniques.

Enfin, des mesures de sécurité peuvent être mises en place pour protéger la confidentialité et l'intégrité des informations qu'ils contiennent, garantissant leur fiabilité et leur utilisation sécurisée.

1.5 Documents à structures complexes

Le contenu et l'organisation des documents électroniques sont caractérisés par trois structures principales : linéaires, hiérarchiques simples et complexes. Les articles scientifiques, par exemple, sont structurés en chapitres, sections et paragraphes, créant ainsi des arbres logiques.

Les documents électroniques à structures complexes présentent une organisation sophistiquée et multi facette de leur contenu. Dans des domaines tels que la recherche universitaire, la documentation technique, les rapports d'entreprise et les manuels d'utilisation, où une présentation claire et organisée de l'information est essentielle, les documents à structures complexes sont couramment utilisés.

Les formes complexes, telles que les journaux et les magazines, incluent une diversité de contenus visuels et textuels, disposés de manière fluctuante afin de générer des pages riches en typographie. Une équipe éditoriale élabore des documents à structures complexes, tels que les journaux, puis les maquettistes et graphistes les mettent en forme à l'aide de logiciels de PAO. Chaque éditeur tente de se démarquer, ce qui engendre une variation intra-classe et interclasse entre les éditions et les publications concurrentes. Un exemple de documents à structures complexes est présenté dans la figure (1.1)



Figure 1.1. Un document à structure complexe d'un journal (exemple).

Plusieurs caractéristiques peuvent être observées pour identifier les documents à structures complexes. Tout d'abord, ces documents contiennent un large éventail de contenus, y compris du texte, des images, des graphiques et parfois des publicités. Ils ont souvent une mise en page complexe et une disposition visuelle sophistiquée qui utilise divers éléments comme la typographie, les colonnes et les encadrés pour organiser les informations de manière attrayante et compréhensible. De plus, il arrive fréquemment que ces documents soient divisés en sections thématiques clairement définies, chacune avec un titre distinctif.

De plus, il y a une hiérarchie des informations avec des titres, des sous-titres et des paragraphes qui guident le lecteur à travers le contenu. Enfin, il est important de noter que le contenu et la présentation de ces documents peuvent différer d'une édition à l'autre, ce qui contribue à leur complexité et à leur dynamisme.

Nous utilisons le concept de classification par classes pour simplifier l'identification des divers documents à structures complexes. Chaque classe regroupe un ensemble de documents qui partagent des traits. La catégorie des "journaux" regroupe une variété de journaux de différents éditeurs, tandis que la catégorie des "magazines" regroupe plusieurs magazines, et la catégorie des "dépliants" regroupent divers dépliants. Cette méthode facilite la gestion et l'analyse des documents en les organisant de manière plus claire et efficace.

1.6 Produire des documents en utilisant les outils électroniques

La production d'un document, de la conception à l'impression, en édition professionnelle, implique la collaboration de plusieurs personnes, comme l'auteur, le correcteur, le maquettiste et le typographe. Toutefois, les systèmes de production de documents organisés sont essentiellement ceux de l'auteur et du typographe.

L'utilisation d'outils numériques pour créer, éditer et formater des documents implique la production de documents à l'aide de moyens électroniques. Les logiciels de traitement de texte comme Microsoft Word, les logiciels de publication assistée par ordinateur (PAO) comme Adobe InDesign, les logiciels de création graphique comme Adobe Photoshop et d'autres applications spécialisées pour la conception de documents font partie de ces outils.

Par rapport aux méthodes traditionnelles, ces moyens électroniques permettent de produire des documents de manière plus rapide, efficace et flexible. Ces logiciels permettent de créer des mises en page sophistiquées, d'incorporer des images, des graphiques et d'autres éléments visuels et de collaborer facilement à distance sur un même document. De plus, les documents produits électroniquement peuvent être facilement stockés, partagés et diffusés sous forme numérique, ce qui les rend plus faciles à accéder et à diffuser.

1.6.1 Structure logique et structure physique d'un document électronique

Les différentes formes du document électronique comprennent la structure logique, la structure physique, l'image et le papier. Le document est organisé de manière logique, selon le point de vue de l'auteur, en chapitres, sections et paragraphes, ce qui reflète son organisation interne. Cette organisation diffère selon le but de l'application. Par ailleurs, l'aspect physique se focalise sur la présentation du document en vue de son impression, en tenant compte de critères tels que la pagination et la gestion des espaces.

a. Structure logique

La structure logique d'un document électronique fait référence à la façon dont les informations sont organisées au sein de celui-ci. Cela inclut la façon dont les titres, les sous-titres, les paragraphes, les listes et les sections sont liés les uns aux autres dans le document.

Un exemple de structure logique dans un document électronique pourrait être celui d'un rapport académique comme dans la figure (1.2).

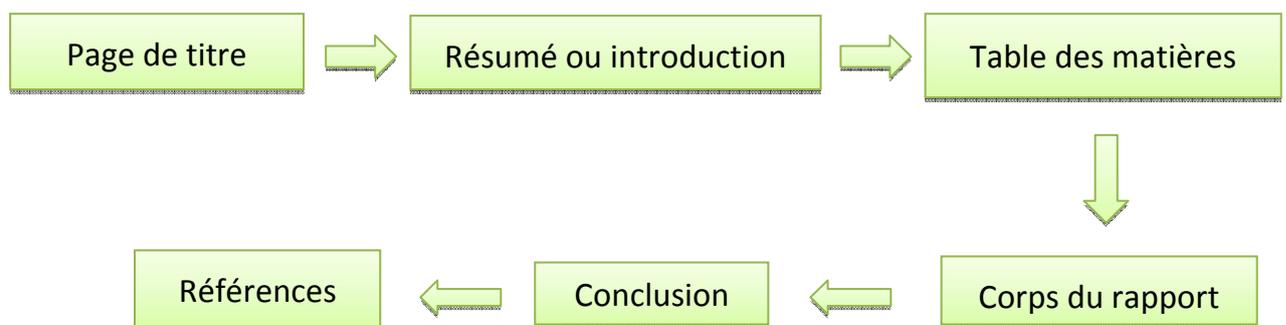


Figure 1.2. Un exemple de structure logique dans un document électronique.

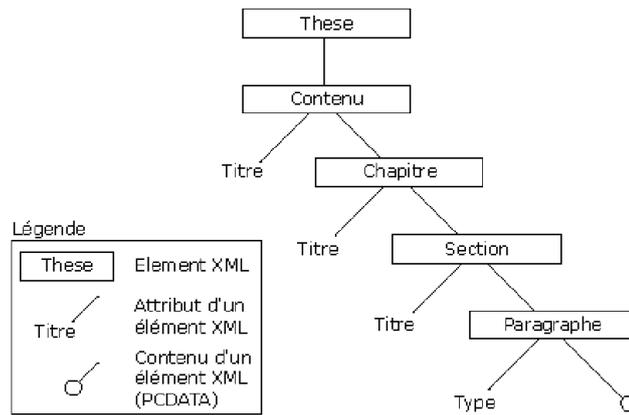


Figure 1.3. Exemple de structures.

b. Structure physique

La structure physique d'un document électronique est liée à sa mise en page ou à sa représentation visuelle. Cela comprend des éléments visuels tels que la police et la taille du texte, les marges, les en-têtes et les pieds de page, les images et les graphiques. La structure physique du document est cruciale pour son aspect esthétique et sa lisibilité.

Un exemple de structure physique dans un document électronique comme dans la figure (1.4).

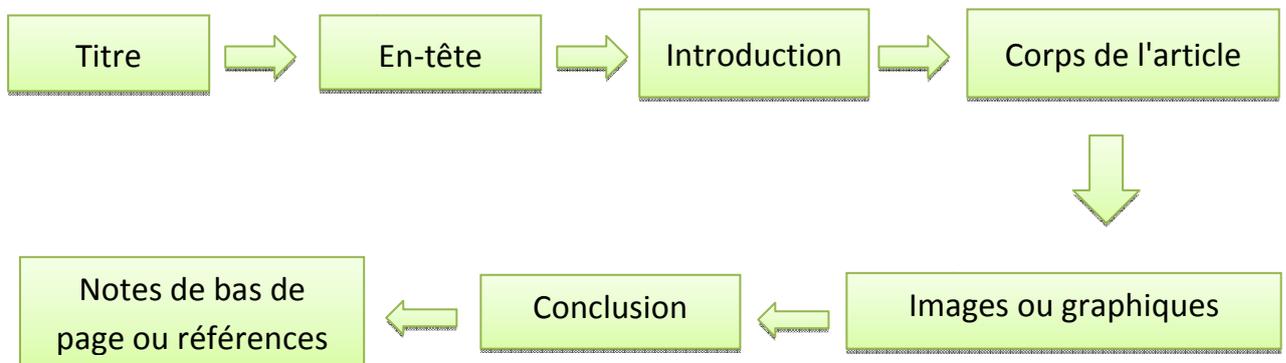


Figure 1.4. Un exemple de structure physique dans un document électronique.

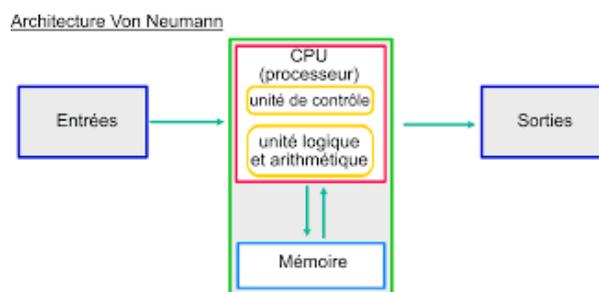


Figure 1.5. Exemple des structures.

Finalement, l'image est créée en modifiant la structure physique du document, tandis que sa représentation sur papier est le résultat de l'impression de cette image.

1.6.2 Les différentes étapes d'élaboration et les diverses formes intermédiaires d'un document

Les différentes étapes impliquées dans la production d'un document ainsi que les différentes formes intermédiaires qu'il peut prendre peuvent être effectuées par plusieurs processus. Au départ, le document est conçu ou rédigé dans sa forme logique, ce qui détermine son contenu et son organisation. Ensuite, la structure physique du document est créée à partir de cette structure logique, qui inclut la mise en page, le formatage et la présentation visuelle. Il est possible que cette étape nécessite l'utilisation de logiciels de traitement de texte ou de publication assistée par ordinateur (PAO). La structure physique peut être convertie en une image numérique pour une visualisation électronique, généralement dans un format tel que JPEG ou PNG. Enfin, le document peut être imprimé pour une utilisation conventionnelle sur du papier. Chaque étape de ce processus de production implique la transformation du document dans une forme intermédiaire jusqu'à sa forme finale. Voir la figure (1.6).

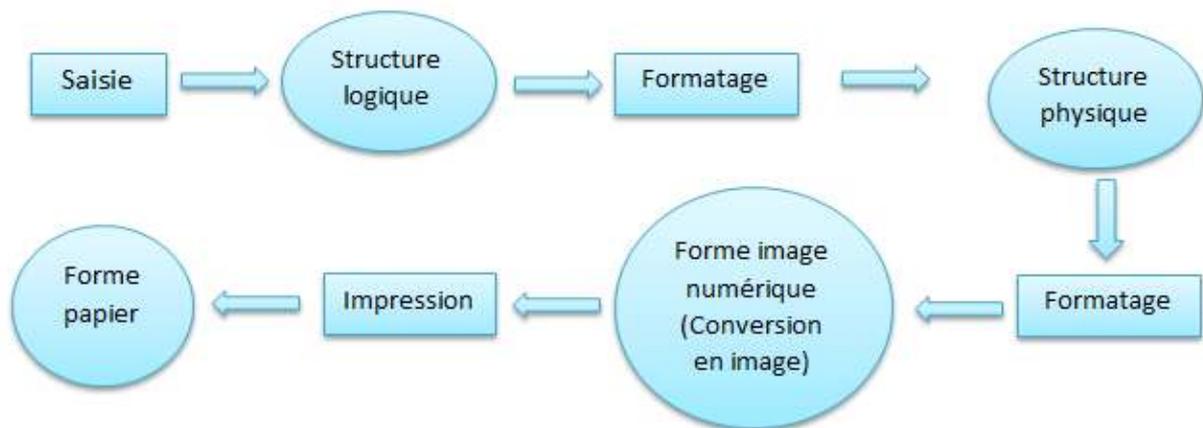


Figure 1.6. Etapes de production et les différentes formes d'un document.

1.6.3 Types de formats de fichiers

Les formats de fichiers sont des structures définies qui sont utilisées pour stocker divers types de données. Il existe une variété de formats de fichiers, notamment les formats structurés modifiables, les formats d'impression et d'échange, ainsi que les images.

Les formats de fichiers courants comprennent les formats de texte (tels que TXT, DOCX et PDF), les formats d'image (tels que JPEG et PNG), les formats audio (tels que MP3 et WAV), les formats vidéo (tels que MP4 et AVI), les formats de feuille de calcul (tels que XLSX et CSV), les formats de présentation (tels que PPTX et PDF) et les formats de données (tels que JSON et XML).

Chaque format de fichier a ses propres fonctionnalités et avantages, adaptés à divers types de contenu et d'utilisations, ce qui permet une manipulation efficace des données dans divers contextes.

a. Les formats éditables de fichiers structurés

Les utilisateurs ont la possibilité de modifier et de manipuler facilement le contenu grâce aux formats de fichiers structurés éditables, tout en préservant une structure claire. De nombreux formats proposent des caractéristiques de mise en page et de formatage avancées, ce qui les rend parfaits pour la conception et la modification de documents professionnels. On retrouve différents formats de texte éditables comme DOCX (Microsoft Word), ODT (OpenDocumentText) et RTF. Ces formats offrent aux utilisateurs la possibilité de créer, modifier et formater de manière dynamique du texte, des tableaux, des images et d'autres éléments de contenu.

b. Les formats d'échange et d'impression

Quant aux formats d'échange et d'impression, ils ne peuvent pas être modifiés. On retrouve des formats tels que PS, EPS et PDF. Leur objectif est de faciliter la visualisation et l'impression sur toutes les plateformes de manière similaire à l'original. En fait, les fichiers PS et EPS sont des fichiers texte ASCII et sont un programme de description de page. Toutefois, grâce à l'essor d'Internet, le format PDF est devenu le plus utilisé pour diffuser des documents électroniques sur Internet en raison de sa dimension plus compacte, tout en étant le format le plus populaire pour les imprimeurs. Les documents PDF sont des documents binaires. [2] [3]

Voici quelques exemples de formats d'impression et d'échange :

- PDF (Portable Document Format).
- XPS (XML Paper Specification).
- EPS (Encapsulated PostScript).
- PS (PostScript).
- PCL (Printer Command Language).
- TIFF (Tagged Image File Format).

c. Les images

Les images offrent également la possibilité de visualiser un document électronique. Les images ne sont pas compressées et les images sont compressées. Les premières nécessitent beaucoup d'espace de stockage. On peut citer parmi ces formats : BMP, PSD (format Adobe) et TIFF non compressé. Les secondes ont été mises en place dans le but de rendre leurs échanges sur Internet plus rapides. Effectivement, les images compressées nécessitent moins d'espace de stockage que celles non compressées, ce qui entraîne une accélération de leur transfert.

Les formats d'images compressées se distinguent par leur perte d'information et leur absence d'information.

La compression JPEG est l'un des formats d'images qui perd des informations. C'est un format de stockage couramment utilisé sur Internet et dans les appareils photo numériques. Cependant, il existe de multiples formats d'images compressées qui ne perdent pas d'informations, tels que : GIF, PNG et TIFF compressé. [5]

d. La structure générique

Un ensemble de documents est souvent organisé par des règles de structuration, également connues sous le nom de structures génériques. Chaque élément appartenant à une classe générique et soumis à un ensemble de règles grammaticales est construit selon ces règles.

Les images non compressées et les images compressées sont les deux principales catégories de la structure fondamentale des images électroniques. Les formats BMP, PSD (format propriétaire d'Adobe) et TIFF non compressés nécessitent plus d'espace de stockage car ils ne sont pas compressés. Les images compressées, quant à elles, ont été créées pour simplifier les échanges en ligne en réduisant leur taille sans perdre d'informations. Chaque format a ses propres avantages en termes de stockage, de transmission et de qualité d'image, offrant une variété d'options pour répondre à divers besoins d'utilisation.

1.7 L'image synthétique

Un document électronique structuré peut être utilisé pour créer une image synthétique. Alors que l'image numérisée est créée en numérisant un document papier, ces deux types d'images offrent une représentation visuelle du document électronique. Même si les images numérisées et synthétiques sont des images électroniques, elles présentent souvent des distorsions et des bruits, tandis que les images synthétiques sont généralement exemptes de ces problèmes.

II. Traitement d'image

1.8 Introduction

La première utilisation de techniques pour traiter les images remonte au 18ème siècle, à l'époque des pionniers de la photographie. Les premiers résultats de noircissement du nitrate d'argent par la lumière comparés à ceux obtenus aujourd'hui avec les films et les appareils disponibles sur le marché illustrent le développement réalisé dans ce domaine. [6]

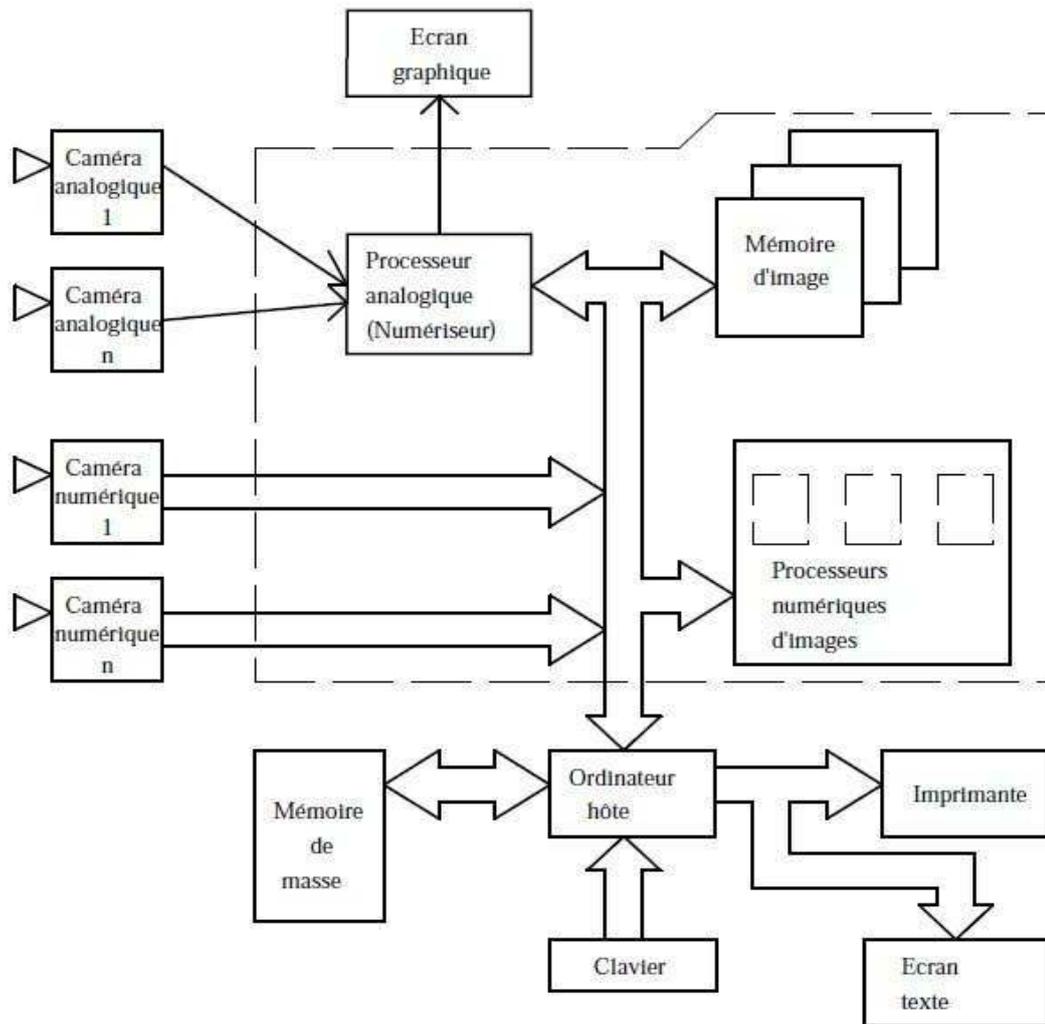
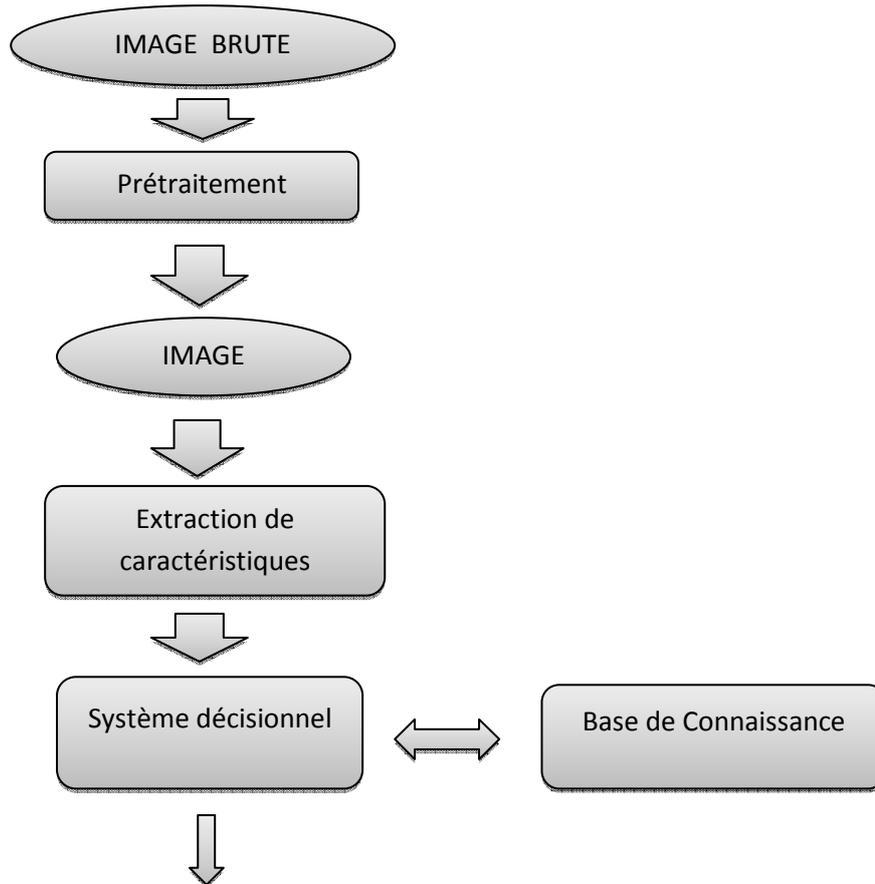


Figure 1.7. Architecture matérielle d'un système complet de traitement d'image.

