

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET
POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI OUZOU
FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE



MEMOIRE

De fin d'études présenté
En vue de l'obtention du diplôme
D'ingénieur d'état en électronique
Option : communication

THEME

***Extraction de la signature d'une empreinte digitale par la
détection locale des minuties***

Proposé et dirigé par :

Mr. ATTAF YUCEF

Présenté par :

Mr. OULD AMER DJAMEL

PROMOTION 2011

REMERCIEMENTS

« *Tout travail de recherche n'est jamais totalement l'œuvre d'une seule personne, car il met en jeu la participation et l'aide de plusieurs individus et organismes que je tiens à remercier* ».

Mes remerciements les plus sincères s'adressent à mon promoteur Monsieur Y.ATTAF pour le temps et la confiance et les moyens qu'il à mis à ma disposition, son suivi attentif et sa bienveillance.

Un mémoire de fin d'études évoque forcément des années d'études, je remercie donc tous les enseignants qui ont eu un jour à m'apprendre un bout de cet immense savoir.

Je remercie les membres de jury, pour avoir consacré une partie de leur temps afin de juger mon travail, et pour m'avoir fait l'honneur d'y participer.

Mes sincères sentiments vont à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet. En particulier ma chère famille et mes amis (es).

Dédicaces

Rien n'est difficile à écrire qu'une dédicace .on oublie forcément des personnes qui compte pour nous et qui, à leur manière, ont contribué à la réalisation d'un projet et l'accomplissement d'un objectif, d'un rêve, ou même d'une personnalité. Je m'excuse d'avance auprès de tous les êtres que j'omettrai sans le vouloir.

Ma dédicace première vous est forcément adressée à vous, mes très chers parents ; c'est à vos efforts, votre présence, votre éducation le long de toutes ces années, qu'aujourd'hui, je me sens privilégié de pouvoir dédier un travail. Que ce travail puisse exprimer ne serait ce qu'un moment toute la reconnaissance que je leur dois et tout l'amour que j'ai pour eux.

Ce travail est aussi dédié à mon frère (Hakim) et mes sœurs (Malha et Khadidja) .La particularité de chacun d'eux fait partie d'un tout qui m'a aidé à grandir dans un milieu saint. Et ça, c'est une chose sans égale.

Ce travail est aussi dédié à tous ceux qui me sont chères :

Spécialement à ma très chère K.Terkia et sa famille.

A mon ami B.Rafik et sa famille.

Sans oublier mes ami(es) et tous ceux qui me sont cher(es).

Djamel .O

<u>Sommaire</u>	<i>page</i>
Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur le traitement d'images	
I.1. Introduction.....	2
• Qu'est ce qu'une image?.....	2
• Pourquoi et comment traiter les images.....	2
I.2. Notions fondamentales en traitement d'images.....	3
I.2.1. Pixel.....	3
I.2.2. Voisinage d'un pixel.....	3
• Connexité.....	4
I.2.3. Image numérique.....	4
I.2.4. Résolution d'une image.....	5
I.2.5. Image en niveaux de gris.....	5
I.2.6. Image binaire.....	6
I.2.7. Image numérique couleurs.....	6
I.2.8. Représentation en couleurs réelles (Images en "vraies couleurs").....	6
I.2.9. Représentation en couleurs indexées.....	7
I.2.10. Bruit dans l'image.....	8
I.2.11. Histogramme.....	8
I.2.11.1. Histogramme unimodal.....	9
I.2.11.2. Histogramme bimodal.....	9
I.2.11.3 - Histogramme multimodal.....	10
I.2.12. Contraste.....	10
I.3. Formats des images.....	11
I.3.1. L'image bitmap.....	11
I.3.2. L'image vectorielle.....	11
I.4. Étapes de l'analyse d'images.....	11
I.5. Domaines d'applications du traitement d'images.....	12
I.6. Outils de traitement d'images.....	12
I.6.1. Modification d'histogramme.....	12
I.6.2. Egalisation d'histogramme.....	13
I.6.3. Etirement d'histogramme.....	14
I.6.4. Binarisation (par seuillage).....	15
I.6.5. Amélioration du contraste.....	16
I.6.6. Rehaussement d'images.....	16
I.6.7. Le filtrage.....	17
a. Filtres linéaires.....	17

a.1. Filtre moyen	18
b. Filtres non linéaires	19
b.1. Filtres médian	19
b.2 Filtres morphologiques.....	20
Dilatation	20
Erosion.....	20
Ouverture	20
Fermeture	20
I.6.8. La convolution	21
I.6.9. La segmentation d'image.....	21
a. Définition.....	21
b. Les approches de la segmentation.....	22
I.7. La texture.....	22
I.7.1. Définition de la texture	22
I.7.2. Classification des textures	23
1. Textures structurelles	23
2. Textures aléatoires	23
3. Textures directionnelles	24
I.8. Conclusion	24