Le domaine des mathématiques appliquées du traitement d'images étudie les images numériques et leurs modifications dans le but d'améliorer leur qualité ou d'en extraire des informations. Il s'agit donc d'une partie du traitement du signal qui traite des images et des données dérivées comme la vidéo, contrairement aux parties du traitement du signal qui traitent d'autres types de données comme le son et les autres signaux monodimensionnels. Il opère aussi en numérique, à la différence des techniques analogiques de traitement du signal comme la photographie ou la télévision classiques. [6]

La chaîne de vision assistée par ordinateur :



Action sur le milieu Environnant

1.9 Application du traitement d'image dans différents domaines

a. Le domaine militaire

- Missiles
- Le renseignement
- Les simulateurs « réels » (de vol avion, de char, etc.).

b. Le domaine médical

- (Angiographie, radiographie, échographie, scanné, IRM, etc.).

c. Le domaine industriel

- Le contrôle de la qualité des produits en bout de chaîne
- Le contrôle non destructif,
- Les manipulations automatiques par des robots.

d. Le domaine du multimédia

- La compression / décompression pour la transmission d'Images ou le stockage,
- L'amélioration de la qualité
- La TV haute définition (Standard MPEG4)
- La TV en relief
- Le coloriage des dessins animés, des vieux films N&B.

e. ***l'imagerie civile satellitaire et aérienne***

- (la météorologie ; la cartographie ; images satellites).

1.10 Notions fondamentales en traitement d'images

1.10.1 Définition d'une image

L'image représente une structure en deux dimensions, simple dans son organisation mais complexe dans son contenu, et elle représente également un objet tridimensionnel projeté sur un plan. La projection est constituée d'une matrice de points qui renferment chacun une information distincte de l'autre. Elle représente également un ensemble organisé d'informations qui, une fois affichées sur l'écran, ont une signification pour l'œil humain.

1.10.2 Acquisition d'une image

L'analyse de cette étape implique inévitablement le système d'acquisition dont il est question : l'œil. Les webcams, les appareils photo numériques, les caméras industrielles, les caméras infrarouges... pourraient être utilisées. En médecine, des instruments tels que l'IRM, le TEP, le scanner X, l'échographie Doppler, l'échographie, la scintigraphie, la tomographie, etc. sont utilisés.

On peut comparer tous ces systèmes à des capteurs. Il est important de se rappeler que la conversion analogique/numérique est une étape. Souvent, c'est cette étape qui restreint la qualité de l'image. La taille du plus petit élément (pixel) est l'une des caractéristiques intéressantes de ces capteurs, ainsi que l'inter-corrélation entre deux éléments voisins : plus cette inter-corrélation est faible, meilleure est l'image.

1.10.3 Définition d'une image numérique

Une image numérique est un signal numérique constitué d'unités élémentaires (connues sous le nom de pixels) qui correspondent à une partie de l'image. [7]

1.10.4 Définition du PIXEL

Le pixel, ou px, correspond à la partie la plus petite d'une image numérique. On le place en grille avec d'autres pixels, comme sur un écran d'ordinateur ou de téléphone portable. Un grand nombre de pixels sont combinés pour former une image matricielle, Voir la figure (1.8). [8]

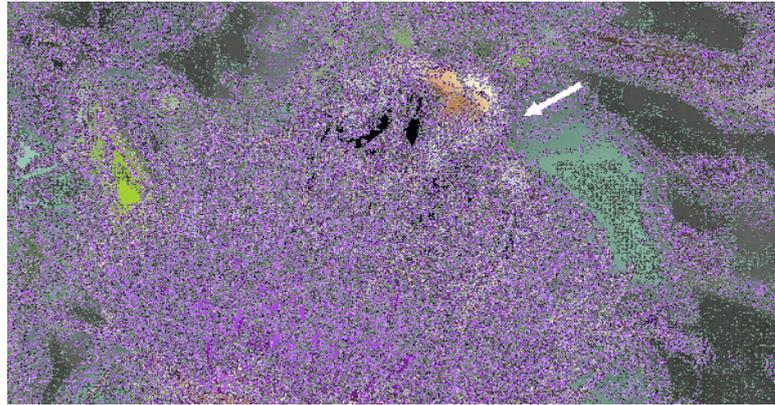


Figure 1.8. Image matricielle en HD.

1.10.5 Les images binaires (noir ou blanc)

Un pixel n'a la possibilité de prendre que les valeurs noir ou blanc. C'est généralement le genre d'image utilisé pour scanner du texte lorsqu'il est constitué d'une seule couleur.

1.10.6 Les images en niveaux de gris

Les images en gris contiennent 256 couleurs de gris.

- De manière conventionnelle, la valeur zéro correspond au noir (intensité lumineuse nulle) tandis que la valeur 255 correspond au blanc (intensité lumineuse maximum).
- Le chiffre 256 est associé à la mesure de l'image. Effectivement, chaque nombre représentant un niveau de gris est représenté par 8 bits, et il varie de 0 à 255. [9]

Valeurs des niveaux de gris et teintes de gris correspondantes

0....20....40....50....80....100....120....140....160....180....200....220....240....255



1.10.7 Les images couleurs

La synthèse additive des couleurs est à l'origine de l'espace couleur, c'est-à-dire que le mélange de trois composantes (comme (R, V, B)) crée une couleur. La couleur, l'intensité lumineuse et la chromaticité sont conservées. Un pixel est représenté par trois numéros. Le sens de ces valeurs varie en fonction du type de codage sélectionné. L'espace couleur Rouge, Vert, Bleu (R, V, B) est le plus couramment employé pour manipuler les images numériques (RGB en anglais). Cette représentation est utilisée pour restituer les couleurs sur l'écran (synthèse additive), Voir la Figure (1.9).

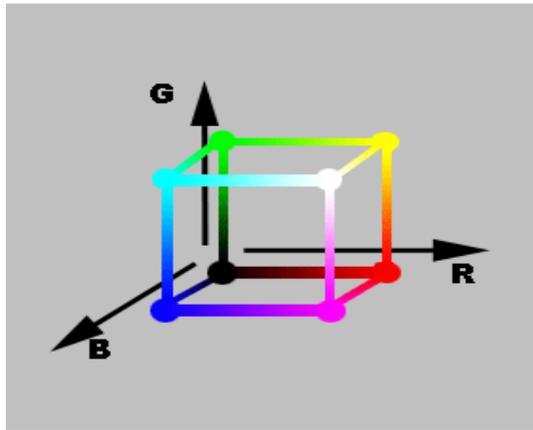


Figure 1.9. L'espace couleur Rouge Vert Bleu (RGB).

1.10.8 Bruit dans une image

On peut définir le bruit dans une image comme une variation soudaine d'un pixel isolé par rapport à ses voisins, ce qui a un impact sur la qualité de l'image.

Ce son se manifeste à travers :

- Éclairage excessif ou insuffisant.
- La saturation ou un rapport S/B insuffisant de la caméra.
- Distorsion optique : distorsions, astigmatisme, difficultés de vision, amélioration.
- Son électronique associée au capteur (son des composants).
- Lacunes du système de digitalisation.

1.10.9 L'histogramme

L'histogramme d'une image est l'histogramme h d'une image correspondant aux niveaux de gris des pixels. C'est une fonction discrète est définie par :

$$h(p) / \forall p \in \{0, \dots, 255\}$$

- L'histogramme $h(p)$ d'une image représente la distribution des intensités des pixels.

hp = Nombre des pixels ayant p pour niveau de gris. [9]

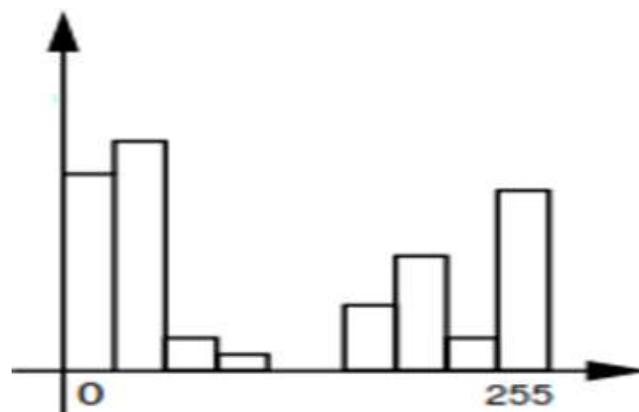


Figure 1.10. Histogramme.

1.10.10 **Segmentation d'une image**

L'objectif de la segmentation d'image est de regrouper les pixels de l'image en fonction de critères préétablis.

On peut classer les méthodes de segmentation des documents en deux catégories :

a. Les méthodes ascendantes

Dans les méthodes ascendantes, les documents sont pris en compte au niveau pixel et les données sont affinées grâce à des opérations de groupement. De cette manière, les éléments connexes sont créés, puis les mots sont retrouvés, et enfin les lignes et les paragraphes. [10]

b. Les méthodes descendantes

Les méthodes descendantes prennent en entier, le segment en petits bloc, qui sont ensuite segmentés jusqu'à l'obtention des blocs suffisamment petits et isolés, ces méthodes supposent que le document est conforme à une structure particulière. Bien qu'elle soit une limitation, la plupart des journaux et des revues ont été segmentés sans aucun problème.

On peut mentionner parmi ces algorithmes : l'algorithme RSLA (SmoothingAlgorithm of RunLength) et l'algorithme RXYC (Recursive X-Y Cut).

1.10.11 **Classification**

La classification implique de définir la nature des régions obtenues lors de l'étape de segmentation. Ces régions peuvent être en forme de texte, de graphique, de tableau ou d'image.

1.11 Conclusion

Grâce à ce chapitre, nous avons pu obtenir une vision d'ensemble de l'analyse et du prétraitement des documents, une étape cruciale et même décisive pour une reconnaissance optique efficace des caractères et un taux de réussite amélioré.

Chapitre 2 : Les méthodes de redressement des documents imprimés scannés : état de l'art

2.1 Introduction

Les documents numérisés peuvent souvent présenter des distorsions telles que des inclinaisons, des rotations, ou des déformations, ce qui compromet leur lisibilité et leur utilisation ultérieure. Afin de surmonter ces obstacles, le redressement des documents imprimés est une étape cruciale, visant à restaurer leur alignement et leur orientation originaux pour une manipulation et une analyse efficaces.

Le deuxième chapitre de ce mémoire se consacre à une analyse exhaustive des méthodes de redressement des documents imprimés scannés, représentant ainsi un état de l'art dans ce domaine en constante évolution. Cette revue de la littérature vise à explorer les diverses approches et techniques proposées dans la littérature académique et industrielle pour le redressement des documents numérisés. Nous examinerons en détail les méthodes traditionnelles basées sur le traitement d'image ainsi que les approches plus récentes qui exploitent les progrès de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique.

En somme, ce chapitre vise à offrir une vue d'ensemble exhaustive des approches actuelles en matière de redressement des documents imprimés, fournissant ainsi un fondement solide pour le développement et l'évaluation de méthodes innovantes dans le cadre de notre projet de recherche.

Une inclinaison du texte par rapport à l'axe horizontal de l'image se produit très souvent lors de la numérisation d'un document en raison d'un mauvais positionnement des pages ou d'une erreur de manipulation, ou parce que le document contient une sous-structure physique inclinée. Avant de passer aux étapes suivantes de segmentation et de reconnaissance, une phase d'estimation de l'orientation d'un document est donc nécessaire.

La majorité des algorithmes de reconnaissance ne fonctionnent que lorsque le document est correctement redressé. Cela explique l'intérêt du redressement [11].

L'angle d'inclinaison entre la ligne horizontale du document et l'orientation des lignes du texte est appelé angle.

Nous cherchons à trouver " β " et à faire une rotation de texte de " β ".



Figure 2.1. Un document incliné.

Il existe de nombreuses façons d'évaluer l'angle d'inclinaison. Ils peuvent être classés en fonction de la méthode utilisée :

- Les méthodes qui utilisent le profil de projection.
- Les méthodes qui utilisent la transformée de Hough.
- Les méthodes qui utilisent la Transformation de Fourier.
- Les méthodes qui utilisent les k plus proches voisins.
- La cross-corrélation.

2.2 Algorithmes de détection d'orientation

2.2.1 Méthodes de projection

Cette méthode permet de calculer l'histogramme horizontal du document pour chaque angle dans l'intervalle de détection. Cela implique de projeter horizontalement les pixels de l'image pour créer un histogramme représentatif du nombre de pixels noirs tout ou long d'une ligne. La projection horizontale d'un document dont les lignes s'étendent horizontalement contiendra des points avec des largeurs égales à la hauteur du caractère, voir la figure (2.3) et (2.4).

Plusieurs études ont été proposées pour calculer l'angle d'inclinaison, parmi lesquelles nous mentionnons celle qui maximise la somme des largeurs des zones vides de l'histogramme. [1]

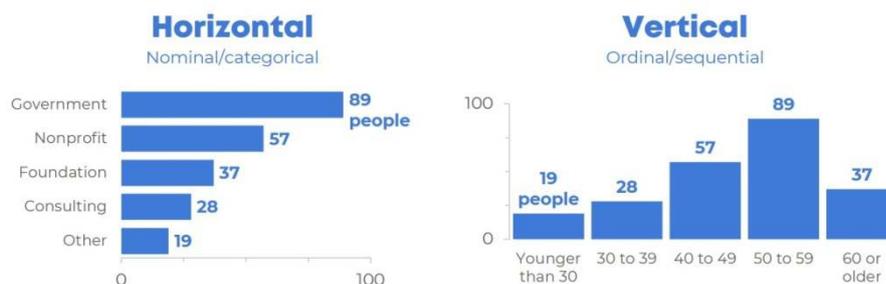


Figure 2.2. L'histogramme horizontal et vertical.

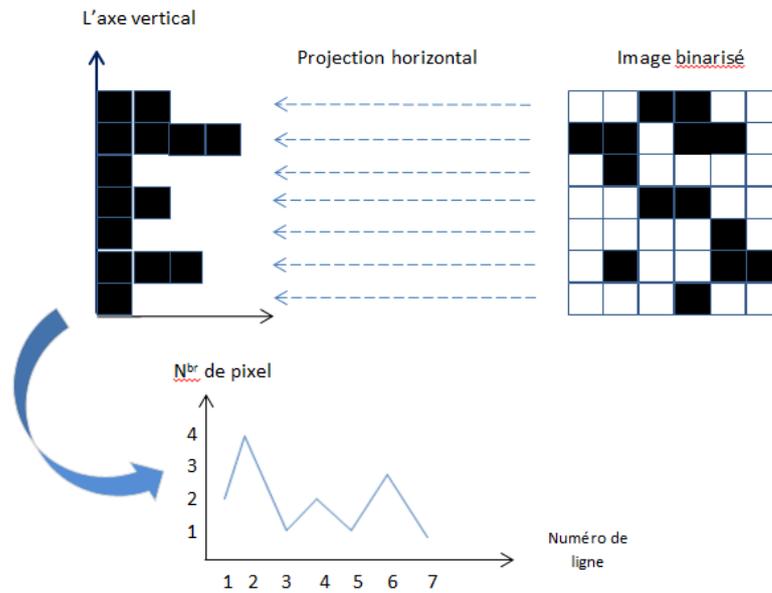


Figure 2.3. Illustration du calcul l'histogramme horizontal.

L'algorithme suivant est proposé pour extraire l'histogramme horizontal à partir de toute image binaire :

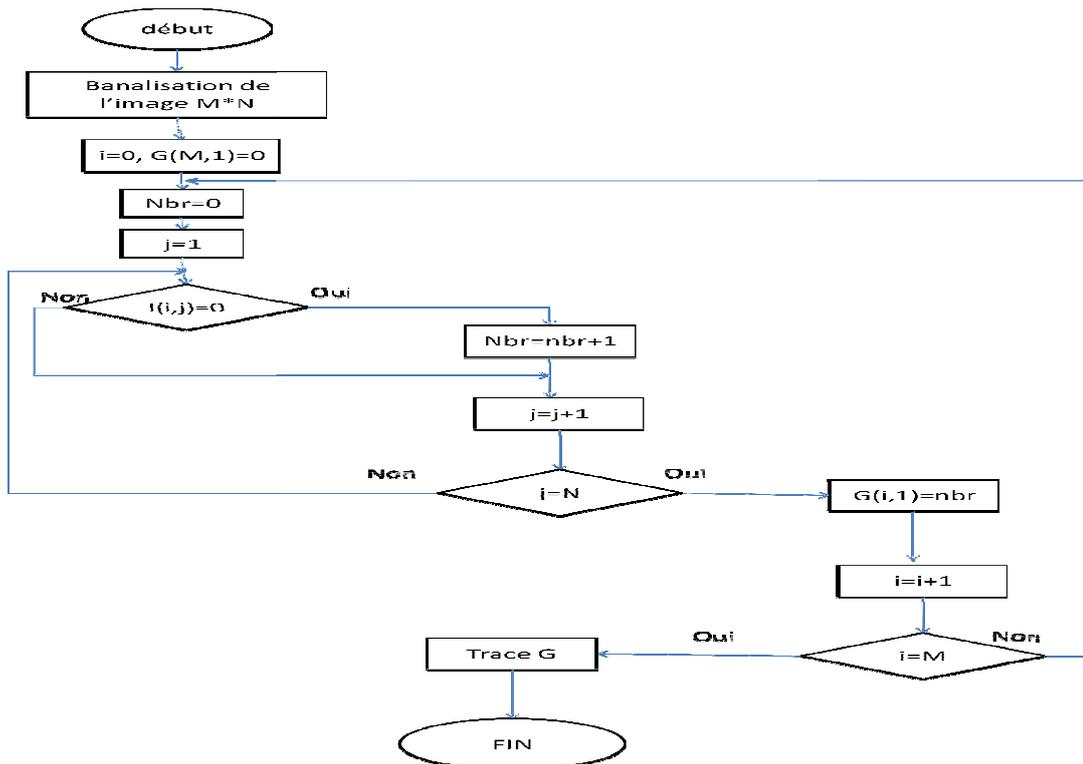


Figure 2.4. Algorithme proposé.

$I(i,j)$: pixel de l'image binaire.

i : l'ordre de ligne.

j : l'ordre de colonne.

G : c'est un vecteur colonne qui représente le nombre de pixel noir dans chaque ligne.

nbr : nombre de pixels noir découverts dans chaque ligne.

a. analyse du profil de projection

Pour créer un histogramme unidimensionnel, l'analyse du profil de projection est une technique de traitement d'images qui consiste à projeter les valeurs des pixels le long d'un axe spécifique, comme l'axe horizontal ou vertical. C'est une méthode qui peut être utilisée pour identifier des traits tels que des lignes ou des contours dans une image. Par exemple, une projection horizontale peut être utilisée pour mettre en évidence les lignes horizontales dans l'image. Des domaines tels que la reconnaissance de caractères et la détection de contours utilisent largement cette méthode, mais elle a des limites telles que sa sensibilité au bruit et aux variations d'éclairage. Malgré cela, il continue d'être une méthode utile pour l'analyse et le traitement d'images dans de nombreux contextes.

Parce que les textes sont alignés horizontalement dans la plupart des images du document, un profil de projection horizontale est utilisé pour estimer l'angle d'inclinaison. Un vecteur colonne de dimension $M \times 1$ est obtenu lorsque le profil de la projection horizontale est appliqué sur une image numérique binarisée $M \times N$. Les valeurs d'un niveau de gris spécifique (noir ou blanc) de chaque ligne de la matrice de l'image numérique sont les éléments de ce vecteur. La figure II.5 illustre un profil de projection d'une image inclinée d'un document spécifique.

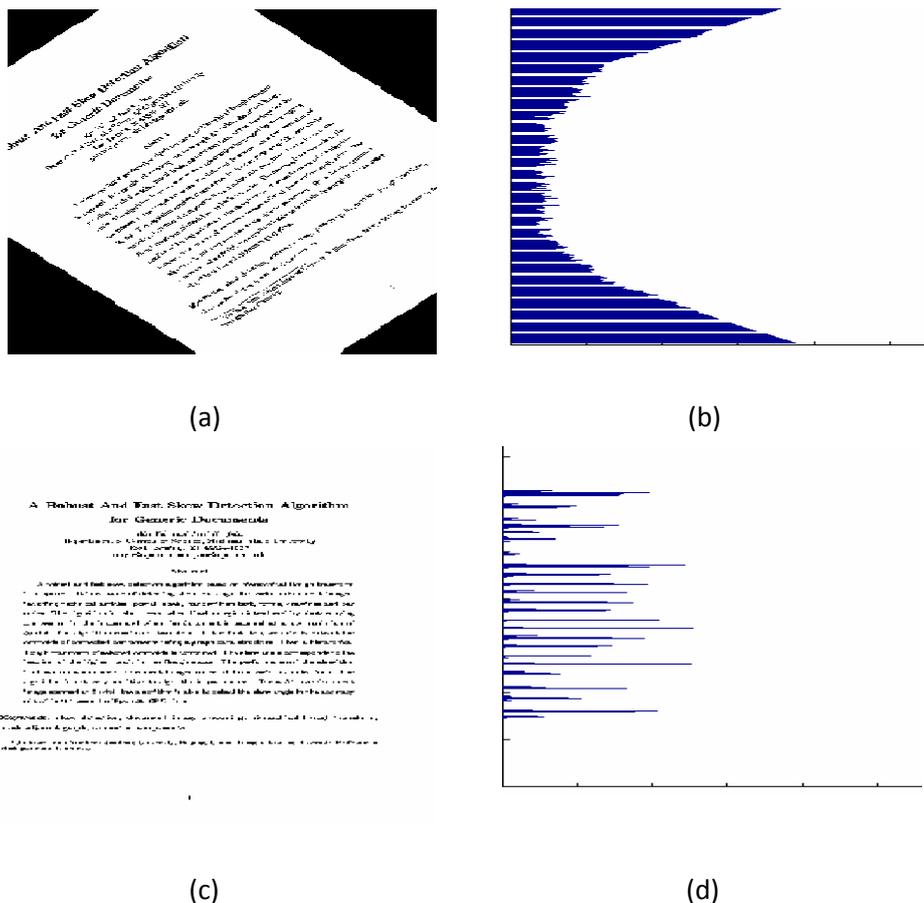


Figure 2.5. Détection de l'angle d'inclinaison par la méthode de projection.

a : Image inclinée. b : Histogramme horizontal.

c : Image (non inclinée). d : Histogramme horizontal après le redressement.

2.2.2 Transformation de Hough

En traitement d'images, la transformation de Hough est une méthode cruciale qui permet de repérer des formes géométriques dans une image, comme des lignes droites, des cercles ou des ellipses, ainsi que la détection d'orientation. Grâce à cette méthode, les formes géométriques sont représentées dans un espace de paramètres, ce qui permet de les repérer même en cas de bruit ou de distorsion dans l'image. Dans un espace de paramètres, la transformation de Hough transforme les points de l'image en courbes ou en formes, chaque courbe ou forme étant une instance de la forme recherchée dans l'image. Dans des secteurs tels que la vision par ordinateur, la robotique et le traitement d'images médicales, cette méthode est couramment employée pour des applications comme la détection de lignes de route, la reconnaissance de motifs et la détection de contours dans les images radiographiques. Hough suggéra une méthode extrêmement simple pour déterminer des lignes particulières à partir d'un ensemble de points caractéristiques. Il y a une infinité de droites auquel appartient chaque point (x, y) du plan. Leur coefficient directeur est a et leur ordonnée à l'origine est b , et la droite est définie par l'équation : $Y = a * X + b$

Dans l'espace de Hough, on peut donc associer une droite à chaque point du plan en utilisant l'équation : $b = -a * X + Y$

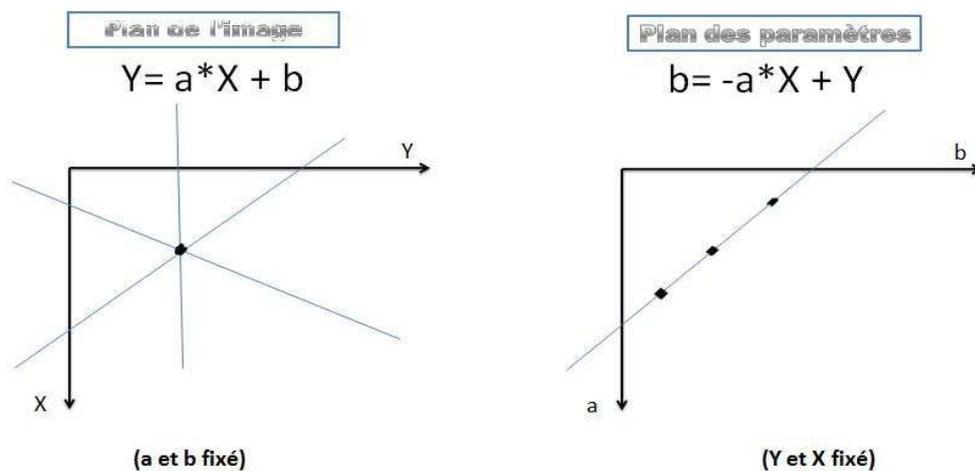


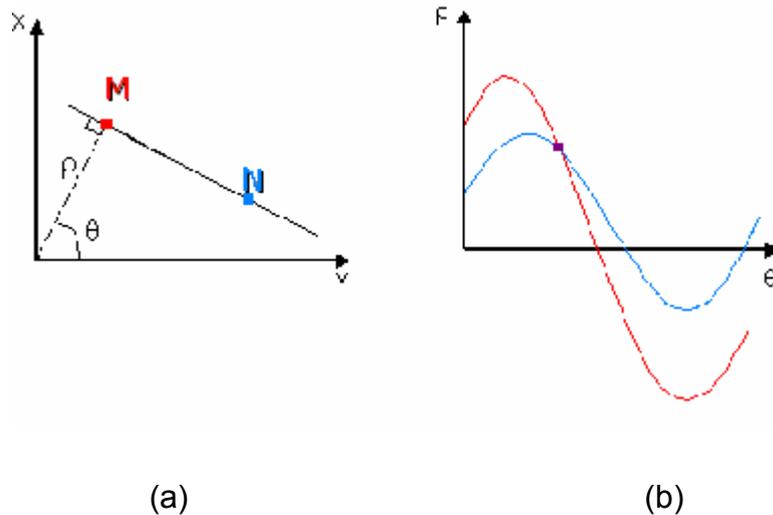
Figure 2.6. Illustration d'une ligne droite sur un plan.

Toutefois, cette décision de paramétrage est inadéquate car les paramètres a et b ne fluctuent pas de manière homogène. À titre d'exemple, une droite verticale n'est pas possible dans cet espace (le coefficient directeur est infini).

Ainsi, Pour la détection d'une ligne, chaque point M_i on utilise, l'équation polaire d'une droite qui passe par le point (x, y) étant :

$$\rho = x * \cos(\theta) + y * \sin(\theta)$$

Dans le plan des paramètres, une droite sera représentée par un ensemble de sinusoides qui se coupent en un seul point de coordonnées polaires (ρ_0, θ_0) qui est caractéristique de cette droite (figure 2.7).



(a) : Plan cartésien (x, y) . (b) : Plan des paramètres (ρ, θ) .
Figure 2.7. Illustration d'une ligne droite dans l'espace de Hough.

a. L'algorithme proposé

Selon la figure 2.6, l'algorithme suggéré repose sur la transformation en ondelette, ainsi que sur le seuillage du contour horizontal et l'algorithme Hough.

Après avoir passé par un filtre passe bas, **La décomposition de l'image par transformée en ondelette (DWT)** nous permet d'obtenir des approximations successives de l'image par décimation, ainsi que de détecter les contours après avoir passé par un filtre passe haut. On peut finaliser cette décomposition en effectuant simplement une convolution de l'image en utilisant les masques de HAAR.[12]

L'opération du seuillage du contour horizontal consiste à réduire le nombre de points en binarisant l'image, ce qui est crucial pour calculer la TH.

L'angle d'inclinaison est détecté par l'algorithme suivant : [13]

Début

- Initialiser le tableau $H(\rho, \theta)$ à zéro
- Calculer la transformée en ondelettes
- Le seuillage de l'horizontale

Chaque point de la matrice du contour seuil doit être réalisé.

Pour chaque point (x, y)

{

Pour $0 \leq \theta \leq \pi$ % $[0, \pi]$ est l'intervalle de détection

{

Calculer $\rho = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta$

```

        Incrémenter H(ρ, θ)
    }
}

```

Trouver les coordonnées (ρ_m, θ_m) de la valeur maximale du tableau $H(\rho, \theta)$
 θ_m Correspond à l'angle d'inclinaison

Fin

Avantage :

- On peut ajuster l'exactitude en modifiant la résolution de l'axe θ .
- Pour réduire le temps de traitement, il est envisageable de réduire le nombre de pixels à mettre en évidence dans l'espace paramétrique (ρ, θ) .
- La zone de détection se situe entre 0° et 180° .
- Conçu pour les documents à plusieurs colonnes.

Inconvénients :

- Repérage d'un angle unique d'inclinaison.
- La détection du véritable angle d'inclinaison est difficile lorsque cette méthode est utilisée sur des documents contenant un texte clair et des zones non textuelles.
- L'importance d'un espace de mémoire considérable.
- Sensibilité au bruit.

2.2.3 Regroupement des plus proches voisins

Dans cette approche, la direction du segment qui relie chaque composante à son plus proche voisin est déterminée par :

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{(M_j y - M_i y)}{(M_j x - M_i x)} \right)$$

Les coordonnées de centre de gravité du composante connexe i sont représentées par $(M_i x, M_i y)$.

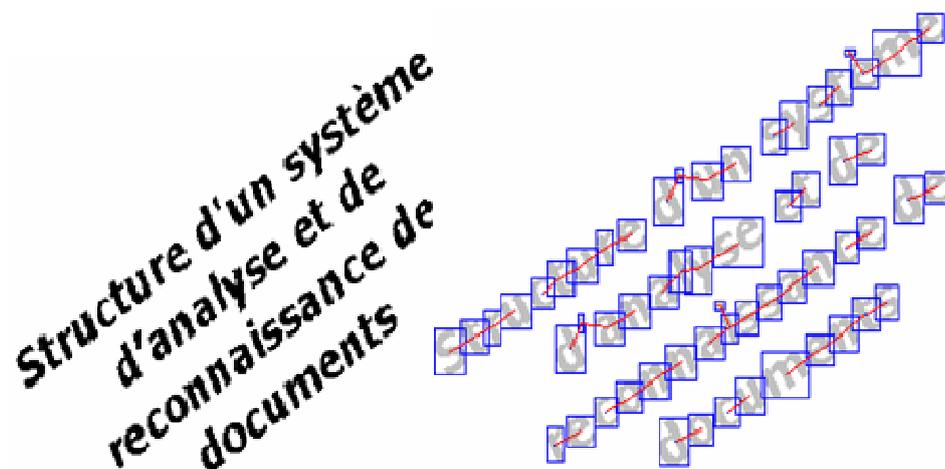
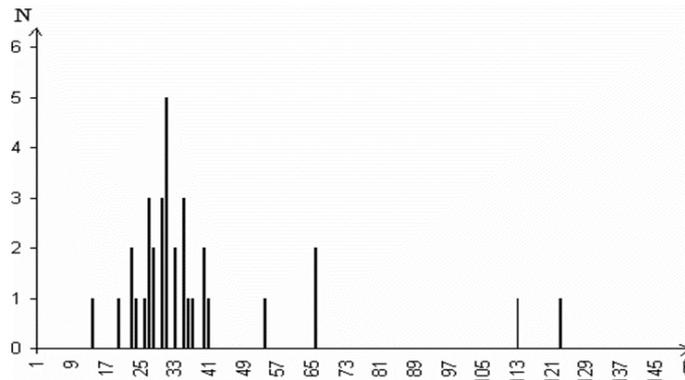


Figure 2.8. Texte incliné et ces composantes connexes.

Un histogramme d'angle regroupe ces directions et son sommet correspond à l'angle d'inclinaison du document, (voir Figure 2.9). [1]



Histogramme des angles

N : Etant le nombre de segments correspondant à chaque angle θ

Figure 2.9. Méthode de groupement des plus proches voisins.

Avantage :

- L'intervalle de détection peut varier.
- Repérage de divers angles d'inclinaison.
- Adapté aux documents à plusieurs colonnes.

Inconvénients :

- Un temps de traitement extrêmement crucial.
- Très sensible au son.
- Il y a des caractères joints.
- Inapproprié pour des fichiers contenant des illustrations ou des photos.

a. La méthode de codage des séries de pixels noirs

Grâce à cette technique, il est possible de repérer les séries verticales de pixels noirs d'un document, et de marquer le point final de chaque série, tandis que les autres points sont supprimés, (voir figure 2.10). [14]

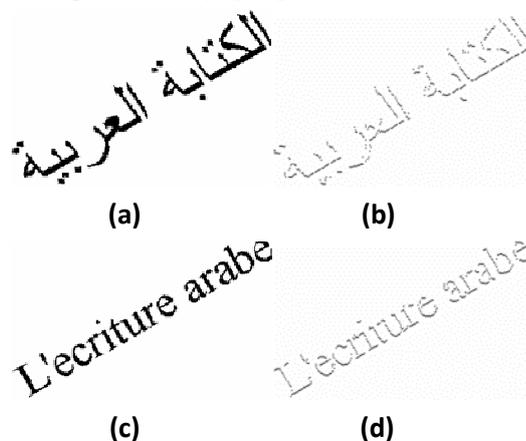


Figure 2.10. Méthode de codage des séries de pixels noirs.

(a) Texte arabe incliné. (c) Texte latin incliné.

(b, d) Application de la méthode de codage des séries de pixels noirs.

b. La méthode des composantes connexes

Cette méthode consiste à calculer les composantes du document (voir figure 2.11). Par la suite, il n'est utilisé que les points centraux de ces derniers pour évaluer l'angle d'inclinaison. [14]

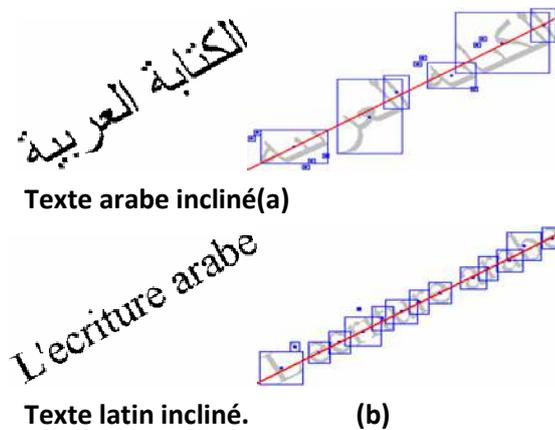


Figure 2.11. La méthode des composantes connexes.

(a,b) : Les points centraux des composantes connexes.

Avantage :

- Cette approche offre de bonnes performances pour les documents en latin.

Inconvénients :

- L'écriture arabe est cursive, ce qui signifie que les points centraux des composantes ne sont pas alignés sur la même ligne, ce qui explique pourquoi ces composantes ne sont pas de taille uniforme.

c. Une approche se basant sur l'extraction des liaisons

On a suggéré cette méthode qui repose sur les histogrammes verticaux et horizontaux pour repérer les connexions. [14]

L'étape la plus importante dans cette approche est la détection de liaisons, elle consiste à détecter les liaisons inter caractères (Figure 2.12). En calculant les histogrammes verticaux et horizontaux pour chaque composante qui comprend un sous mot, elle est réalisée.

En règle générale, les liaisons se distinguent par une hauteur égale à celle des caractères et leur fréquence d'apparition est déterminée à partir des histogrammes. Ensuite, les liaisons sont extraites et correspondent aux zones dont la hauteur (largeur) est inférieure à la hauteur (largeur) la plus courante dans l'histogramme vertical (horizontal). [14]

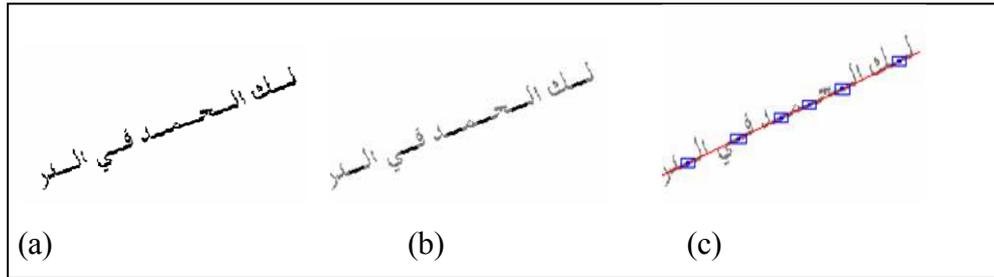


Figure 2.12. La méthode d'extraction des liaisons.

(a) Texte incliné. (b) Détection de liaisons. (c) Les points centraux des liaisons.

Avantage :

- La diminution du nombre de points.
- L'exactitude (précision).

Inconvénients :

- Sous l'influence de certains caractères arabes.

d. Une approche travaillant seulement sur des sous régions de l'image

L'utilisation de la page entière n'est pas nécessaire. Quelques lignes de texte sont suffisantes pour la détection de l'angle d'inclinaison [1].

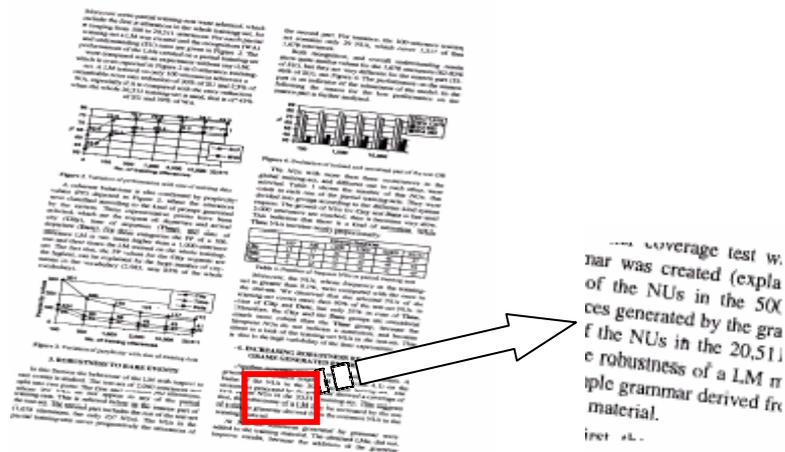


Figure 2.13. La sélection d'une région à partir d'un document.

Pour choisir la section adéquate à utiliser, nous extrayons un segment de la page qui se concentre sur les points dont les coordonnées sont les pics horizontaux et verticaux du profil de projection. Ainsi, on peut localiser la partie de la page avec la densité maximale de pixels noirs et blancs.

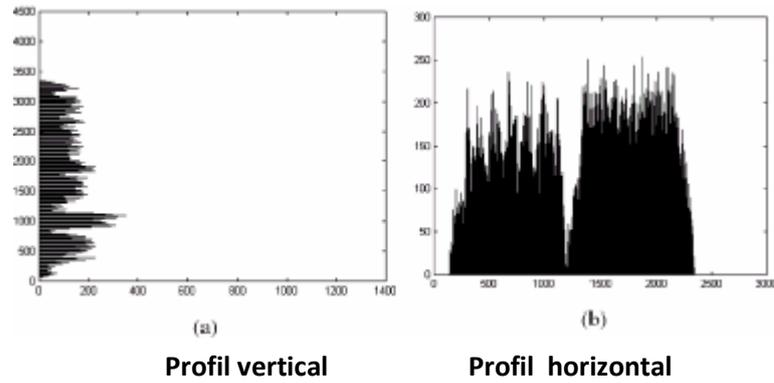


Figure 2.14. Histogrammes du document.

Dans la plupart des documents, cette méthode assure la division du segment du texte, car la partie textuelle est très noire par rapport aux graphiques et aux tableaux, etc. Elle est considérée comme une méthode « hybride » car elle utilise seulement une partie d'une image à l'aide de méthode de « sous-région d'image » puis appliquer la méthode de profil ou la méthode de hough.

L'organigramme suivant nous rappelle en détail les étapes à suivre pour obtenir la sous-image adéquate à partir de l'image $m \times n$.

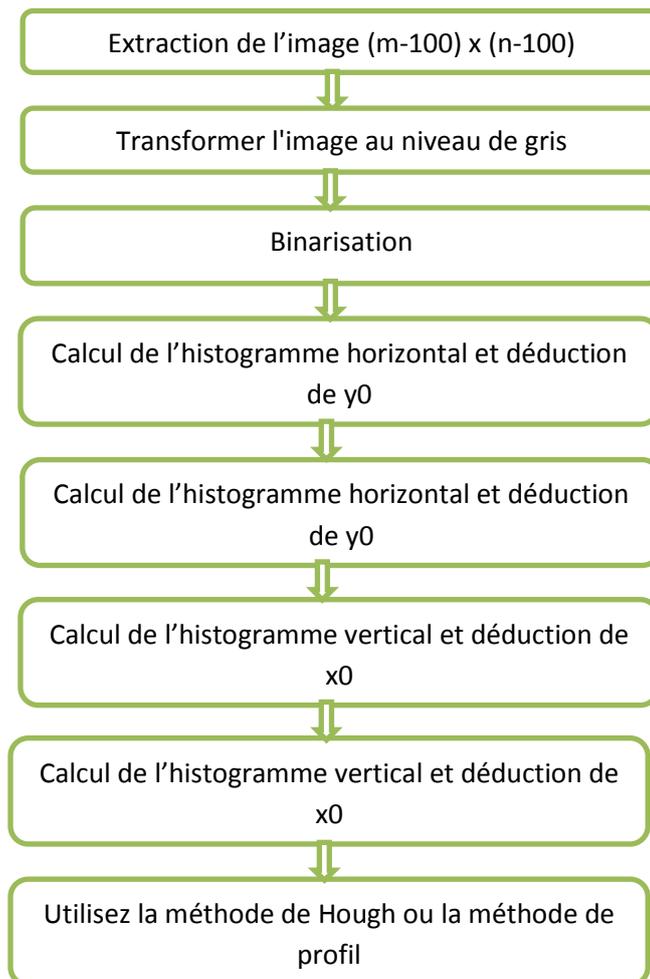


Figure 2.15. L'organigramme de la méthode hybride.

Avantage :

- Cette approche est obligatoire pour les documents à plusieurs colonnes.
- Elle est rapide et simple.
- L'utilisation d'une partie de la page est plus sécurisée.

Inconvénients :

- Lorsque les graphes et les images sont présents dans le document, cela perturbe la technique. Dans ce cas, il est préférable d'utiliser la page entière.

e. Les approches travaillant sur le document compressé

OLEG et al ont proposé la réduction de la résolution du document. [15]

Avantage :

- Rapidité.
- Pas de restriction d'angle de détection.
- Une résolution minimale est adéquate pour le traitement.

Inconvénients :

- Il n'existe que quelques méthodes de détection de l'inclinaison qui fonctionnent avec des images comprimées.
- L'image est balayée à deux reprises (la première pour détecter l'inclinaison et l'autre pour l'analyse).

2.2.4 Correction de l'inclinaison

Après la détermination de l'angle d'inclinaison, l'image sera corrigée. Pour chaque pixel (x, y) de l'image inclinée, on applique les nouvelles coordonnées (x', y') dans l'image redressée, qui sont calculées de la manière suivante :

$$\begin{aligned}x' &= x \cos(-\theta) + y \sin(-\theta) \\y' &= y \cos(-\theta) - x \sin(-\theta) / \text{ Avec } \theta \text{ est l'angle d'inclinaison de du document.}\end{aligned}$$

2.3 Conclusion

Dans le domaine du traitement d'images pour l'analyse de documents, l'évaluation des performances des algorithmes de redressement se concentre souvent sur deux critères principaux: Le temps de détection et de correction de l'inclinaison, ainsi que l'exactitude de l'estimation de l'angle.

Ces paramètres sont vitaux pour assurer à la fois une Correction rapide et précise des images numérisées. Les chercheurs s'efforcent de trouver un équilibre entre vitesse de traitement et précision de l'angle estimé, en combinant des approches traditionnelles et des techniques modernes telles que l'apprentissage automatique pour répondre aux besoins croissants des applications d'analyse de documents dans le monde numérique actuel.

Chapitre 3 : Généralités sur la transformée en ondelettes et reconnaissance de documents

III. La théorie des ondelettes

3.1 Introduction

Dans le domaine du traitement du signal et de l'image, la transformée en ondelettes est une méthode efficace qui permet d'analyser et de représenter les données dans diverses gammes de fréquence et d'échelle. La transformée en ondelettes, à la différence de la transformée de Fourier, qui repose sur des fonctions sinusoïdales, utilise des fonctions d'ondelettes, ce qui permet une représentation plus souple des signaux non stationnaires et des images avec des structures à différentes échelles. La conversion en ondelettes est une étape cruciale dans notre processus de traitement de l'image, il est essentiel que son utilisation s'intègre harmonieusement à cette chaîne. Dans ce chapitre, nous abordons la transformation en ondelettes et les motivations de son introduction dans le domaine du traitement du signal et de l'image (TSI), en mettant l'accent sur l'analyse multidimensionnelle.

Certains défauts de la transformée de Fourier sont comblés par la transformée en ondelettes, ce qui permet de régler la précision de l'analyse en fonction de la fréquence ou du temps. Par ailleurs, l'analyse multi-résolution est intrinsèquement liée à la transformation en ondelettes, ce qui permet d'analyser l'information contenue dans un signal ou une image à différentes échelles, ce qui permet de mettre en lumière des caractéristiques qui semblent invisibles au premier abord. [16] [17]

3.2 Le temps-fréquence : l'étude

3.2.1 La transformation de Fourier

La transformation de Fourier est une opération mathématique qui permet de décomposer une fonction périodique en une somme de sinus et de cosinus de différentes fréquences. Elle est utilisée dans de nombreux domaines, notamment en physique, en ingénierie et en traitement du signal, pour analyser et représenter des signaux dans le domaine fréquentiel plutôt que temporel.[18]

$$\mathbf{X}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-i\omega t} dt$$

Le principe de la transformée de Fourier repose sur l'idée que toute fonction périodique (ou quasi-périodique) peut être exprimée comme une somme de sinusoïdes, c'est-à-dire de sinus et de cosinus. En ajustant les amplitudes avec des coefficients appropriés et en modifiant les phases pour qu'elles se combinent ou s'annulent, on peut représenter la fonction originale.



Figure 3.1. La transformation de Fourier.