Chapitre II : La biométrie et les empreintes digitales

II.1. La biométrie	25
II.1.1. Qu'est ce que la biométrie?.....	25
II.1.2. Identification et authentification par biométrie.....	25
II.1.2.1. Analyse morphologique	26
• Identification par l'empreinte digitale	26
• Identification par la morphologie de la main, ou «empreinte palmaire»...26	
• Identification par l'iris	26
• Identification par la rétine	27
• Reconnaissance faciale	27
• Identification par thermographie	28
II.1.2.2. Analyse comportementale	28
• Authentification par la dynamique du tracé de la signature	28
• Identification par la voix	28
• Identification par la dynamique de frappe sur un clavier	29
II.1.2.3 : Analyse de traces biologiques	29
II.1.3. Les empreintes digitales.....	30
II.1.3.1. Historique	30
II.1.3.2. Caractéristiques des empreintes digitales	30
II.2. Architectures d'un système complet de reconnaissance d'empreintes....	32
II.2.1. Principe général	32
II.2.2. L'acquisition de l'empreinte.....	34

II.2.3. La phase d'enrôlement (inscription).....	34
II.2.4. Le stockage et la phase d'appariement.....	35
II.3. Les capteurs d'empreintes digitales.....	35
II.3.1. Introduction.....	35
II.3.2. Les capteurs d'empreintes digitales macroscopiques.....	35
II.3.2.1. Capteurs d'empreintes digitales optiques.....	36
II.3.2.2. Les capteurs d'empreintes digitales ultrasoniques.....	37
II.3.3. Les capteurs intégrés d'empreintes digitales.....	38
II.3.3.1. Les capteurs intégrés capacitifs.....	38
II.3.3.2. Les capteurs intégrés thermiques.....	38
II.3.3.3. Capteurs intégrés tactiles.....	39
II.4. Conclusion.....	40

Chapitre III : Méthode de détection des minuties et le fichier signature d'une empreinte digitale

III.1. Introduction.....	41
III.2. L'extraction des minuties.....	41
III.2.1 Principe.....	41
III.2.2 La binarisation de l'image d'empreinte.....	42
III.2.3 Squelettisation de l'image d'empreinte.....	43
III.2.4 La détection des minuties.....	44
III.2.5 L'élimination des fausses minuties.....	47
III.2.5.1 Post-traitement.....	47
III.2.5.2 Détermination de la distance D.....	48
III.2.5.3 Détection de la zone d'intérêt pour l'extraction des minuties.....	50
III.2.5.4 Résultats.....	52
III.3 Le fichier signature d'une empreinte digitale.....	52
III.3.1 Estimation spatiale de l'orientation locale des lignes d'une empreinte digitale.....	52
III.3.2 Le calcul de la direction locale d'un pixel.....	53
III.4. Conclusion.....	56

Chapitre IV : Tests et résultats

IV.1. Introduction.....	57
IV.2. Présentation de la base FVC2004.....	57
IV.3. Présentation du logiciel utilisé.....	58
IV.4. Les images tests utilisées.....	58
IV.5. Application de la méthode aux images test de la base FVC2004.....	60
IV.5.1 Images test 1.....	60
IV.5.2 Images test 2.....	61
IV.5.3 Images test 3.....	63
IV.5.4 Images test 4.....	64

IV.5.5 Images test 5.....	66
IV.6. Temps d'exécution du programme.....	67
IV.7. Discussion des résultats et conclusion.....	68
Conclusion générale.....	70

Annexes

Bibliographie



Introduction générale

Le traitement d'images a pour vocation l'étude, la conception et la réalisation de systèmes d'exploitation d'images considérées comme véhicules de l'information. Son but ultime consiste à extraire le contenu informationnel (ou information pertinente) des images en vue d'une prise de décision ou d'une action. Cette information peut être à deux niveaux différents :

- Le traitement de « bas niveau » auquel est affectée la tâche d'extraction des primitives pertinentes de l'image dont le but est la réduction de la quantité d'information contenue dans l'image.
- Le traitement de « haut niveau » destiné à l'interprétation du contenu de l'image dans un but de reconnaissance et de compréhension.