Toutefois, l'analyse de Fourier, en raison de sa nature, révèle rapidement ses limites : son calcul requiert la connaissance de l'histoire temporelle complète du signal. En outre, l'information sur le temps est présente dans une transformée de Fourier (la transformée inverse est donc possible), mais elle est dissimulée dans les phases : il est donc impossible d'en extraire en pratique. L'étude d'un signal se limite donc à l'étude du temps ou des fréquences qu'il renferme, sans qu'il soit possible de combiner les deux analyses.

$$\mathbf{x(t)} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

Malgré l'introduction – et le succès – de la transformée de Fourier rapide (FFT), l'analyse de Fourier n'est donc pas par définition appropriée pour l'étude des signaux non stationnaires. Il est beaucoup plus fréquent de rencontrer ces signaux que les signaux stationnaires. Il sera donc nécessaire d'utiliser une autre méthode d'analyse qui prenne en considération l'information temporelle du signal pour leur étude. [16][19]

3.2.2 La transformation à fenêtre de Fourier

Afin de compenser l'absence d'informations sur le temps dans la transformée de Fourier, une nouvelle méthode d'analyse est donc mise en place : elle s'appuie sur une « fenêtre creuse ». Cette approche, qui peut s'appliquer aux signaux non-stationnaires, est très proche de l'analyse spectrale : on établit une fenêtre qui servira de masque sur le signal, dans laquelle on suppose que le signal est localement stationnaire, puis on décale cette fenêtre le long du signal pour une analyse complète. [16][20]

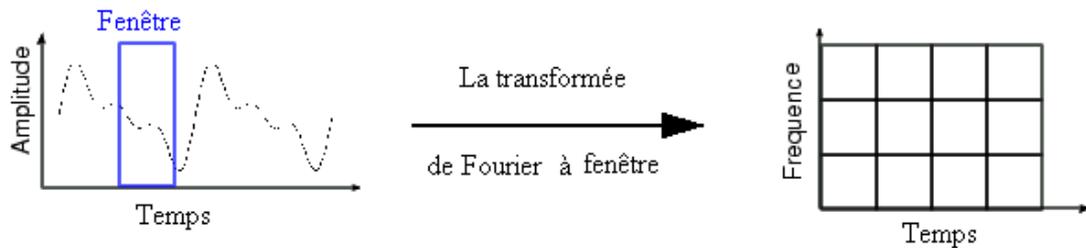


Figure 3.2. La transformation à fenêtre de Fourier.

Dans les années 40, Gabor reprend cette méthode ; sa fenêtre est illustrée par une fonction gaussienne [19] :

$$g_{a,b} = e^{iat} g(t-b) \quad a, b \in \mathbb{R}$$

Où a est le coefficient d'échelle et b le coefficient de translation.

Le membre $g(t-b)$ de l'équation précédente est indépendant de a , ce qui implique que l'enveloppe de la fenêtre glissante sera constante : on aura donc une résolution constante sur toute la durée du signal.

L'analyse d'un signal par transformée de Gabor permet donc d'obtenir à la fois une information sur le temps et sur la fréquence, mais la résolution d'analyse est déterminée par la taille de l'enveloppe [19] : si la fenêtre est trop petite, les basses fréquences ne seront pas contenues, et si la fenêtre est trop grande, l'information sur les hautes fréquences est noyée dans l'information sur l'ensemble de l'intervalle contenu dans la fenêtre.

3.3 La transformée en ondelettes

3.3.1 L'idée de la transformée en ondelettes et l'analyse multi-résolution

La méthode de Gabor permet de diviser un signal spécifique en une combinaison linéaire temps-fréquence sélectionnée avec soin. Cependant, il serait intéressant de pouvoir ajuster la résolution d'analyse en fonction du signal afin de l'ajuster à celui-ci : il n'est pas nécessaire d'avoir une résolution extrêmement élevée lorsque le signal est composé uniquement de basses fréquences, et il serait inapproprié d'étudier un signal avec de nombreuses fréquences hautes avec une résolution trop faible.



Figure 3.3. La transformée en ondelettes.

Il serait donc plus avantageux de disposer d'une méthode d'analyse dont la résolution, tant en temps qu'en fréquence, s'ajuste au signal en fonction de ses caractéristiques plutôt que de choisir à l'avance une résolution adaptée à un type de signal donné. Au lieu de maintenir une enveloppe fixe où le nombre d'oscillations est constant. [19]

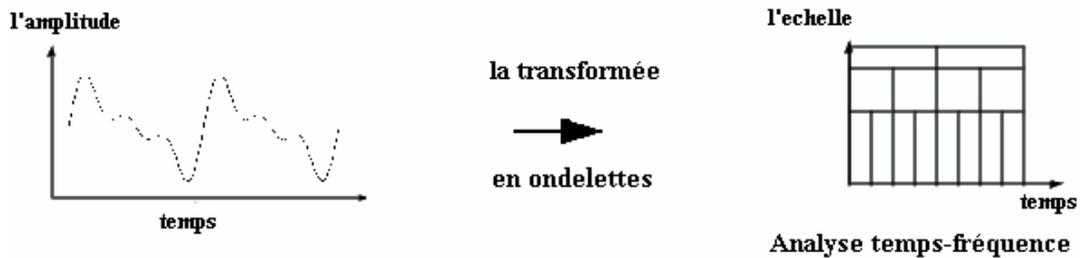


Figure 3.4. L'analyse temps fréquence.

Il y a un nombre constant d'oscillations dans une enveloppe que l'on peut contracter et dilater à sa guise : c'est l'analyse multi-résolution, dont le principe est illustré dans la figure 3.2. [19] [20]

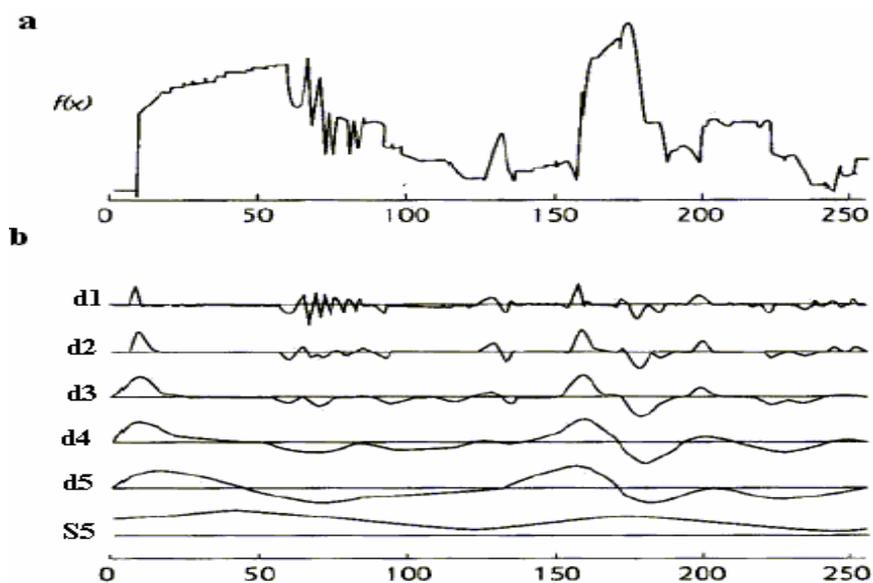


Figure 3.5. La transformée en ondelettes agit comme un zoom mathématique.

La décomposition du signal d'origine (a) en un ensemble de sous-signaux (b) se fait de la manière suivante :

On divise la fonction $f(x)$ en un signal de détail $d1$ et un signal d'approximation $S1$ (qui n'est pas représenté ici). Ce signal $S1$ est ensuite divisé en un détail $d2$ et une approximation $S2$, et ainsi de suite jusqu'à ce que nous ayons les cinq signaux de détails $d1$ à $d5$ correspondant aux détails des 5 premières résolutions, ainsi que le signal d'approximation à la résolution 5, $S5$.

De cette manière, l'analyse multi-résolution fonctionne comme une représentation mathématique du signal à analyser : en modifiant l'échelle d'analyse du signal, on peut extraire les détails présents à différentes résolutions.

3.3.2 Les étapes de transformée en ondelette

1. Si l'image du document d'entrée n'est pas en gris, modifiez-la et indiquez I_g .
2. Transformer I_g en une ondelette discrète de deux dimensions avec 2D-DWT. Donc, nous avons obtenu quatre sous-bandes fréquentiels (LL, LH, HL, HH). Dans cette situation, nous avons choisi la sous-bande LL car elle maintient la structure de l'image du document.
3. Présenter la matrice composée des valeurs absolues des coefficients de sous-bande $|LL|$, qui est rotationnée à travers $[-\alpha, \alpha]$ et calculée à chaque angle, avec un profil de projection horizontal.

Les différentes étapes de la transformation en ondelette sont illustrées dans la figure 3.4.

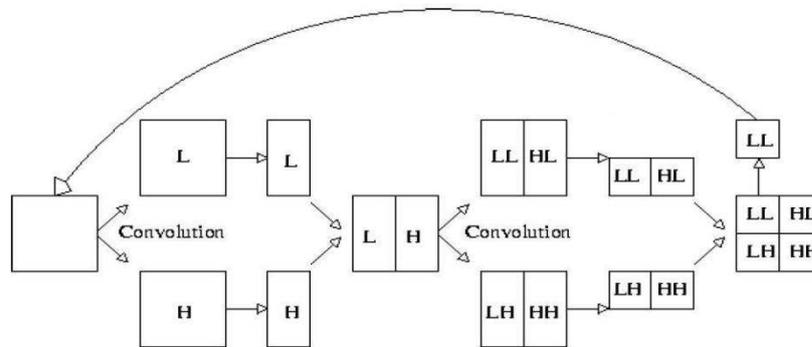


Figure 3.6. Diagramme global de la manipulation d'images par ondelettes.

4. On calcule l'angle d'inclinaison en identifiant les sommets de chaque profil de projection. La figure 3.7 présente l'algorithme.

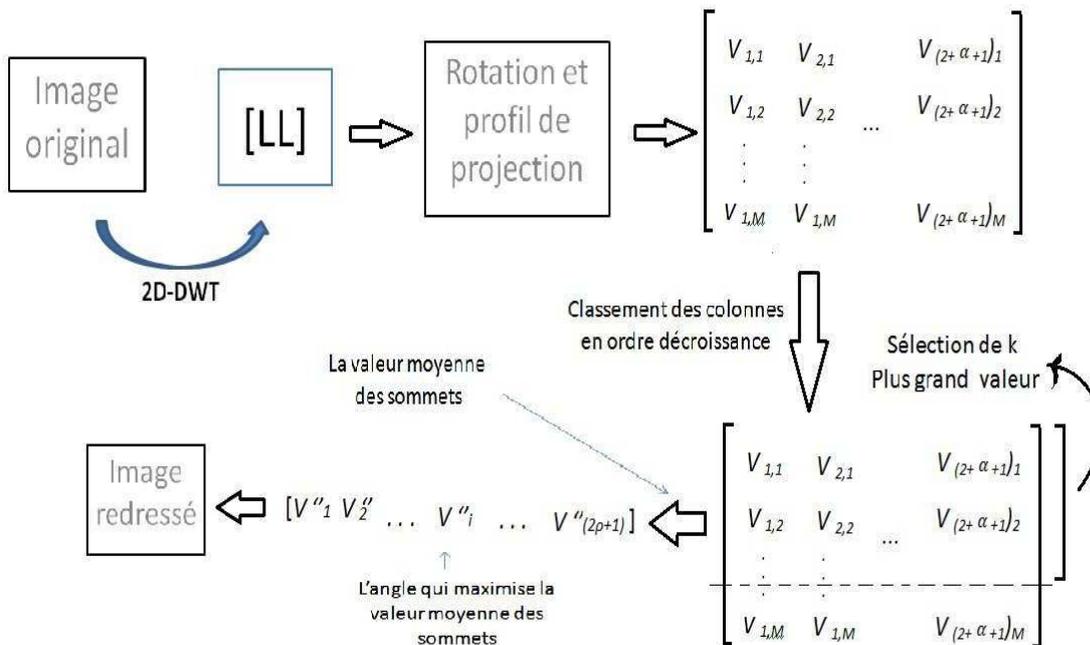


Figure 3.7. Schéma de la méthode de profil par projection.

3.3.3 Quelques illustrations des fondements des ondelettes

a. L'ondelette Haar

L'ondelette de Haar est l'ondelette la plus basique. Elle est composée de deux fonctions fondamentales, une fonction d'échelle (stepfunction) et une fonction de rampe (rampfunction), qui servent à prendre en compte les variations brusques d'un signal. Sa représentation des signaux discontinus est souvent employée pour les applications initiales ou pédagogiques en raison de sa simplicité et de son efficacité, voir la figure 3.8.

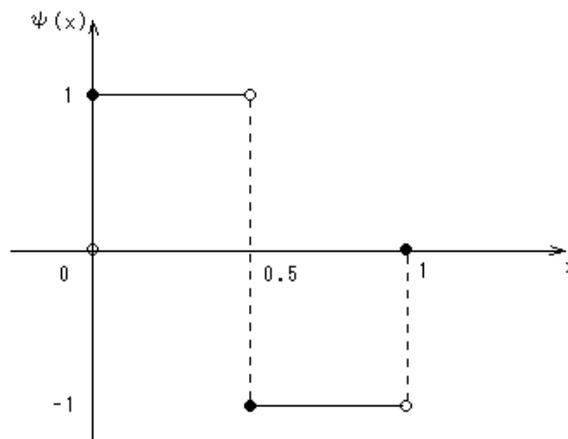


Figure 3.8. Ondelette Haar.

b. Ondelette db (Daubechies)

Ingrid Daubechies a défini une famille d'ondelettes orthogonales appelées ondelettes de Daubechies. Les signaux lisses et les bords sont approximatifs grâce à leur nombre limité de coefficients. On suit généralement l'indice "db" par un nombre, comme "db2", "db4", "db8", etc., qui représente le nombre de coefficients employés dans la famille d'ondelettes, voir la figure 3.9.

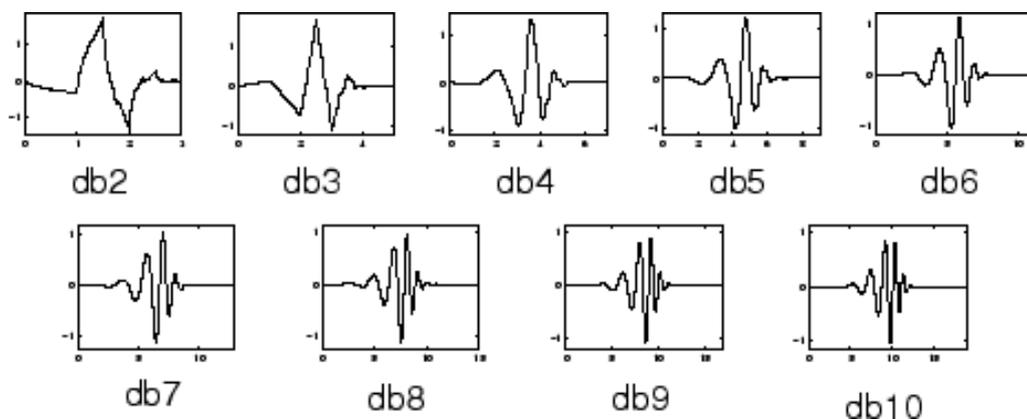


Figure 3.9. Les ondelettes Daubechies.

c. Ondelette sym (Symlet)

Les ondelettes symétriques, également connues sous le nom d'ondelettes Symlet, ressemblent aux ondelettes de Daubechies, mais présentent des caractéristiques de symétrie accrues. Elles ont été développées dans le but de mieux représenter les signaux qui présentent une symétrie par rapport à leur centre, ce qui peut être bénéfique dans certaines applications telles que la détection de bord, voir la figure 3.10.

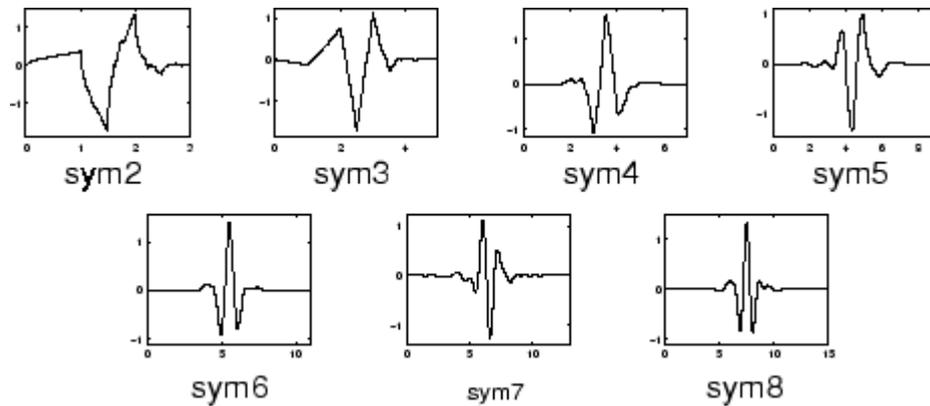


Figure 3.10. Les ondelettes symétriques.

d. Ondelette bior (Biorthogonale)

Les ondelettes biorthogonales sont des ondelettes de décomposition et de reconstruction qui sont définies par deux filtres différents, alors que les ondelettes orthogonales utilisent les mêmes filtres pour les deux processus. Elles permettent une conception plus souple des filtres, ce qui peut être avantageux dans certaines applications où une symétrie rigoureuse n'est pas requise, voir la figure 3.11.

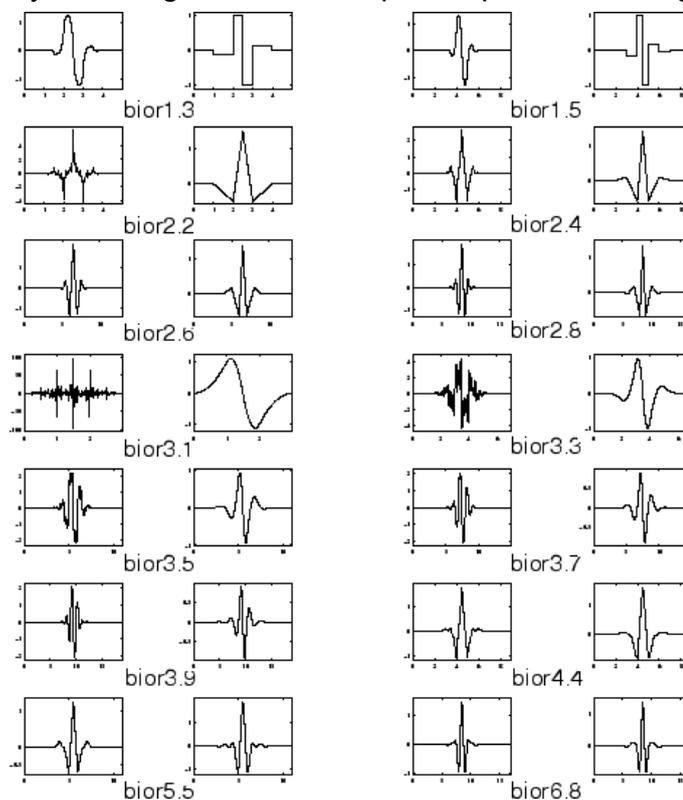


Figure 3.11. Les ondelettes biorthogonales.

3.4 La transformée en ondelettes continue

L'analyse de signaux par transformée en ondelettes continue (CWT pour ContinuousWaveletTransform en anglais) consiste à décomposer un signal en différentes composantes à différentes échelles de temps et de fréquence.

La CWT repose sur l'utilisation d'une famille d'ondelettes définie par une fonction de base, connue sous le nom d'ondelette mère, qui est dilatée et décalée sur l'axe du temps afin de représenter diverses échelles et positions dans le signal.

On utilise des translations et des dilatations d'une fonction fixe pour transformer en ondelettes. L'ondelette mère $\psi \in L^2(\mathbb{R})$ [19]. Les paramètres de translation et de dilatation sont constants dans le cas de la transformée continue. Autrement dit, la transformée emploie les fonctions suivantes :

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

Avec $a, b \in \mathbb{R}$, $a \neq 0$, où la fonction ψ est utilisée pour dilater et b pour la traduire.

Lorsqu'on étudie un signal $f(x)$ à l'aide de ces ondelettes, on le convertit en une fonction de deux variables (le temps et l'échelle d'analyse du signal) qu'on peut désigner sous le nom de $W(a,b)$ qui représentent les coefficients des ondelettes $\psi_{a,b}$ correspondant au signal f projeté :

$$\text{équ 1 : } W(a,b) = \int f(x) \psi_{a,b}(x) dx$$

On peut également remarquer :

$$\text{équ 2 : } W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int f(x) \psi_{a,b}(x) dx$$

3.5 Modèle graphique du calcul des coefficients d'ondelettes [20]

Ce que l'on nomme le coefficient d'ondelette est donné par l'équation 1 (équ 1). On peut illustrer graphiquement le calcul de ces coefficients et leur comportement à l'aide des figures 3.3 et 3.12.

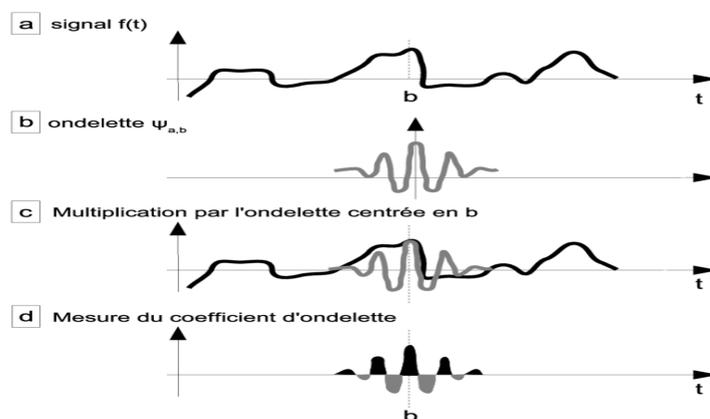
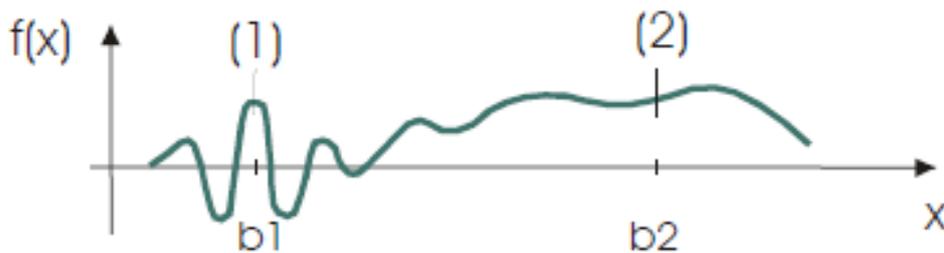


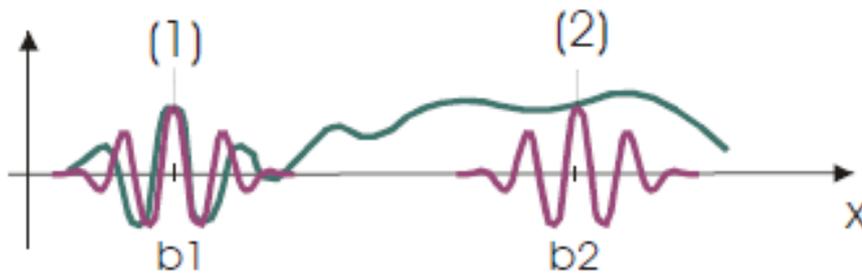
Figure 3.12. Modèle graphique du calcul du coefficient d'ondelette $W(a,b)$.

- a- Soit un signal $f(t)$ à étudier.
- b- On prend une ondelette analysante (ici l'ondelette de Morlet $y(t)$ qui se distingue par une "fréquence" de $(1/a)$.
- c- L'ondelette est centrée sur une valeur b de l'espace et le signal $f(t)$ est multiplié par les valeurs de $y(t)$.
- d- L'aire du signal produit obtenu est calculée.

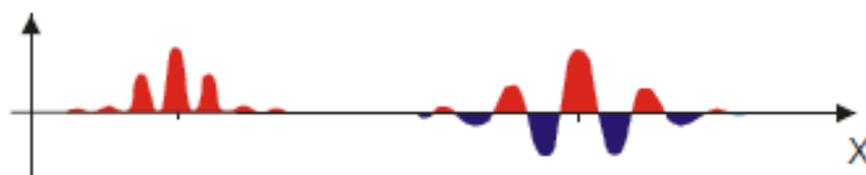
L'aire est comptée positivement pour les parties de la courbe situées au-dessus de l'axe des abscisses (gris foncé) et négativement dans le cas opposé (gris clair). Le coefficient d'ondelette $W(a, b)$ est égal à la valeur de la "fréquence" $1/a$ et à la position b .



1) multiplication de l'ondelette centrée en b avec f



2) calcul du signal "produit"



Fort $C(a, b)$

Faible $C(a, b)$

Figure 3.13. Comportement du coefficient d'ondelette.

La forme d'un signal $f(x)$ dépend du coefficient d'ondelette $W(a, b)$ au voisinage de la position b . Lorsque $f(x)$ est approximativement constant (2) autour d'une position ($b = b_2$), le produit de $f(x)$ par $y(x)$ (d'aire nulle) a une aire très faible, ce qui signifie que $W(a, b_2)$ est très faible.

Quand au contraire la portion de signal autour de ($b = b_1$) est irrégulière (1) et que ses variations sont de "fréquence" comparable à celle de l'ondelette, l'aire du produit signal-ondelette, donc $W(a, b_1)$, est généralement beaucoup plus grande.

3.6 La transformée en ondelettes discrète

La transformée en ondelettes discrète (DWT en anglais pour DiscreteWaveletTransform) est une technique d'analyse de signaux qui permet de diviser un signal en composantes à différentes échelles et positions, de la même manière que la transformée en ondelettes continue (CWT), mais avec une discrétisation de l'échelle et de la position. À la différence de la CWT, qui propose une analyse à échelle continue, la DWT utilise des échelles et des positions discrètes, ce qui la rend plus appropriée pour l'implémentation numérique et l'analyse de signaux numériques.

La décomposition du signal est réalisée en utilisant une série de filtres passe-bas et passe-haut, également connus sous le nom de filtres d'analyse, dans la DWT. Deux groupes de coefficients sont générés par la DWT : les coefficients d'approximation et les coefficients de détail.

Alors que la transformée continue implique une dilatation et une translation continues de l'ondelette, la transformée en ondelettes discrète permet une translation et une dilatation de l'ondelette selon des valeurs discrètes. [19]

On discrétiser des coefficients a et b de la façon suivante :

$a = a_0^m$ Et $b = n \cdot b_0 \cdot a_0^m$ avec $a_0 > 1$ et $b_0 > 0$ fixés et appartenant à Z

On définit alors les ondelettes de la façon suivante :

$$\psi_{m,n}(x) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \times \psi\left(\frac{x - nb_0}{a_0^m}\right)$$

Il a été observé que la transformation continue en ondelettes est infiniment redondante. La conversion discrète en ondelettes permet de réduire considérablement cette redondance sans l'annuler complètement : les signaux sont décrits par un nombre limité d'échantillons. Si l'on souhaite obtenir un signal transformé aussi court que possible (en réalité, un signal transformé qui contient autant d'échantillons que le signal d'origine), on se servira d'un cas spécifique de la transformée en ondelettes discrète : la transformée en ondelettes orthogonale.

3.7 l'analyse multi-résolution

On peut également définir la transformée en ondelettes comme étant la réalisation d'une approximation d'un signal f en projetant celui-ci sur l'espace d'approximation V_j à l'aide d'un opérateur A_j . [19]

En raison de cette approximation, une partie de l'information est perdue. Pour reconstruire le signal, il est nécessaire d'associer à l'opérateur A_j un opérateur D_j qui projette le même signal sur l'espace de détail W_j , pour que $A_{j+1}f = A_j f + D_j f$. On construit les espaces d'approximation et de détail à partir des fonctions de base $\varphi(x)$ et $\psi(x)$. L'utilisation de l'analyse multi-résolution permet de rapprocher l'analyse en variable d'espace de l'analyse en variable fréquente. Elle consolide l'idée intuitive selon laquelle tout signal peut être élaboré par des raffinements successifs, c'est-à-dire par l'ajout de détails lorsqu'on passe d'une résolution à la suivante. Plus précisément, on peut définir une analyse multi-résolution de $L^2(\mathcal{R})$ comme une série de sous-espaces fermés V_j de $L^2(\mathcal{R})$, $j \in \mathbb{Z}$. [19]

3.8 Intérêt en traitement d'image

L'utilisation de l'analyse multi résolution pour le traitement d'images présente plusieurs bénéfiques en fonction de l'application envisagée :

a. Compression :

Il est possible d'ajuster le taux de compression de l'image en fonction de la qualité désirée. À certains niveaux de résolution, il est possible d'augmenter le taux de compression tout en préservant l'information essentielle en supprimant les détails jugés peu importants. Afin d'obtenir une image de qualité, nous suffisons de préserver tous les détails.

b. Détection de contours :

La détection de contours est complexe lorsque les images présentent des variations brusques dans des zones non pertinentes. Idéalement, on souhaite ignorer certains contours pour ne conserver que les plus significatifs. Par exemple, pour analyser un arbre, on peut vouloir garder uniquement les contours principaux (l'arbre) ou inclure les détails de la texture (le feuillage). La multi-résolution permet cette flexibilité : à une résolution grossière, seuls les contours principaux sont visibles, tandis qu'une résolution plus fine révèle tous les contours.

c. Détection/reconnaissance de texture :

L'analyse multi-résolution améliore la reconnaissance de texture en prenant en compte l'échelle en plus des motifs habituels. La transformée en ondelettes n'est pas limitée à ces applications ; elle est également bénéfique pour la reconnaissance faciale, la détection de mouvements et différentes analyses d'images. La flexibilité de la transformée en ondelettes est un avantage important, à la différence de la transformée

de Fourier qui ne s'appuie que sur les fonctions sinus et cosinus. On peut personnaliser le choix de l'ondelette en fonction de l'application et du type de données traitées.

3.9 Conclusion

En résumé, la théorie des ondelettes nous offre des instruments performants pour analyser et traiter des signaux dans divers domaines, tels que le traitement du signal, l'imagerie médicale, la compression de données, et bien d'autres encore. Elle aide donc à diminuer la répétition afin d'améliorer la compression d'une image ; elle peut aussi extraire les informations essentielles (texture, contours, etc.) présentes dans une image.

En sachant ce qu'est la CWT et la DWT, nous sommes plus aptes à aborder des problèmes complexes de traitement de signaux et à utiliser les bénéfices de la représentation en ondelettes pour extraire des informations pertinentes des données.

Reconnaissance de document

3.10 Introduction

Au cœur de la révolution numérique, la reconnaissance des documents joue un rôle essentiel dans le traitement de l'information. En raison de la multiplication des documents numériques, il est de plus en plus crucial de pouvoir extraire, interpréter et manipuler le contenu textuel et visuel des documents. Nous examinons dans cette partie les éléments essentiels d'un système de reconnaissance de documents, ainsi que les difficultés et les possibilités liées à cette discipline.

La reconnaissance de documents est la transformation d'un document papier en un document électronique en utilisant l'analyse et l'interprétation du document. [21]

Les images de caractères d'impression machine peuvent être converties en caractères qui peuvent être interprétés ou reconnus par un ordinateur grâce à la technologie OCR.

Il s'agit de la reconnaissance des documents. La transformation d'un document papier ou d'une image en une forme électronique codée ou structurée, voir la figure 3.14. [22]

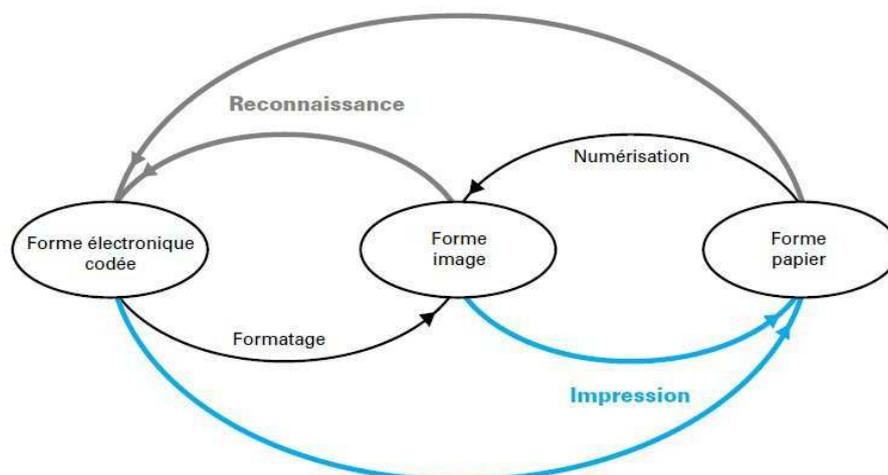


Figure 3.14. Les types de documents et l'identification.

3.11 Les bénéfices des formats électroniques chiffrés par rapport aux formats visuels

Les formes électroniques codées présentent de nombreux bénéfices :

*a. **Compacité (Petite taille de fichier) :***

Les formes électroniques codées sont plus petites que les images, ce qui rend leur gestion et leur transfert plus simples. Une page de 3 000 caractères coûte un peu plus de 3 000 octets sous forme codée, tandis que son image numérique, en fonction de sa nature et du type de compression, peut mesurer entre 60 kilooctets et 2 mégaoctets, voire plus pour des images en gris ou en couleurs. Ce bénéfice, qui varie de 20 à 1 000, revêt une grande importance lorsqu'il s'agit de stocker et surtout de transmettre à distance les documents (coûts et délais de transmission). [22]

*b. **Manipulation flexible (Modification facile du contenu) :***

Il est possible de manipuler les données dans les formes électroniques codées de manière plus souple, ce qui permet d'extraire efficacement des informations textuelles et structurales. Cet avantage est bien supérieur au précédent. Il est possible de modifier un fichier texte d'une forme électronique codée : tous les traitements de texte produisent des documents dont le format a été spécifié pour leur modification. En revanche, un texte en image est une entité immobile : il ne peut être consulté que de manière passive et les modifications sont très limitées. [22]

*c. **Recherche efficace :***

Grâce à la possibilité d'indexation et de classification automatiques des documents, les formes électroniques codées offrent une recherche plus performante.

L'accès au contenu (éventuellement au sens) du texte se fait exclusivement par la forme électronique codée, en utilisant les techniques de traitement automatique du langage naturel (TALN) : recherche d'informations, analyse syntaxique des phrases, mise en correspondance d'informations, textmining, extraction de terminologies, classement et classification, diffusion ciblée, représentation du sens du texte, résumé automatique et traduction assistée. [22]

*d. **Intégration aisée :***

Cela facilite leur intégration et leur utilisation avec d'autres applications en raison de leur compatibilité accrue avec les systèmes informatiques existants. De plus, il est possible de structurer les documents électroniques codés selon un plan précis, incluant des renvois. Il est donc envisageable de les consulter non plus de manière linéaire, mais selon leur logique interne, et d'y « explorer » lorsqu'ils sont équipés de liens hypertextuels, tels que les documents HTML. [22]

3.12 Composantes d'un système de reconnaissance

En règle générale, un système de reconnaissance se divise en quatre étapes dont l'importance varie en fonction de la catégorie du document : la numérisation, le prétraitement, l'analyse et la reconnaissance. [23]

La représentation graphique (figure 3.15) illustre les étapes à suivre pour parvenir à la reconnaissance complète d'une page.

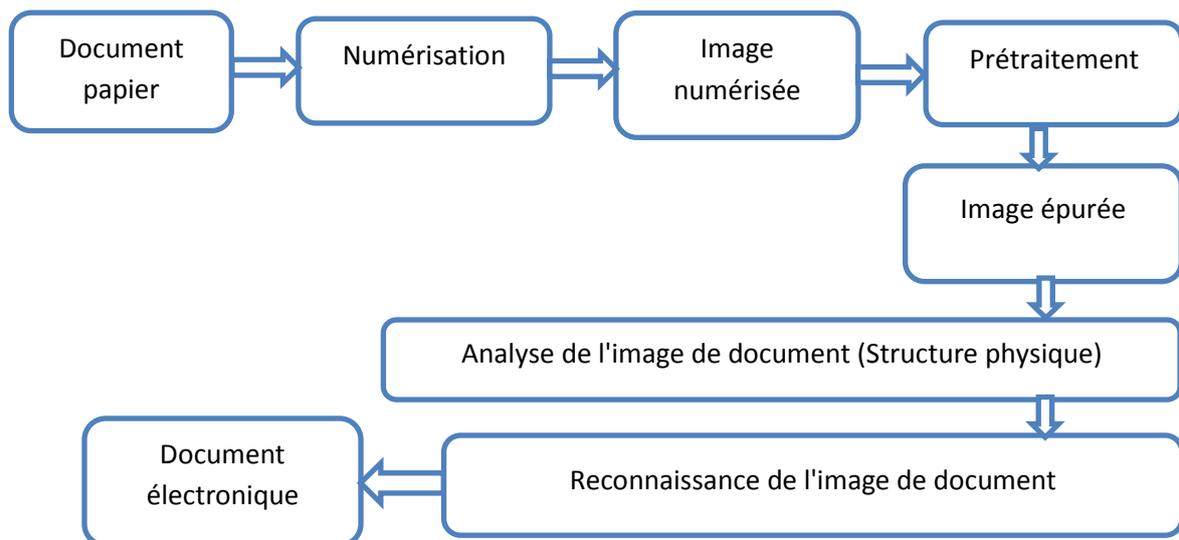


Figure 3.15. Les différentes étapes de la reconnaissance de documents.

3.12.1 Numérisation ou acquisition

La première étape cruciale dans le processus de reconnaissance de documents est l'acquisition ou la numérisation. L'objectif de cette étape est de convertir des documents physiques en formats numériques pour qu'ils puissent être traités par des systèmes informatiques.

En général, la reconnaissance de documents commence par l'acquisition d'une image numérique de la page à l'aide d'un scanner. Comme les contenus et les qualités des documents peuvent varier, il est parfois indispensable d'obtenir des images en niveaux de gris afin d'assurer une meilleure qualité de numérisation. En outre, afin d'éviter une surcharge de mémoire inutile, il est recommandé d'utiliser des images binaires (bi-niveaux). Quant à la résolution, il est conseillé d'utiliser au moins 300 dpi (points par pouce) pour l'OCR, voire 400 dpi pour les petits caractères, pour assurer une reconnaissance précise et fiable du texte.

3.12.2 Correction ou redressement

Le processus de redressement des documents joue un rôle essentiel dans la reconnaissance, dans le but de rectifier toute anomalie ou distorsion présente dans les images numériques des documents.

Il est crucial de procéder à cette opération afin d'assurer une reconnaissance précise des caractères et une analyse adéquate du contenu. Le débit des scanners d'exploitation varie entre 60 et 120 pages par minute. Les feuilles peuvent s'incliner de plusieurs degrés par rapport à la direction de balayage des images lors de leur défilement rapide sur la glace d'exposition.

Afin de tirer parti des documents de manière efficace, il est nécessaire de repérer cet angle et de redresser les images de manière à ce que les lignes de texte soient parallèles aux bords. Différentes méthodes de correction des documents existent, telles que l'analyse des contours, la détection de lignes de texte ou l'emploi de techniques de transformation d'image comme la transformée de Hough.

Le redressement a pour objectif principal de rendre le texte et les éléments graphiques dans les documents numériques horizontaux ou verticaux, ce qui facilite leur traitement ultérieur par les systèmes OCR (Optical Character Recognition) et améliore la lisibilité globale du document.

3.12.3 La binarisation

La binarisation joue un rôle essentiel dans la reconnaissance de documents, car elle permet de transformer une image en niveaux de gris ou en couleur en une image binaire qui ne comprend que des pixels noirs et blancs, avec 2 valeurs 0 et 1. [24]

L'analyse ultérieure de l'image est facilitée par cette conversion, notamment pour les systèmes OCR (Optical Character Recognition), car elle révèle les contours et les caractéristiques des caractères. Dans certaines situations, cela entraîne une perte significative d'informations, et en fonction de la façon dont elle est réalisée, l'image bi-niveau résultante peut être utilisée ou non pour des traitements ultérieurs.

La binarisation vise essentiellement à distinguer de manière nette le texte ou les éléments d'intérêt du fond de l'image, de manière à permettre une reconnaissance précise des caractères et une interprétation adéquate du contenu du document.

3.12.4 Division ou segmentation des pages

La segmentation des pages vise principalement à fragmenter l'image en petites et homogènes unités pour faciliter son traitement ultérieur. L'utilisation de la segmentation des pages permet de séparer une image de document en différentes zones correspondant à des éléments importants tels que le texte, les images, les tableaux, les graphèmes, etc.

Après avoir réalisé la segmentation des pages, il est possible d'analyser chaque région identifiée individuellement afin d'extraire des informations spécifiques, comme le texte à l'aide de systèmes OCR, les images pour la reconnaissance d'objets ou les tableaux pour l'extraction de données. Plus précisément, les fichiers contenant du texte sont transmis à un système de reconnaissance de caractères, voir la figure 3.16.

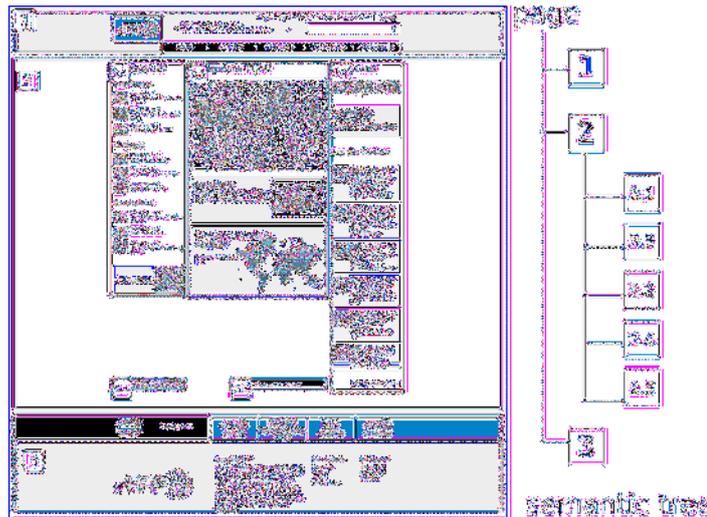


Figure 3.16. Segmentation des pages.

3.13 Conclusion

Les systèmes de reconnaissance optique des documents et des caractères (OCR) ont un rôle essentiel dans la conversion des documents papier en documents électroniques. Grâce à ces systèmes, il devient possible de faciliter la manipulation des données sous diverses formes, telles que l'archivage, l'indexation et la recherche. La correction des documents scannés, étape préalable à l'OCR, garantit une conversion plus précise, ce qui permet d'obtenir des fichiers électroniques modifiables avec une fidélité élevée par rapport aux documents source. La transition vers le digital offre non seulement une amélioration de l'accessibilité et de l'efficacité des processus documentaires, mais elle offre également de nouvelles opportunités pour la gestion et l'utilisation des informations présentes dans les documents papier.

Chapitre 4 : Étude Expérimentale

IV. Partie expérimentale

4.1 Introduction

Notre recherche vise à évaluer les différentes méthodes proposées pour détecter et corriger les différentes inclinaisons présentes dans les documents imprimés scannés. Afin d'effectuer cette évaluation, nous avons réalisé des tests sur plusieurs documents. Nous examinerons :

- Le temps de détection et de correction de l'inclinaison.
- La précision de détection.

4.2 L'environnement d'évaluation

Les différents programmes ont été écrits avec le langage Matlab 2016a, et exécutés sur un ordinateur doté d'un microprocesseur intel®Core™ i3-4005U CPU, et une mémoire RAM de capacité 8 GB.

Les documents de la base de données ont été scannés à l'aide d'un scanner «**EPSON EcoTank ET-4760**» avec une résolution 300 dpi, les images ont été sauvegardées sous format JPG. [25]

Pour l'évaluation, nous avons expérimenté les méthodes sur une base de données de 126 documents répartis en 6 catégories, chacune contenant 3 exemples de même nature :

- Document textuel arabe (imprimé).
- Document textuel latin (imprimé).
- Document à structure complexe (texte avec : tableau, graphique, image...).

Ils sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4.1. Les différentes catégories qui constituent la base de données.

	Type de document	Nombre de document
1ère catégorie	Document continent des graphes	21
2ème catégorie	Document multi-colonne	21
3ème catégorie	Document continent des tableaux	21
4ème catégorie	Document textuel arabe	21
5ème catégorie	Document textuel latin	21
6ème catégorie	Document contient des images photo graphique	21

Les différents types de documents sont sélectionnés parmi les documents généralement les plus couramment utilisés, ce qui ajoute une valeur supplémentaire à notre étude.

Quelques exemples de la base de données sont illustrés sur la figure 4.1 :

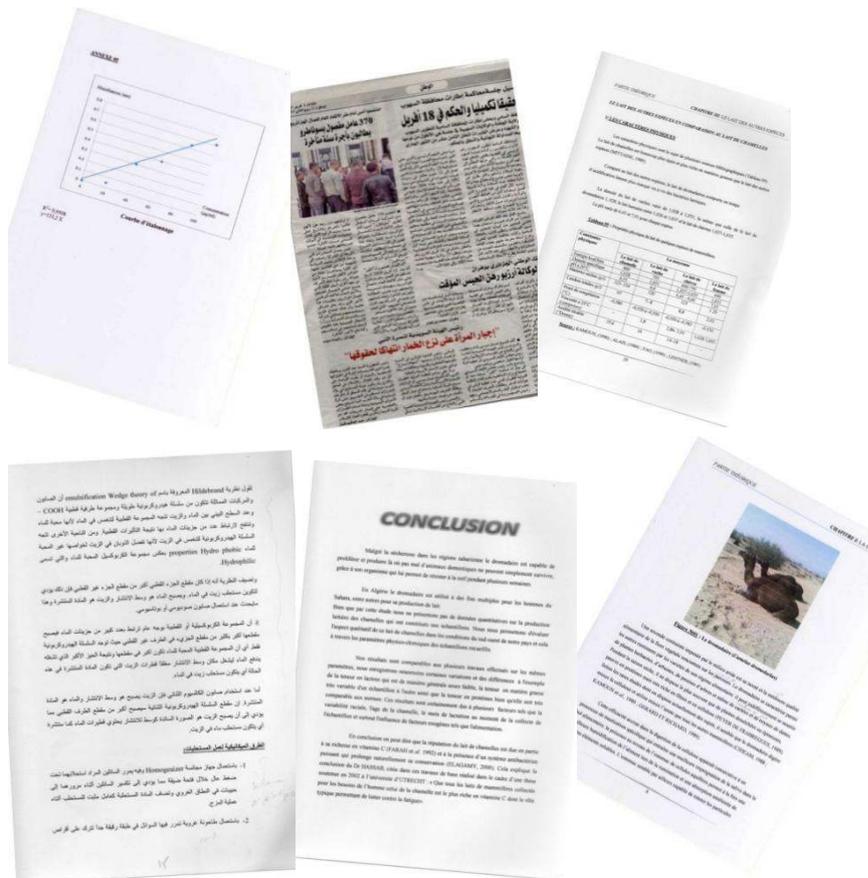


Figure 4.1. Plusieurs exemples de la base de données.

4.3 Démarche d'expérimentation

Afin de comparer les résultats, nous avons effectué des tests sur notre système sur une base de données mentionnée précédemment.

Au cours du processus de numérisation, les documents ont été placés de manière aléatoire selon différents angles : petit et grand, positif et négatif allant de [-30,30] pour obtenir des images mal redressées.