Le travail effectué fait appel principalement à des techniques de traitement d'images (filtrage, détection et extraction des caractéristiques d'une image...). Le cadre général dans lequel s'inscrit ce mémoire est celui de l'identification à partir des empreintes digitales, et notre tâche consiste à détecter et extraire les caractéristiques d'une empreinte digitale appelées minuties. Ce mémoire est structuré en quatre chapitres.

Dans la première partie, nous aborderons le domaine de l'imagerie en introduisant des généralités et des définitions. Puis nous passerons brièvement aux différents concepts liés aux traitements applicables sur celle-ci.

Dans le deuxième chapitre, nous introduirons la notion de biométrie, et nous allons passer en revue les différentes techniques biométriques qui existent. Nous insisterons plus particulièrement sur les caractéristiques et l'utilisation des empreintes digitales dans les systèmes d'identification de personnes. Ensuite nous nous intéresserons en particulier à l'étape d'acquisition de l'empreinte digitale et un ensemble de capteur d'empreinte sera décrit.

Le troisième chapitre sera dédié à la présentation et l'explication de notre méthode de détection des minuties et l'extraction de la signature d'une empreinte digitale. Cette étape a une place très importante car une reconnaissance optimale nécessite la disposition d'une information fiable.

Le quatrième et dernier chapitre permettra d'évaluer les performances de la méthode proposée. Nous présenterons les résultats obtenus et les interprétations correspondantes.

Nous conclurons par une conclusion générale et quelques perspectives.

I.1. Introduction

Avec la parole, l'image a toujours constituée l'un des moyens les plus privilégiés qu'utilise l'homme pour communiquer avec autrui. En effet c'est un moyen de communication universel dont la richesse du contenu permet aux êtres humains de tout âge et de toute culture de se comprendre. Chacun peut analyser l'image à sa manière, pour en dégager une impression et d'en extraire des informations précises.

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

Avant de donner les notions fondamentales et les outils de traitement d'images, il serait utile de définir la notion d'image et les raisons de son traitement.

• Qu'est ce qu'une image ?

L'image est une représentation d'une personne ou d'un objet par la peinture, la sculpture, le dessin, la photographie, le film, etc. C'est aussi un ensemble structuré d'informations qui, après affichage sur écran, ont une signification pour l'œil humain. Afin que l'image puisse être traitée par la machine, sa numérisation est nécessaire. [1]

• Pourquoi et comment traiter les images ?

On peut dire que l'on traite des images dès lors que l'on extrait une information de cette image. Il existe de très nombreuses façons de traiter des images. Une première manière de tenter une classification des types de traitement est de se référer au but poursuivi.

Pourquoi cherche-t-on à traiter une image ? [2]

1. On peut chercher à améliorer sa qualité subjective (la rendre plus agréable à l'œil) ou objective, donc mesurable : on veut améliorer son contraste, accroître la perception de certains détails ou contours, faire ressortir plus nettement certaines zones ou certaines formes, diminuer le bruit, etc. Il s'agit donc de techniques d'amélioration qui font appel à des procédés variés créant des lissages, rehaussements, etc.
2. On peut chercher à trouver une image « idéale » de l'objet qui a été dégradé par divers processus : on veut diminuer les fluctuations dues à des phénomènes de turbulence. Il s'agit là de techniques de restauration.
3. On peut chercher à détecter la présence de certaines formes, certains contours ou certaines textures de modèle connu, sans vouloir préserver les autres informations.
4. On peut chercher à réduire l'énorme quantité d'informations contenues dans une image, à la « compresser » afin de gagner en vitesse de transmission, en encombrement des organes utilisés, en capacité de stockage, etc. tout en ne

dégradant que le moins possible les images considérées. Ce domaine est celui du codage, de la compression des données et de l'approximation des images.

5. On peut chercher à faire une analyse de l'image. Cette dernière consiste en l'extraction des informations contenues dans les divers objets de la scène, sans toutefois fournir une interprétation. Il s'agit des techniques d'extraction d'attributs, c'est-à-dire de « formes » (contours, textures) et de segmentations.

Durant ce chapitre nous verrons quelques notions fondamentales, ainsi que quelques outils de traitement d'images.

I.2. Notions fondamentales en traitement d'images

I.2.1. Pixel

Contraction de l'expression anglaise " Picture éléments " : éléments d'image, le pixel est le plus petit point de l'image, c'est une entité calculable qui peut recevoir une structure et une quantification.

Le pixel est le plus petit élément que peuvent manipuler les matériels et logiciels d'affichage ou d'impression. La lettre **A**, par exemple, peut être affichée comme un groupe de pixels dans la figure ci-dessous :



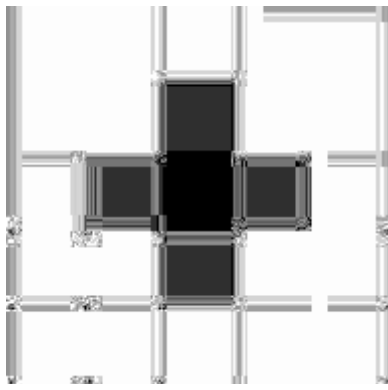
La quantité d'information que véhicule chaque pixel donne des nuances entre images monochromes et images couleurs. Dans le cas d'une image monochrome, chaque pixel est codé sur un octet, et la taille mémoire nécessaire pour afficher une telle image est directement liée à la taille de l'image.

Dans une image couleur (R.V.B.), un pixel peut être représenté sur trois octets : un octet pour chacune des couleurs : rouge (R), vert (V) et bleu (B). [1]

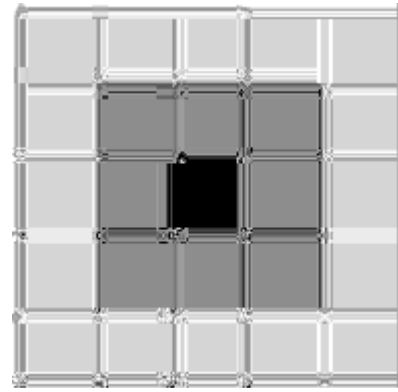
I.2.2. Voisinage d'un pixel

Le voisinage d'un pixel est composé de tous les pixels qui l'entourent immédiatement. Si P est un pixel d'une image D, alors le voisinage de P est le plus petit sous-ensemble de D qui contient P.

L'image discrète est représentée par un maillage carré. Les métriques couramment utilisées en maillage carré sont désignées par d4 et d8. (Voir la Fig. I.01)



a) Voisinage 4-connexes



b) Voisinage 8-connexes

Fig. I.01 : Voisinage d'un pixel

- **Connexité**

Dans une image numérique, on distingue deux types de connexités relatives au voisinage utilisé : la 4-connexité (Figure I.1.a) et la 8-connexité (Figure I.1.b).

Le voisinage d'un pixel (i,j) est dit 4-connexe s'il est formé des quatre pixels de coordonnées spatiales $(i+1,j)$, $(i,j+1)$, $(i-1,j)$, $(i,j-1)$, et il est dit 8-connexe s'il est formé des pixels de coordonnées spatiales $(i+1,j)$, $(i,j+1)$, $(i-1,j)$, $(i,j-1)$, $(i+1,j-1)$, $(i+1,j+1)$, $(i-1,j+1)$, $(i-1,j-1)$, et si leurs niveaux de gris respectent un certain critère de similarité.

La connexité entre les pixels d'une image est un concept très important utilisé surtout dans l'établissement des frontières des objets et l'identification des composants d'une région dans une image.

I.2.3. Image numérique

Contrairement aux images obtenues à l'aide d'un appareil photo, ou dessinées sur du papier, les images manipulées par un ordinateur sont numériques (représentées par une série de bits). L'image numérique est l'image dont la surface est divisée en éléments de tailles fixes appelés cellules ou pixels, ayant chacun comme caractéristique un niveau de gris ou de couleurs prélevé à l'emplacement correspondant dans l'image réelle, ou calculé à partir d'une description interne de la scène à représenter.