Les méthodes sont utilisées pour toutes les catégories, les critères d'évaluation comprennent le temps de traitement en secondes et la précision de la valeur moyenne de l'erreur pour les trois exemples qui composent la catégorie pour chaque angle incliné :

$$La\ valeur\ moyenne\ de\ l'erreur = \frac{erreur1 + erreur2 + erreur3}{3}$$

$$Taux\ d'erreur\ (\%) = \frac{La\ valeur\ moyenne\ de\ l'erreur}{|l'angle\ réelle|} \times 100$$

4.4 L'interface graphique du logiciel

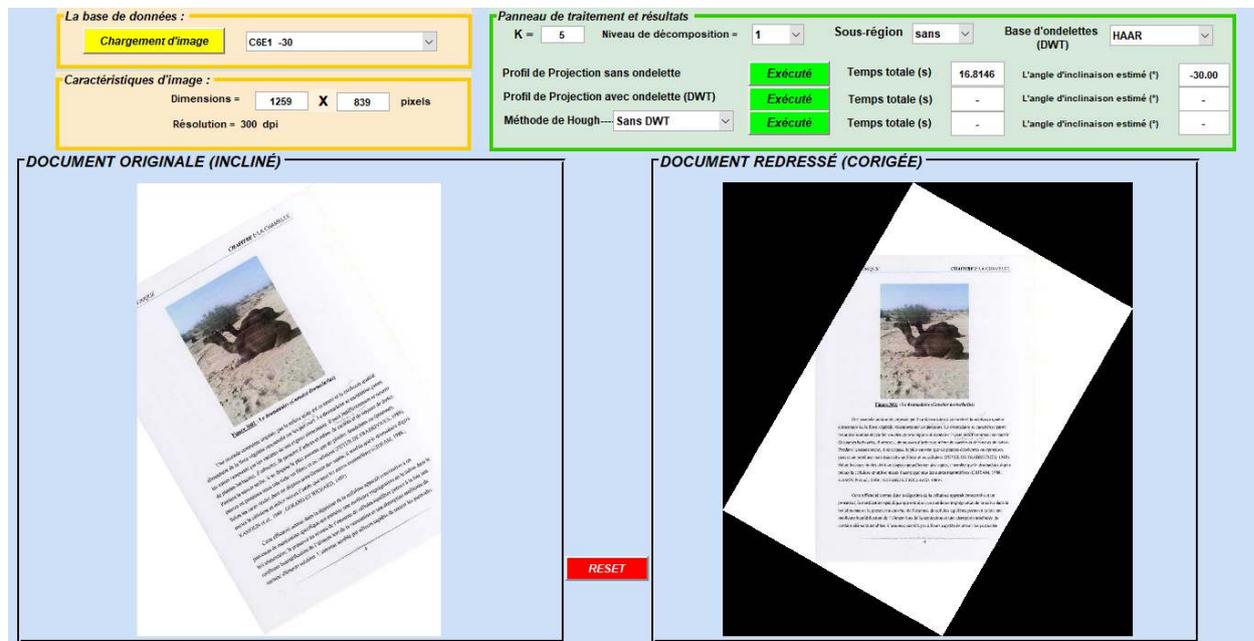


Figure 4.2. Interface graphique de notre système d'un redressement des documents.

L'interface graphique que nous avons développée, est composé de :

- Panneau de traitement : C'est là que nous décidons quelle méthode d'exécution utilisé et la valeur de k sommets si nous avons opté pour la méthode de profil de projection. Lorsqu'on travaille avec l'ondelette, le niveau de décomposition et la base de l'ondelette sont également sélectionnés. Il est également possible d'utiliser la méthode de Hough (avec ou sans ondelette). En outre, on peut prendre en compte l'angle d'inclinaison estimé et le temps requis pour le traitement (paramètres d'évaluation).
- un bouton Où l'on peut afficher n'importe quel document incliné utilisé dans l'expérience, aussi un panneau dans lequel les caractéristiques de l'image sont affichées comme la résolution et les dimensions de l'image.
- Une zone visuelle permet de visualiser le document incliné sélectionné précédemment (document original) et le document redressé après le traitement. Il existe également un bouton Reset qui permet de réinitialiser les paramètres aux valeurs par défaut.

4.5 Résultats et discussion

4.5.1 La première méthode : Profil de projection sans ondelette

Avec K : nombre de sommets égal à 5, ($K = 5$)

Les erreurs de détermination des angles d'inclinaison pour les différentes méthodes sont exprimées en degré.

- L'exemple ci-dessous illustre l'exécution de la méthode de profil de projection sans ondelette :

La base de données :

Chargement d'image: C4E1 17

Caractéristiques d'image :

Dimensions = 1024 X 683 pixels
Résolution = 300 dpi

Panneau de traitement et résultats

K = 5	Niveau de décomposition = 1	Sous-région sans	Base d'ondelettes (DWT) HAAR
Profil de Projection sans ondelette	Exécuté	Temps totale (s) 3.85576	L'angle d'inclinaison estimé (°) 17.00
Profil de Projection avec ondelette (DWT)	Exécuté	Temps totale (s) -	L'angle d'inclinaison estimé (°) -
Méthode de Hough... Sans DWT	Exécuté	Temps totale (s) -	L'angle d'inclinaison estimé (°) -

DOCUMENT ORIGINALE (INCLINÉ)

DOCUMENT REDRESSÉ (CORIGÉE)

RESET

Figure 4.3. Exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection sans (DWT).

- Tous les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

a. Catégorie 1 (graphes) :

Tableau 4.2. Les résultats obtenus avec la 1ère catégorie du profil sans DWT.

L'angle	-30.00	-20.00	-9.00	-3.00	5.00	17.00	29.00
Temps(s)	4.2393	3.94023	3.45868	3.16445	3.32788	3.81833	4.12776
L'erreur(Ei°)	0	0	0	0	0	0	0
Taux d'erreur (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

b. Catégorie 2 (multi colonne) :

Tableau 4.3. Les résultats obtenus avec la 2ème catégorie du profil sans DWT.

L'angle	-30.00	-20.00	-9.00	-3.00	5.00	17.00	29.00
Temps(s)	8.40921	3.90068	3.54693	3.17879	3.28138	3.79184	4.07109
L'erreur(Ei°)	0	1	1	2	2	1	1
Taux d'erreur (%)	0 %	1.66 %	3.33 %	66.66%	40 %	5.88 %	3.44 %

c. Catégorie 3 (tableaux) :

Tableau 4.4. Les résultats obtenus avec la 3ème catégorie du profil sans DWT.

L'angle	-30.00	-20.00	-9.00	-3.00	5.00	17.00	29.00
Temps(s)	4.0182	3.82219	3.4461	3.16204	3.25743	3.75341	4.0249
L'erreur(Ei°)	0	0	0	0	0	0	0
Taux d'erreur (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

d. Catégorie 4 (texte en arabe) :

Tableau 4.5. Les résultats obtenus avec la 4ème catégorie du profil sans DWT.

L'angle	-30.00	-20.00	-9.00	-3.00	5.00	17.00	29.00
Temps(s)	3.9884	3.02176	3.03328	3.14828	3.03047	3.02044	4.00055
L'erreur(Ei°)	0	0	0	0	0	0	0
Taux d'erreur (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

e. Catégorie 5 (texte en latin) :

Tableau 4.6. Les résultats obtenus avec la 5ème catégorie du profil sans DWT.

L'angle	-30.00	-20.00	-9.00	-3.00	5.00	17.00	29.00
Temps(s)	3.99904	3.82055	3.45519	3.16272	3.26254	3.73645	4.01896
L'erreur(E_i°)	1	1	1	1	1	1	1
Taux d'erreur (%)	3.33 %	5 %	11.11 %	33.33 %	20 %	5.88 %	3.44 %

f. Catégorie 6 (images) :

Tableau 4.7. Les résultats obtenus avec la 6ème catégorie du profil sans DWT.

L'angle	-30.00	-20.00	-9.00	-3.00	5.00	17.00	29.00
Temps(s)	4.1172	3.84664	3.43497	3.16409	3.27943	3.81291	4.0916
L'erreur(E_i°)	0	0	0	0	0	0	0
Taux d'erreur (%)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Discussion

- Selon nos expériences, nous avons constaté que le taux d'erreur est nul pour les catégories 1, 3, 4, 6 et presque négligeable pour les restes (2,5).
- Selon ces tableaux de résultats. Il est intéressant de souligner que lorsque le taux d'erreur est faible, cela indique une précision élevée, et inversement.
- Il convient également de noter que le principal inconvénient de cette méthode de détection réside dans le temps de traitement qui est élevé pour cette résolution d'image.

4.5.2 La deuxième méthode : Profil de projection avec ondelette (DWT)

On utilise la base d'ondelette « Haar » et on prend $K = 5$

Et le niveau de décomposition : $N = 1$

- Un exemple d'exécution de la méthode de profil de projection avec l'ondelette « Haar » est illustré sur la figure ci-dessous :

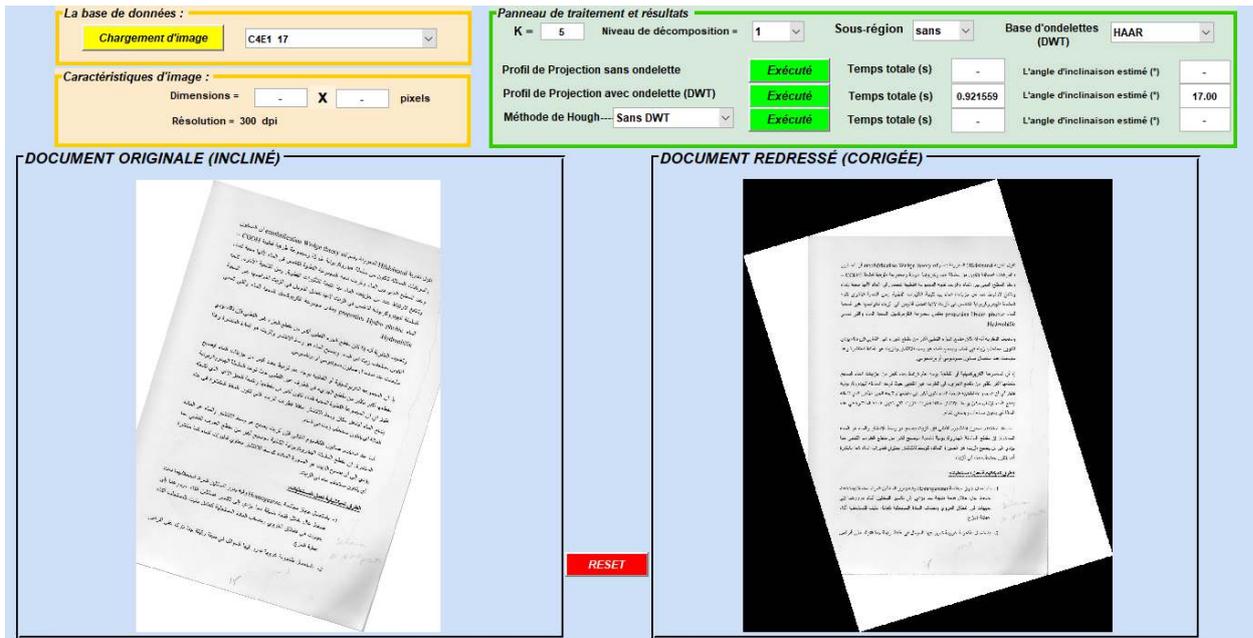


Figure 4.4. Exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection avec DWT «Haar».

➤ Et voici un exemple de profil de projection avec une ondelette et les étapes de ce traitement :

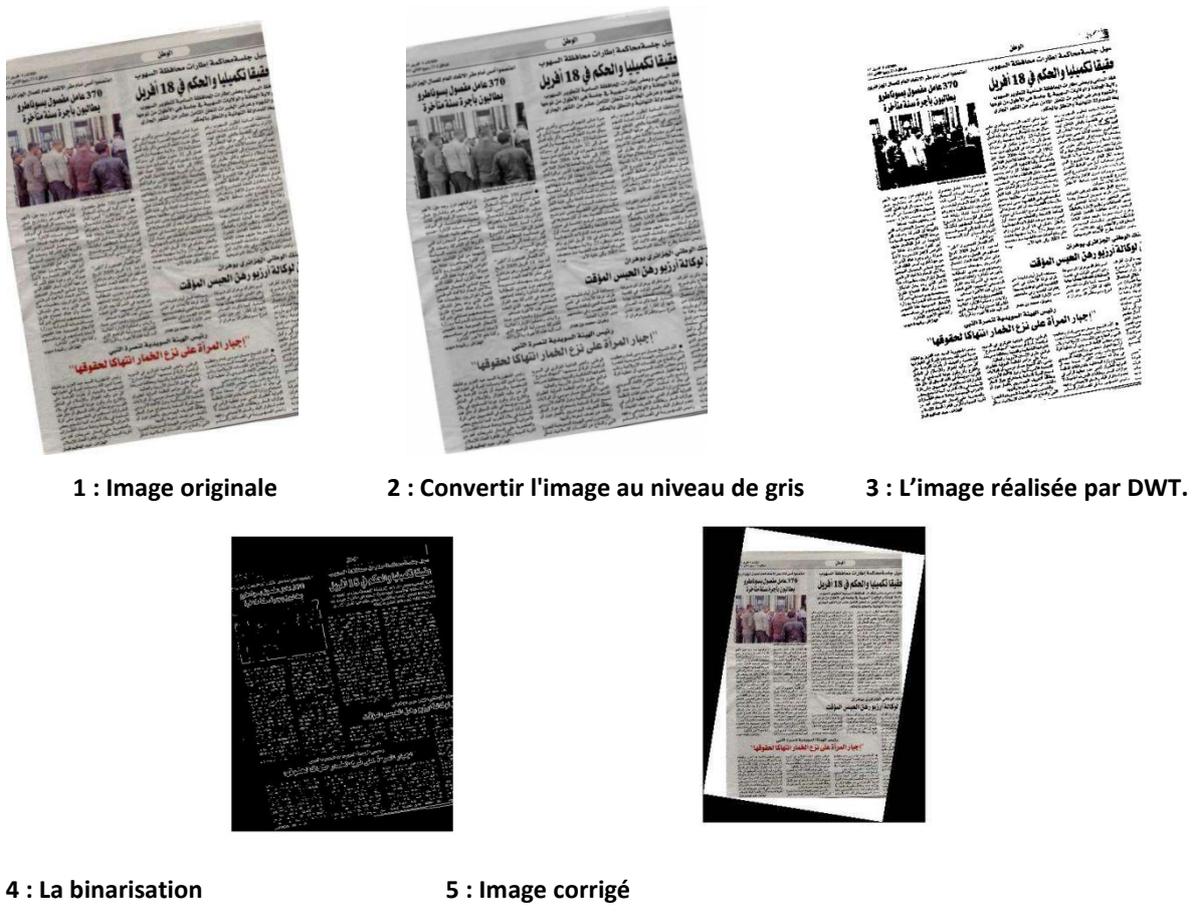


Figure 4.5. L'application de l'ondelette sur la méthode de profil de projection.

- Tous les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

a. Catégorie 1 (graphes) :

Tableau 4.8. Les résultats obtenus avec la 1ère catégorie du profil avec DWT.

L'angle	-30.00	-20.00	-9.00	-3.00	5.00	17.00	29.00
Temps(s)	2.24843	1.10017	0.9816	1.0051	0.9738	1.0521	1.1430
L'erreur(Ei°)	0	0	0	0	0	0	0
Taux d'erreur (%)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

b. Catégorie 2 (multi colonne) :

Tableau 4.9. Les résultats obtenus avec la 2ème catégorie du profil avec DWT.

L'angle	-30.00	-20.00	-9.00	-3.00	5.00	17.00	29.00
Temps(s)	1.15085	1.1044	0.9760	0.9070	0.9498	1.07004	1.1538
L'erreur(Ei°)	0	1	1	1	1	1	1
Taux d'erreur (%)	0 %	5 %	11.11%	33.33%	20 %	5.88 %	3.44 %

c. Catégorie 3 (tableaux) :

Tableau 4.10. Les résultats obtenus avec la 3ème catégorie du profil avec DWT.

L'angle	-30.00	-20.00	-9.00	-3.00	5.00	17.00	29.00
Temps(s)	1.3448	1.0891	0.9868	0.9097	0.9448	1.0559	1.1431
L'erreur(Ei°)	0	0	0	0	0	0	0
Taux d'erreur (%)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

d. Catégorie 4 (texte en arabe) :

Tableau 4.11. Les résultats obtenus avec la 4ème catégorie du profil avec DWT.

L'angle	-30.00	-20.00	-9.00	-3.00	5.00	17.00	29.00
Temps(s)	1.1728	0.8611	0.8663	0.9195	0.8588	0.8541	1.1357
L'erreur(Ei°)	0	0	0	0	0	0	0
Taux d'erreur (%)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

e. Catégorie 5 (texte en latin) :

Tableau 4.12. Les résultats obtenus avec la 5ème catégorie du profil avec DWT.

L'angle	-30.00	-20.00	-9.00	-3.00	5.00	17.00	29.00
Temps(s)	1.1328	1.0942	0.9773	0.9173	0.9342	1.0555	1.1652
L'erreur(Ei°)	1	1	1	1	1	1	1
Taux d'erreur (%)	3.33 %	5 %	11.11%	33.33%	20 %	5.88 %	3.44 %

f. Catégorie 6 (image) :

Tableau 4.13. Les résultats obtenus avec la 6ème catégorie du profil avec DWT.

L'angle	-30.00	-20.00	-9.00	-3.00	5.00	17.00	29.00
Temps(s)	1.1576	1.0899	0.9842	0.8971	0.9408	1.0767	1.1492
L'erreur(Ei°)	0	0	0	0	0	0	0
Taux d'erreur (%)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Discussion

Après avoir ajouté l'ondelette « **Haar** » à la méthode de profil de projection :

- On observe une réduction significative du temps d'exécution, atteignant jusqu'à **2.5 seconde** de ceux observés dans les résultats précédents, car la transformé en ondelettes réduit les données à traiter en réduisant la résolution à : **1 / 2**.

Nous constatons l'impact de la transformation en ondelettes sur l'algorithme suggéré, il est donc pertinent d'analyser l'impact de divers paramètres qui la composent afin d'améliorer de plus en plus le coût de traitement et la précision.

Ainsi, nous allons effectuer les changements suivants, avec la valeur du paramètre testée et les autres variables inchangées.

Donc, On réalise des expériences sur la sixième catégorie (texte image).

4.5.3 L'impact de niveau de décomposition N

Nous essayons différents niveaux de N (niveaux de décomposition) sont testés (N = 1; 2; 3; 4; 5) afin de déterminer le meilleur niveau pour un redressement précis.

On utilise l'ondelette « **Haar** » et on prend K = 5

- Voilà un exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection avec l'ondelette « Haar » et $N = 5$:

Figure 4.6. Exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection avec DWT «Haar» et $N=5$.

- Voilà un exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection avec l'ondelette « Haar » et $N = 2$:

Figure 4.7. Exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection avec DWT «Haar» et $N=2$.

- Tous les résultats sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau 4.14. Les résultats obtenus du profil avec DWT «Haar» et différents niveaux de N.

Angle° N	-30	-20	-9	-3	5	17	29
1ère niveau	0% 1.1576	0% 1.0899	0% 0.9842	11% 0.8971	0% 0.9408	0% 1.0767	0% 1.149
2ème niveau	0% 0.5848	0% 0.5337	0% 0.5020	0% 0.4744	0% 0.4876	0% 0.5270	0% 0.5657
3ème niveau	0% 0.4423	0% 0.4209	0% 0.3940	66.66% 0.3817	80% 0.3853	47.05% 0.4115	0% 0.4371
4ème niveau	6.66% 0.4071	5% 0.3848	11.11% 0.3637	33.33% 0.3531	80% 0.3564	23.52% 0.3883	3.44% 0.4015
5ème niveau	3.33% 0.4037	45% 0.3734	44.44% 0.3554	0% 0.3432	420% 0.3475	0% 0.3680	51.72% 0.3879

Nous présentons également ce tableau sous forme de colonnes pour simplifier encore les résultats et faciliter la comparaison :

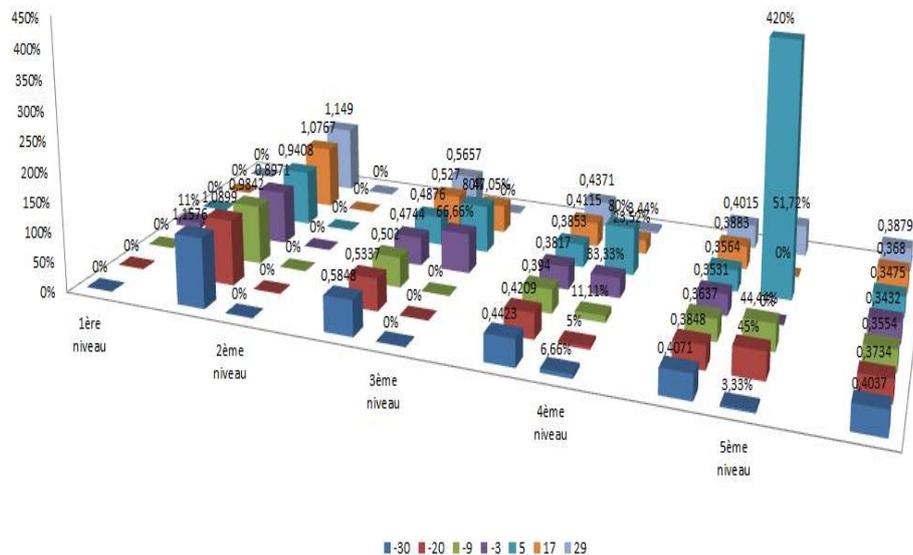


Figure 4.8. Les résultats du tableau des niveaux de décomposition N sous forme de colonnes.

Discussion

- Il est observé que si on augmente le niveau de décomposition à $N = 2$, on observe une amélioration notable sur le temps de calcul et de la précision par rapport au $N = 1$.
- Nous ajoutons à cela lorsque l'on augmente N de 3 à 5, la fiabilité du système diminue également (erreur dans l'angle d'inclinaison).
- Ainsi, $N = 2$ est le choix optimal.

4.5.4 L'impact de la base ondelette

Nous testons différentes bases d'ondelette (Haar, db2, db3...) pour déterminer la base d'ondelette la plus appropriée pour un redressement précis.

On utilise l'ondelette « Haar » et on prend $K = 5$

- Voilà un exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection avec l'ondelette « Haar » :

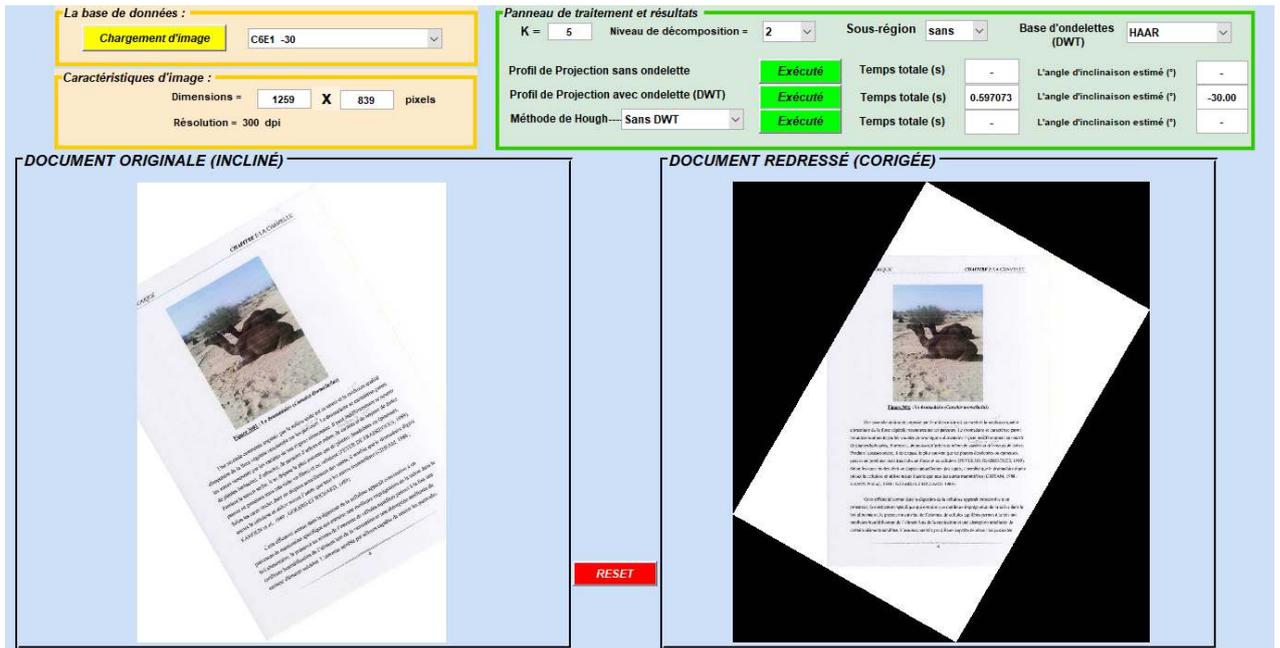


Figure 4.9. Exemple d'exécution d'une méthode de profil de projection avec l'ondelette « Haar ».

- Voilà un exemple d'exécution de profil de projection avec l'ondelette « Bior1.3 » :

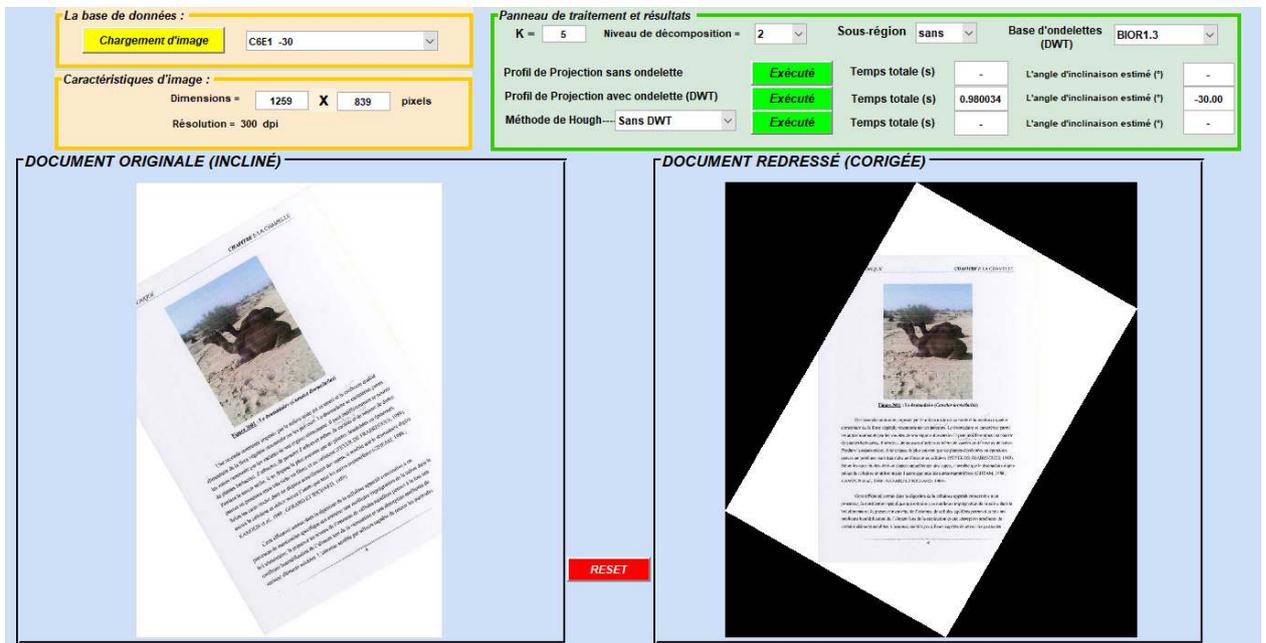


Figure 4.10. Exemple d'exécution de profil de projection avec l'ondelette « Bior1.3 ».

- Tous les résultats sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau 4.15. Les résultats obtenus du profil avec différentes bases d'ondelette.

Angle° L'ondelette	-30	-20	-9	-3	5	17	29
Haar (db1)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0.5848	0.5337	0.5020	0.4744	0.4876	0.5270	0.5657
db2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.13%
	0.7473	0.5399	0.5024	0.4793	0.4949	0.5351	0.5640
Bior1.3	0%	0%	0%	11%	0%	0%	0%
	0.7576	0.5523	0.5030	0.4777	0.4921	0.5378	0.5721
Bior1.5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0.6054	0.5614	0.5119	0.4889	0.4963	0.5465	0.5915
Sym2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.13%
	0.6561	0.5428	0.5058	0.4771	0.4875	0.5323	0.5698
Coif1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0.6422	0.5460	0.5094	0.4796	0.4920	0.5373	0.5790

Discussion

- On a remarqué que la précision n'est pas affectée par la base d'ondelette utilisée, car il n'y a pas d'erreur dans l'angle d'inclinaison et aussi une légère différence au temps qui ne dépasse pas **0.5 seconde**.
- De toutes les familles d'ondelette testées, on a trouvé que celle de « Daubechies » (db1, db2) a été découverte comme offrant un temps minimal et plus précis, notamment db1.
- De cette façon, l'ondelette de « Haar » est plutôt la plus efficace.

4.5.5 L'impact de nombre de sommet K

Nous effectuons des tests sur divers nombres de K afin de trouver celui qui convient le mieux pour un redressement précis.

On utilise l'ondelette « Haar » et on prend $N = 2$

- Voilà un exemple d'exécution de profil de projection avec l'ondelette «Haar» et $K = 1$:

Figure 4.11. Exemple d'exécution de profil de projection avec l'ondelette «Haar» et $K=1$.

- Voilà un exemple d'exécution de profil de projection avec l'ondelette «Haar» et $K = 5$:

Figure 4.12. Exemple d'exécution de profil de projection avec l'ondelette « Haar » et $K=5$.

- Voilà un exemple d'exécution de profil de projection avec l'ondelette « Haar » et $K = 10$:

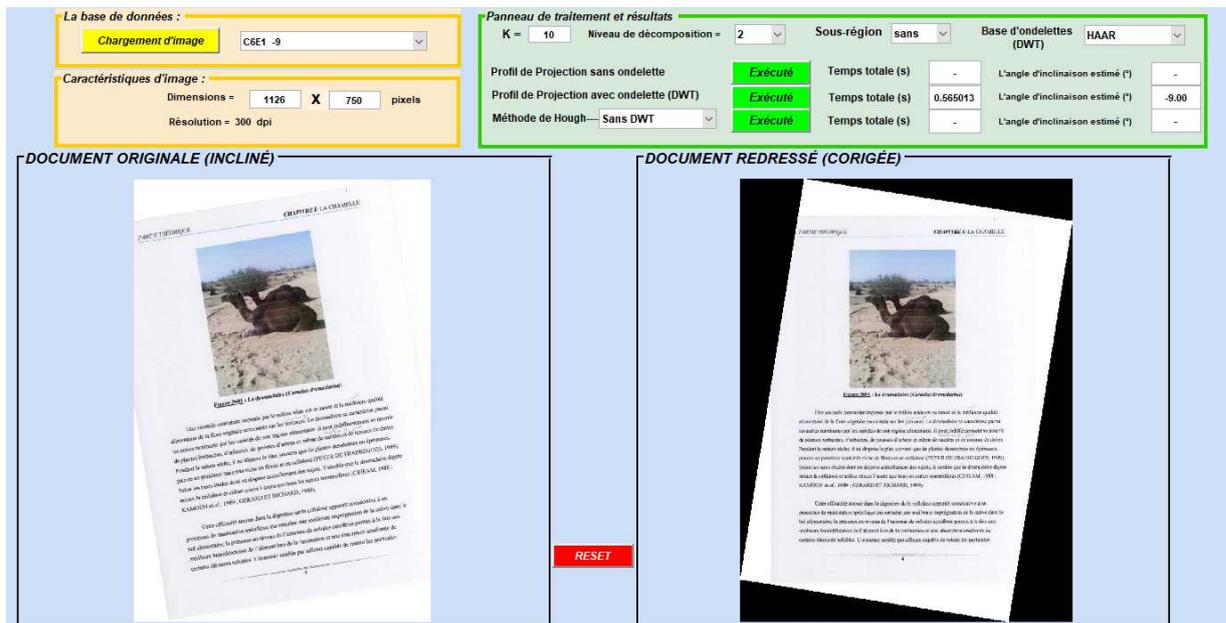


Figure 4.13. Exemple d'exécution de profil de projection avec l'ondelette « Haar » et $K=10$.

- Tous les résultats sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau 4.16. Les résultats obtenus du profil avec différents nombres de K .

K \ Angle°	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	1	0%	50%	233.33%	900%	500%	276.47%
5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
30	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Nous présentons également ce tableau sous forme de colonnes pour simplifier encore les résultats et faciliter la comparaison :

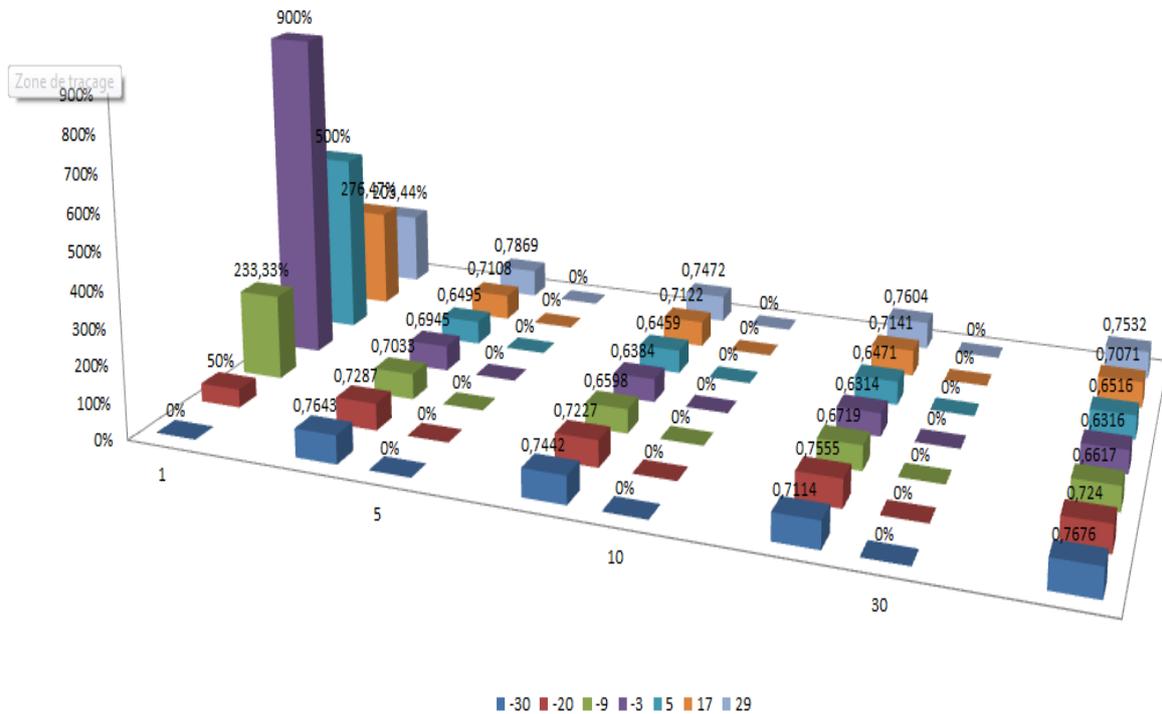


Figure 4.14. Les résultats du tableau de nombre de sommets K sous forme de colonnes.

Discussion

- Quand le nombre de sommets K est inférieur à 5, il y a une erreur importante dans l'angle d'inclinaison, ce qui entraîne des résultats très médiocres et un taux d'erreur important (un résultat très médiocre).
- D'autre part, lorsque K dépasse 5, le système conserve la même précision (0%) que pour K = 5 et le temps de traitement augmente de manière négligeable.
- Et en ce qui concerne K = 5, on remarque qu'il n'y a pas d'erreur dans l'angle et que le temps de redressement est le plus rapide.
- Ainsi, K = 5 est la meilleure option.

4.5.6 La troisième Méthode : Méthode de Hough

Dans cette méthode, nous avons testé avec et sans ondelette. Nous avons consigné nos résultats dans les tableaux suivants.

Pour la méthode avec ondelette (DWT), nous utilisons l'ondelette « Haar » car elle est la meilleure base ondelette pour un redressement rapide et précis.

➤ Voilà un exemple d'exécution de hough sans ondelette :

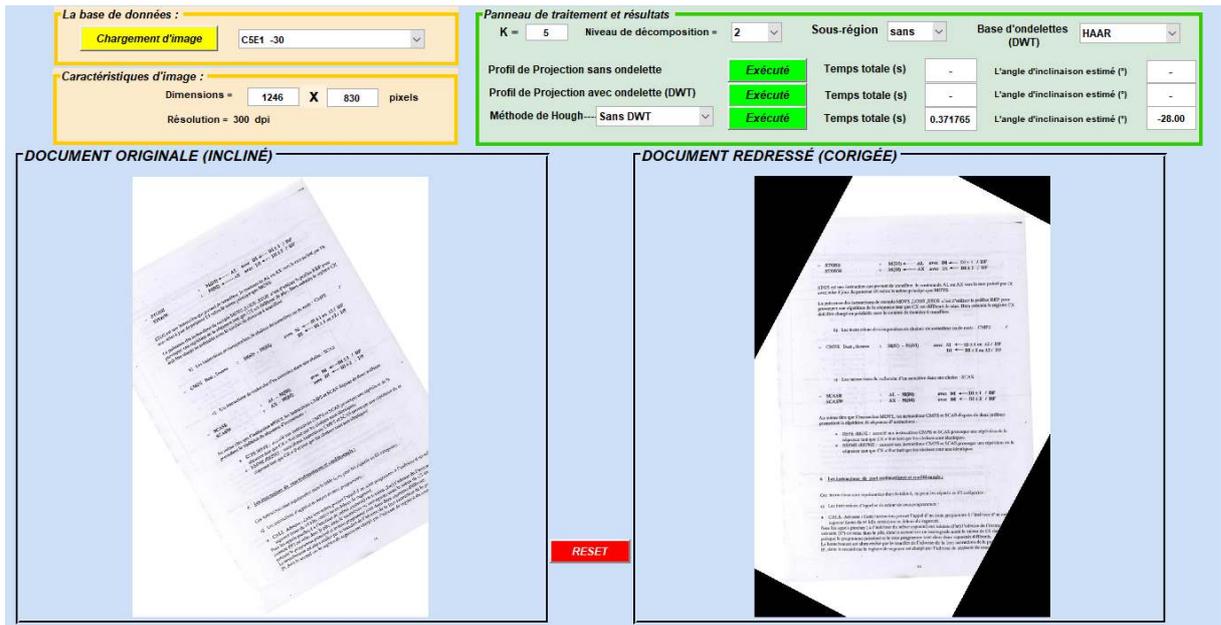


Figure 4.15. Exemple d'exécution de hough sans (DWT).

➤ Et voici un exemple de hough avec une ondelette et les étapes de ce traitement :

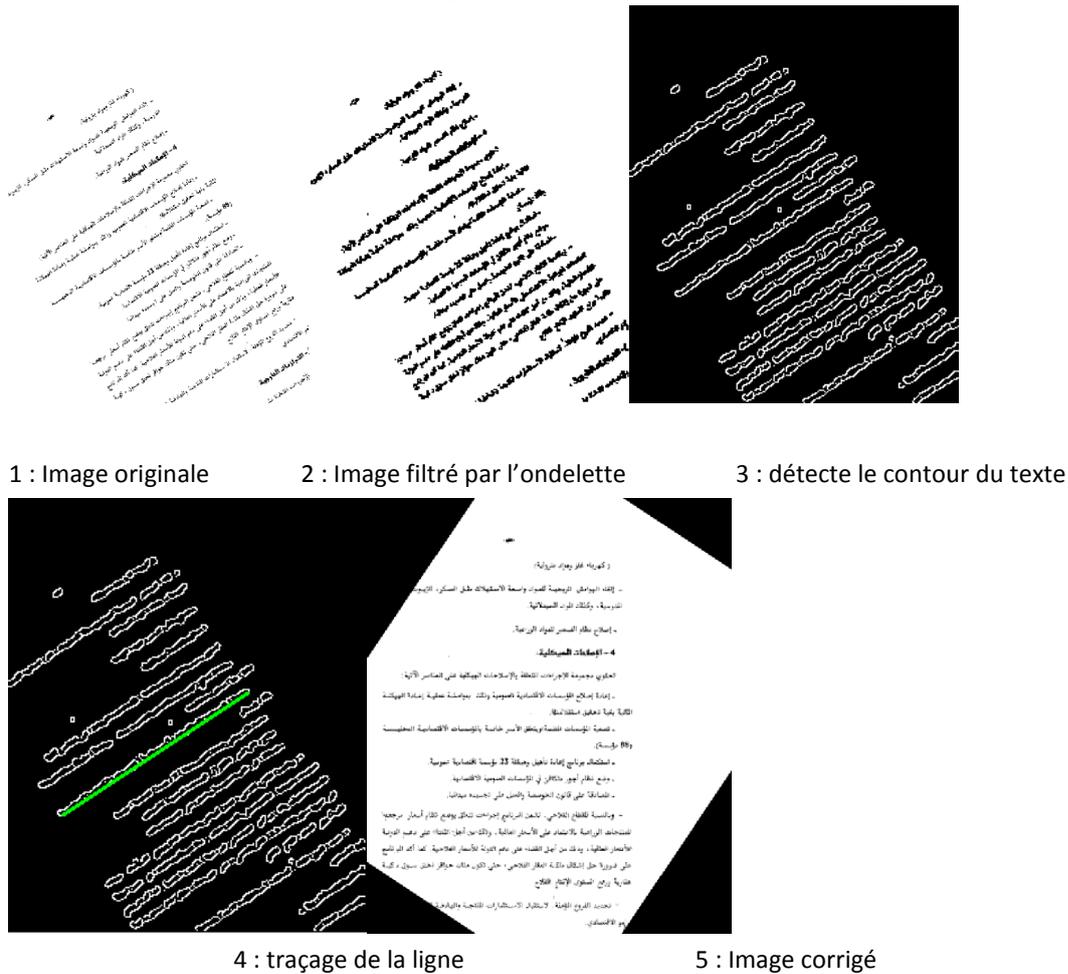


Figure 4.16. L'application de hough avec l'ondelette.

- Tous les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

a. Catégorie 1 (graphes) :

Tableau 4.17. Les résultats obtenus avec la 1ère catégorie du hough sans et avec DWT.

Sans ondelette	L'angle	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	L'erreur (Ei°)	1	1	1	1	1	1	1
	Temps(s)	0.3900	0.3409	0.3172	0.3008	0.3080	0.3328	0.3514
	Taux d'erreur (%)	3.33 %	5 %	11.11%	33.33%	20 %	5.88 %	3.44 %
Avec ondelette	L'angle	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	L'erreur (Ei°)	1	1	1	1	1	1	1
	Temps(s)	0.3169	0.3280	0.2791	0.2638	0.2696	0.2955	0.3040
	Taux d'erreur (%)	3.33 %	5 %	11.11%	33.33%	20 %	5.88 %	3.44 %

On obtient que l'erreur (Ei°) et le taux d'erreur sont de la même valeur pour les deux tests, avec et sans ondelette.

b. Catégorie 2 (multi colonne) :

Tableau 4.18. Les résultats obtenus avec la 2ème catégorie du hough sans et avec DWT.

Sans ondelette	L'angle	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	L'erreur (Ei°)	30	51	1	1	1	1	31
	Temps(s)	0.4690	0.4242	0.4077	0.4159	0.3992	0.4269	0.4456
	Taux d'erreur (%)	100 %	255 %	11.11%	3.33 %	20 %	5.88 %	106.89%
Avec ondelette	L'angle	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	L'erreur (Ei°)	30	0	73	0	39	55	31
	Temps(s)	0.3740	0.3341	0.3072	0.3051	0.3108	0.3282	0.3565
	Taux d'erreur (%)	100 %	0 %	811.1%	0 %	780 %	323.52%	106.89%

c. Catégorie 3 (tableaux) :

Tableau 4.19. Les résultats obtenus avec la 3eme catégorie du hough sans et avec DWT.

Sans ondelette	L'angle	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	L'erreur (Ei°)	1	1	1	1	1	1	1
	Temps(s)	0.3628	0.4132	0.3316	0.3371	0.3335	0.4183	0.3592
	Taux d'erreur (%)	3.33 %	5 %	11.11%	33.33%	20 %	5.88 %	3.44 %
Avec ondelette	L'angle	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	L'erreur (Ei°)	1	1	1	1	1	1	1
	Temps(s)	0.3192	0.3148	0.2947	0.2779	0.3002	0.2985	0.3164
	Taux d'erreur (%)	3.33 %	5 %	11.11%	33.33%	20 %	5.88 %	3.44 %

d. Catégorie 4 (texte en arabe) :

Tableau 4.20. Les résultats obtenus avec la 4ème catégorie du hough sans et avec DWT.

Sans ondelette	L'angle	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	L'erreur (Ei°)	1	1	1	1	1	1	31
	Temps(s)	0.3504	0.3061	0.3040	0.3162	0.3201	0.3043	0.3574
	Taux d'erreur (%)	3.33 %	5 %	11.11%	33.33%	20 %	5.88 %	106.89%
Avec ondelette	L'angle	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	L'erreur (Ei°)	31	51	1	1	1	1	31
	Temps(s)	0.3173	0.2661	0.2670	0.2747	0.2653	0.2623	0.3134
	Taux d'erreur (%)	103.33%	255 %	11.11%	33.33%	20 %	5.88 %	106.89%

e. Catégorie 5 (texte en latin) :

Tableau 4.21. Les résultats obtenus avec la 5ème catégorie du hough sans et avec DWT.

Sans ondelette	L'angle	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	L'erreur (Ei°)	2	2	2	2	2	2	2
	Temps(s)	0.3557	0.3400	0.3227	0.3201	0.3144	0.3413	0.3585
	Taux d'erreur (%)	6.66%	10 %	22.22%	6.66 %	40 %	11.76 %	6.89 %
Avec ondelette	L'angle	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	L'erreur (Ei°)	2	2	2	2	2	1	31
	Temps(s)	0.3188	0.3092	0.2911	0.2757	0.2779	0.3045	0.3167
	Taux d'erreur (%)	6.66 %	10 %	22.22%	6.66 %	40 %	5.88 %	106.89%

f. Catégorie 6 (images) :

Tableau 4.22. Les résultats obtenus avec la 5ème catégorie du hough sans et avec DWT.

Sans ondelette	L'angle	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	L'erreur (Ei°)	1	1	1	1	1	1	1
	Temps(s)	0.3999	0.3420	0.3299	0.3057	0.3115	0.3310	0.3495
	Taux d'erreur (%)	3.33 %	5 %	11.11%	33.33%	20 %	5.88 %	3.44 %
Avec ondelette	L'angle	-30	-20	-9	-3	5	17	29
	L'erreur (Ei°)	1	1	1	1	1	1	1
	Temps(s)	0.3173	0.3095	0.2859	0.2672	0.2776	0.3005	0.3166
	Taux d'erreur (%)	3.33 %	5 %	11.11%	33.33%	20 %	5.88 %	3.44 %

Discussion

Après avoir réalisé les tests, nous remarquons que:

- La méthode de Hough fonctionne bien pour toutes les catégories, avec une erreur variant entre 0° et 2°, ce qui est à la limite acceptable.
- Nous notons que la méthode de Hough est plus rapide que le profil de projection.
- Les deux tests, avec et sans ondelette, montrent que l'erreur (Ei°) et le taux d'erreur (%) sont identiques pour certaines catégories.

- Après l'utilisation de l'ondelette, nous constatons une diminution très faible du temps. Donc on peut affirmer que la méthode de Hough n'est pas fortement influencée par la transformation en ondelettes.

4.5.7 Méthode de sous-régions

Afin de diminuer le temps d'exécution, on teste les deux méthodes sur une partie de l'image.

Les résultats obtenus après le redressement, à l'aide de cette méthode sont représentés dans les tableaux suivants :

a. La méthode de profil sans ondelette avec sous-région

- Exemple d'exécution du profil de projection sans ondelette :

K = 5		Niveau de décomposition = 2		Sous-région sans		Base d'ondelettes (DWT) HAAR	
Profil de Projection sans ondelette	Exécuté	Temps totale (s)	4,05562	L'angle d'inclinaison estimé (°)	17,00		
Profil de Projection avec ondelette (DWT)	Exécuté	Temps totale (s)	-	L'angle d'inclinaison estimé (°)	-		
Méthode de Hough—Avec DWT	Exécuté	Temps totale (s)	-	L'angle d'inclinaison estimé (°)	-		

DOCUMENT ORIGINALE (INCLINÉ)

DOCUMENT REDRESSÉ (CORIGÉE)

RESET

Figure 4.17. Exemple d'exécution de profil sans (DWT) et sans sous-région.

➤ Test sur la sous-région :

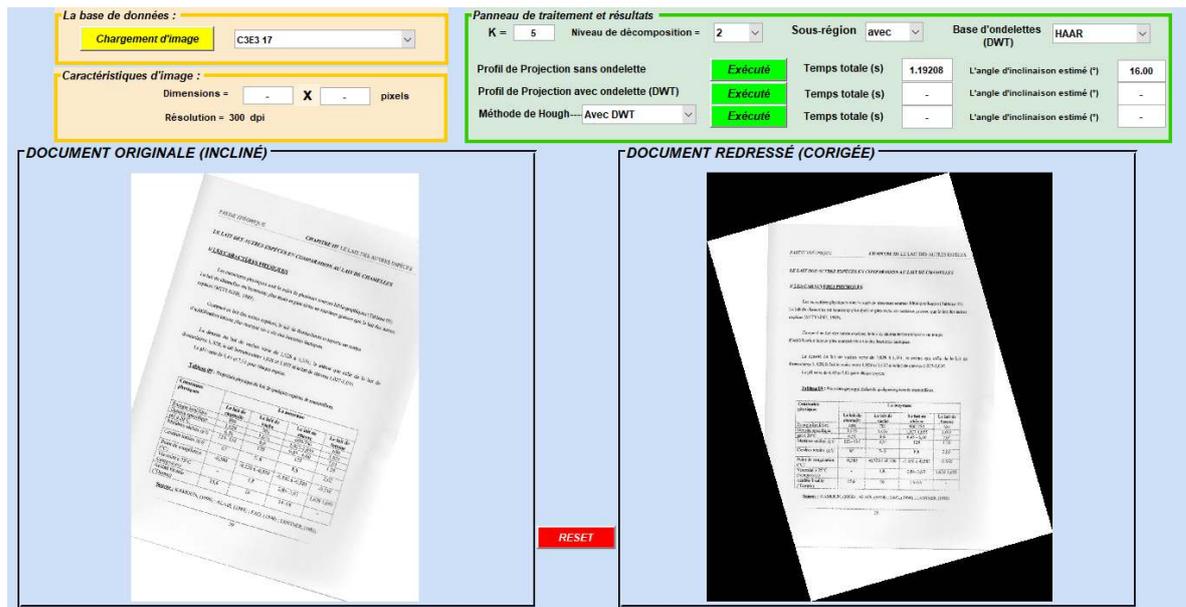


Figure 4.18. Exemple d'exécution de profil sans (DWT) avec sous-région.

Tableau 4.23. Les résultats obtenu de profil sans DWT (avec et sans sous-région).

Une image pour une catégorie	L'ange réel	Avec sous-région		Sans sous-région	
		Angle d'inclinaison	Temps(s)	Angle d'inclinaison	Temps(s)
1ère catégories Graphes	-30	-17	1.5489	-30	5.1851
2ème catégories multi colonne	-30	-30	1.2268	-30	4.1153
3ème catégories tableaux	17	19	1.2224	17	4.1296
4ème catégories Texte en arabe	29	29	1.2211	29	4.0425
5ème catégories Texte en latin	-3	-2	1.1976	-3	3.1977
6ème catégories image	-9	-9	1.2664	-9	3.4640

Analyse et discussion du tableau

Toutes les catégories que nous avons en base de données sont testées (Nous prenons un exemple pour chaque catégorie particulière).

Une fois notre test terminé, nous constatons que :

- La méthode de sous-région est efficace pour toutes les catégories, à l'exception de la catégorie des graphes.
- Nous constatons que la méthode sous-région permet d'obtenir une réduction de près de 50% du temps de traitement.
- De plus, Elle n'a pas une influence significative sur la précision, avec une déviation inférieure à 2° ou 1° par rapport aux méthodes sans sous-région.

b. Profil de projection avec ondelette et avec sous-région

Maintenant, nous ajoutons la méthode de sous-région à la méthode de profil de projection avec ondelette, puis nous effectuerons les tests.

➤ Voilà un exemple d'exécution de profil avec ondelette :

La base de données :
Chargement d'image: C2E2 5

Caractéristiques d'image :
Dimensions = 1083 X 723 pixels
Résolution = 300 dpi

Panneau de traitement et résultats

K = 5	Niveau de décomposition = 2	Sous-région sans	Base d'ondelettes (DWT) HAAR
Profil de Projection sans ondelette	Exécute	Temps totale (s)	-
Profil de Projection avec ondelette (DWT)	Exécute	Temps totale (s)	0.500866
Méthode de Hough—Avec DWT	Exécute	Temps totale (s)	-
		L'angle d'inclinaison estimé (°)	-
		L'angle d'inclinaison estimé (°)	5.00
		L'angle d'inclinaison estimé (°)	-

DOCUMENT ORIGINALE (INCLINE)

DOCUMENT REDRESSÉ (CORIGÉE)

RESET

Figure 4.19. Exemple d'exécution de profil avec (DWT) sans sous-région.

➤ Test sur la sous-région :

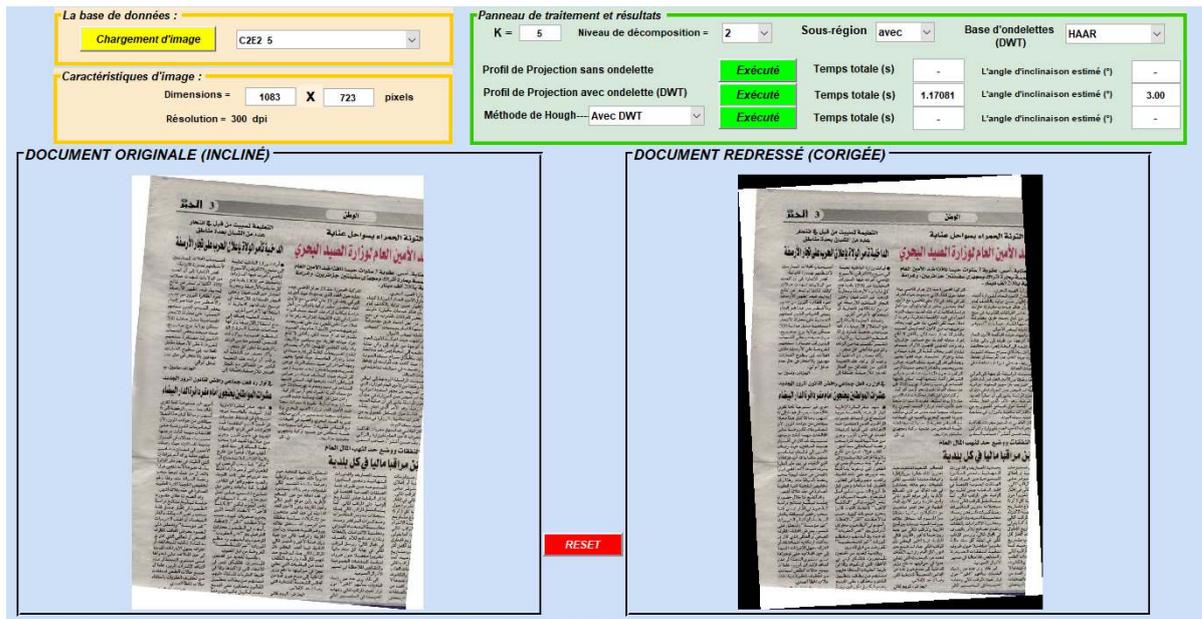


Figure 4.20. Exemple d'exécution de profil avec (DWT) avec sous-région.

Tableau 4.24. Les résultats obtenu de profil avec DWT (avec et sans sous-région).

Une image pour une catégorie	L'ange réel	Avec sous-région		Sans sous-région	
		Angle d'inclinaison	Temps(s)	Angle d'inclinaison	Temps(s)
1ère catégories Graphes	17	17	1.1589	17	0.6595
2ème catégories multi colonne	5	4	1.1482	5	0.4998
4ème catégories Texte en arabe	-30	-28	1.1751	-30	0.5769

Analyse et discussion du tableau

Une fois notre test terminé, nous constatons que :

- La méthode est efficace, elle n'a pas un impact significatif sur l'exactitude, avec une déviation inférieure à 2° par rapport aux méthodes sans sous-région, mais elle nécessite un temps de traitement plus long.

Il est donc possible de conclure que la méthode de sous-région n'a pas d'impact sur la méthode de profil de projection avec ondelette.

c. La méthode de Hough avec sous-région

Maintenant, on ajoute la sous-région à la méthode de Hough, puis nous effectuerons les tests.

➤ Voilà un exemple d'exécution de hough sans ondelette :

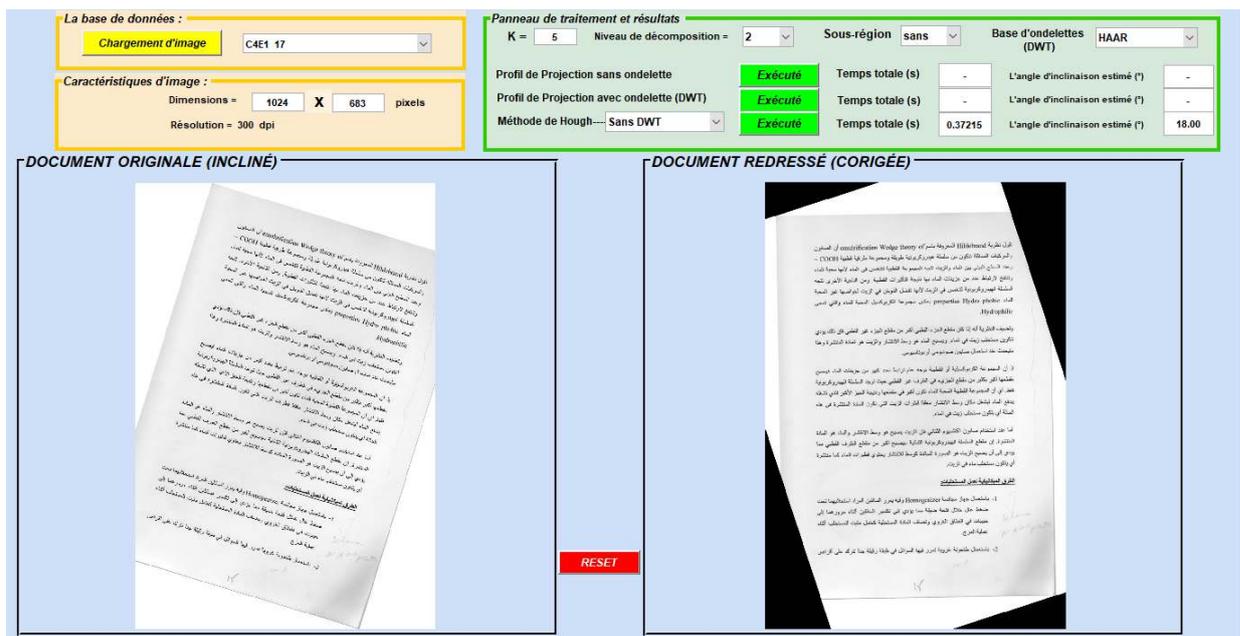


Figure 4.21. Exemple d'exécution de hough sans (DWT) et sans sous-région.

➤ Test sur la sous-région :

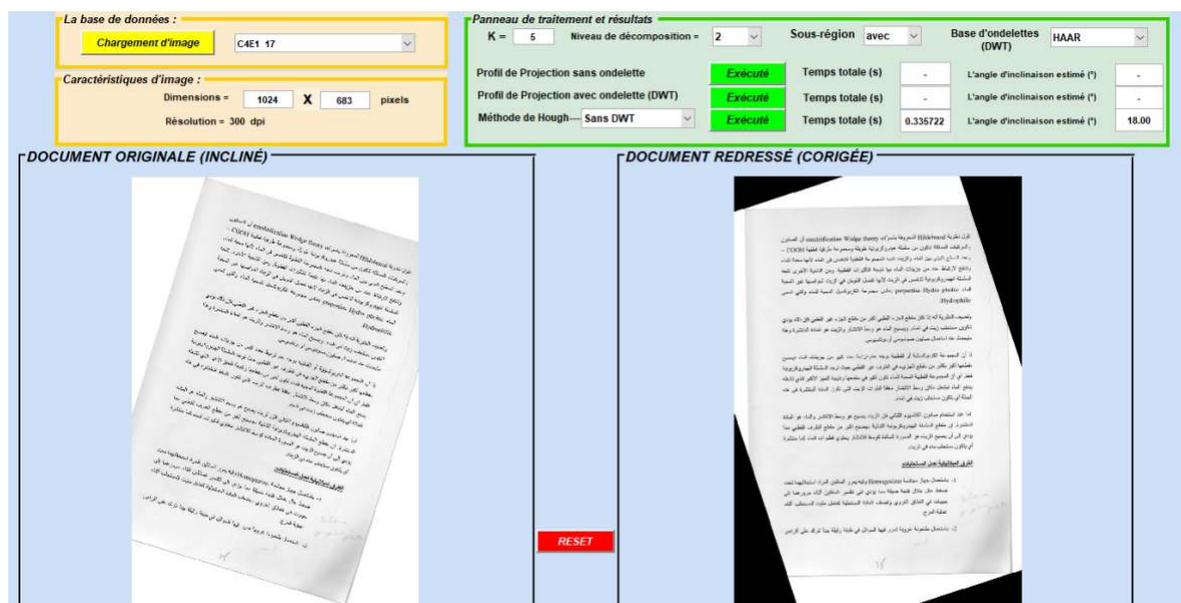


Figure 4.22. Exemple d'exécution de hough sans (DWT) et avec sous-région.

Tableau 4.25. Les résultats obtenus de hough (avec et sans sous-région).

Une image pour une catégorie	L'ange réel	Avec sous-région		Sans sous-région	
		Angle d'inclinaison	Temps(s)	Angle d'inclinaison	Temps(s)
1 ère catégories Graphes	-30	-63	0.4283	-29	0.4205
2ème catégories multi colonne	5	4	0.3199	6	0.4055
3ème catégories tableaux	-9	-8	0.3112	-8	0.3290
4ème catégories Texte en arabe	17	18	0.2848	18	0.3012
5ème catégories Texte en latin	29	31	0.3323	31	0.3528
6ème catégories image	-3	-2	0.2905	-2	0.3260

Analyse et discussion du tableau

Après avoir terminé notre test, nous remarquons que :

- La précision n'est pas très importante, comme on l'a généralement observé, avec une déviation inférieure à 2° par rapport aux méthodes non hybrides.
- Une baisse très faible du temps est observée. Il est donc possible d'affirmer que la méthode de sous-région n'est pas très influencée par la méthode de hough.

4.6 Conclusion

Les expériences ont mis en évidence que les techniques de redressement des documents imprimés présentent des performances différentes en ce qui concerne la précision et la rapidité du traitement. La technique de profil de projection, enrichie par la transformation en ondelettes « **Haar** », présente une précision remarquable et une diminution significative du temps de traitement, en particulier avec un niveau de décomposition optimal de $N = 2$ et $K = 5$.

La méthode de Hough se distingue par sa rapidité par rapport à la méthode de profil de projection, même si elle bénéficie moins de l'application de la transformation en ondelettes.

La méthode hybride, qui se base sur l'utilisation de sous-régions d'images, permet de diminuer le temps de traitement d'environ 50% sans compromettre la précision, bien que son efficacité soit limitée pour les graphes.

En conclusion, chaque méthode présente des avantages spécifiques. Par contre, le temps de détection diffère d'une méthode à l'autre. La méthode de Hough, rapide et efficace, peut être privilégiée pour des besoins spécifiques. La sélection de la méthode la plus appropriée dépendra donc des exigences particulières en termes de précision et de rapidité pour le traitement des documents spécifiques.

CONCLUSION GENERALE

Dans cette étude, notre travail s'est focalisé sur le redressement des documents imprimés scannés, une tâche essentielle pour garantir la lisibilité et l'accessibilité de ces documents au domaine numérique. Malgré la diversité des algorithmes existants visant à offrir une application étendue pour divers types de documents avec un minimum d'inconvénients, notre objectif principal était la détection et l'estimation de l'inclinaison dans un document imprimé scanné, suivi de son redressement.

Afin de parvenir à cet objectif, nous avons étudié deux approches de redressement : le profil de projection et la méthode de Hough. L'intégration de la transformée en ondelette (DWT) et le traitement limité à une sous-région du document ont permis d'améliorer les performances de ces méthodes.

L'efficacité de ces méthodes dans la correction des documents inclinés a été clairement prouvée par nos résultats expérimentaux. La performance a été évaluée en fonction de deux critères : la vitesse de traitement (temps de détection) et la précision de l'estimation de l'angle d'inclinaison. De plus, chaque paramètre a été soigneusement examiné, comme le niveau de décomposition N , le nombre de sommets k et le type d'ondelettes employé.

On peut considérer que le but principal de notre travail est atteint. Comme perspectives, il est intéressant de tester les performances des méthodes expérimentées à la sortie d'un système OCR, en examinant le taux de reconnaissance des caractères des documents textuels.

Annexe

Les différences entre les différentes transformées présentées sont résumées dans le tableau suivant : transformée de Fourier, transformée de Fourier à fenêtre (transformée de Gabor) et transformée en ondelette.

	Transformée de Fourier	Transformée de Gabor	Transformée en ondelettes
Fonctions utilisées	sinus cosinus	sinus, cosinus gaussienne	ondelette fonction d'échelle
Paramétrable	non	en partie	oui
Précision	aucune	fixe	variable

Tableau 4.26. Comparaison entre les transformations.

Bibliographie

- [1] F.ABDAT, « L'analyse des documents par la méthode des ondelettes », mémoire de magister, université SAAD DAHLEB Blida département d'électronique, 2005.
- [2] eIDAS Article 3 - Définitions (Dispositions générales) <https://www.marche-public.fr/eidas/eidas-03-definitions.htm>
- [3] Adobe Systems Incorporated. "Adobe Portable Document Format Reference", <https://opensource.adobe.com/dc-acrobat-sdk-docs/pdfstandards/pdfreference1.7old.pdf>
- [4] Adobe Systems Incorporated. "PostScript Language", Addison-Wesley, 1986.
- [5] Adobe Systems Incorporated. "Tagged Image File Format Specification Revision 6.0",
- [6] livre GILLES BUREL, « introduction au traitement d'images ».
- [7] M. Bergounioux, « Méthodes mathématiques pour le Traitement d'Image ».document numérique, 2009.
- [8] <https://www.ionos.fr/digitalguide/sites-internet/web-design/quest-ce-quun-pixel/> .
- [9] https://staff.univbatna2.dz/sites/default/files/behloul_ali/files/chap1fti.pdf
- [10] L. Mezai " Analyse et reconnaissance de documents", Mémoire de Magister, I .N.I, (juin 2004).
- [11] M.Belaid,«Cour4»,CourdeDEA,PRTAL7, France,(2003).
- [12] N. Khorissi, F. Abdat, A. Mellit, A. Guessoum, M. Bendekhis "Methodology for fast skew angle detection and correction by using the Wavelet and the Hough transform: Application for Arabic printed documents" WSEAS TRANSACTIONS on SIGNAL PROCESSING, Issue 7, Volume 3, July 2007 ,ISSN1790-5022, <http://www.wseas.org>
- [13] R. Cattoni, T. Coianiz, S. Messelodi, C.M. Modena, "Geometric layout analysis techniques for document image understanding: a review". Rapport technique, ITC-IRST, Via Sommativa, I-38050 Povo, Trento Italy, (Janvier 1998)
- [14] A. Sehad, L. Mezai, M.T Laskri et M. Cheriet, « Estimation de l'inclinaison des documents arabes imprimés », CIFED, France, 2004.
- [15] O. Okun ; M, P. Ainen and J. Sauvola, « robust Skew Estimation on Low-Resolution Document Image », CIMO, (1990).

- [16] E. B. Bouchereau « Analyse d'image par transformées en ondelettes : Application aux images sismiques» Thèse de Doctorat, L'université Joseph FOURIER, Grenoble I, France (Mars 1997).
- [17] B.Barras, « Estimateur de la régularité à l'aide de l'analyse en ondelettes » travail de diplôme, Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne, (février 2000).
- [18] Oppenheim, Alan V., et Alan S. Willsky. "Signals and Systems." Prentice Hall, 1996.
- [19] C.DIOU, « Contribution à l'intégration sur silicium de la transformée en ondelettes Application au traitement d'images», Université de Montpellier II, (Décembre 2000).
- [20] Richardbarond,«Contributionsal'étudedesréseauxd'ondeletes»,Thèsededoctorat EcolenormalesupérieuredeLyon, (1997).
- [21] DERDOUR Khedidja, « Reconnaissance de formes du chiffre arabe imprimé :Application au code à barre d'un produit », Magistère, Département Génie Industriel,Facultédes Sciences de l'Ingénieur, Université HADJLAKHDAR – BATNA,2008/2009
- [22] Philippe LEFÈVRE, « Reconnaissance de l'imprimé », Techniques del'Ingénieur,traitéInformatique.
- [23] DalelKetata et Maher Khemakhem, « Un survol sur l'analyse et la reconnaissance dedocuments:imprimé,ancienet manuscrit»,publié dans"ColloqueInternational Francophone sur l'Ecrit et le Document (CIFED2010), sousse : Tunisie(2010)",page(1), 2010.
- [24] AbdelBelaïd,«Reconnaissanceautomatiquedel'écritureetdudocument» documentnumérique.
- [25] TAKILALTAbdellatif etMEHRAD Belkacem,«Redressement des documents imprimés scannés», PFE ingénieur, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Saad Dahleb de Blida, 2010