La numérisation d'une image est la conversion de celle-ci de son état analogique (distribution continue d'intensités lumineuses dans un plan xOy) en une image numérique représentée par une matrice bidimensionnelle de valeurs numériques $f(x,y)$

Où :

x, y : coordonnées cartésiennes d'un point de l'image.

$f(x, y)$: niveau de gris en ce point

Pour des raisons de commodité de représentation pour l'affichage et l'adressage, les données images sont généralement rangées sous formes de tableau I (matrice) de N lignes

et P colonnes. Chaque élément $I(x, y)$ représente un pixel de l'image et à sa valeur est associé à un niveau de gris codé sur m bits ; (2^m niveaux de gris ; 0 = noir ; 2^m-1 = blanc). La valeur en chaque point exprime la mesure d'intensité lumineuse perçue par le capteur. [1]

$$I = \begin{pmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, P - 1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, P - 1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(N - 1,0) & \dots & \dots & f(N - 1, P - 1) \end{pmatrix}$$

I.2.4. Résolution d'une image

La résolution d'une image est définie par le nombre de pixels par unité de longueur de la structure à numériser (classiquement en dpi (dots per inches) ou ppp (points par pouce, sachant qu'un pouce mesure environ 2,54 cm).

Ce paramètre est défini lors de la numérisation et dépend principalement des caractéristiques du matériel utilisé lors de processus de numérisation. Plus le nombre de pixels est élevé par unité de longueur de la structure à numériser, plus la quantité d'information qui décrit cette structure est importante et plus la résolution est élevée. La résolution d'une image numérique définit le degré de détail qui va être représenté sur cette image.

I.2.5. Image en niveaux de gris

Dans une image en niveaux de gris, la couleur d'un pixel peut prendre des valeurs allant du noir au blanc, en passant par un nombre fini de niveaux intermédiaires. Dans une telle image les intensités du rouge, du vert, et du bleu de chaque pixel sont égales. En général, les images en niveaux de gris renferment 256 teintes de gris (image à 256 couleurs), simplement chacune de ces 256 couleurs est définie dans la gamme des gris.

Par convention la valeur zéro représente le noir (intensité lumineuse nulle) et la valeur 255 le blanc (intensité lumineuse maximale). Chaque pixel n'est donc plus représenté par un bit, mais par un octet.

Le nombre de niveaux de gris dépend du nombre de bits utilisés pour décrire la " couleur " de chaque pixel de l'image. Plus ce nombre est important, plus les niveaux possibles sont nombreux. [1]



Fig. I.02 : Exemple d'une image en niveaux de gris.

I.2.6. Image binaire :

Ces images sont constituées de points (pixels) qui ne peuvent avoir que deux états : noir ou blanc. On les appelle des images « au trait ». On trouve parmi elles des pages de texte, des signatures, des plans, des dessins, etc. [3]

I.2.7. Image numérique couleurs

La perception humaine de la couleur est caractérisée par son aspect tridimensionnel. Les travaux de Young du tout début du XIX^{ème} (vers 1802), repris en 1866 par Helmholtz, mettent en évidence que tout stimulus de couleur peut être reproduit par le mélange de trois stimuli : le Rouge, le Vert et le bleu (*RVB*), appelées primaires ou stimuli de référence [04]. Ce principe est également connu sous le nom de synthèse additive des couleurs.

Une image en couleurs est censée représenter le mieux possible la réalité. La représentation des couleurs s'effectue de la même manière que les images monochromes avec cependant quelques particularités. En effet, il faut tout d'abord choisir un modèle de représentation. On peut représenter les couleurs à l'aide de leurs composantes primaires, chaque image numérique couleur I est une matrice de pixels P , dont la couleur $C(P)$ est définie par trois composantes, rouge, verte et bleue notées respectivement $C_R(P)$, $C_V(P)$ et $C_B(P)$ (modèle *RVB*) [5]. Les espaces *RVB* ont un champ d'application très vaste, on les retrouve dans le domaine de la télévision, ainsi que dans le domaine de la photographie, et plein d'autres.

I.2.8. Représentation en couleurs réelles (Images en "vraies couleurs")

Elle consiste à utiliser 24 bits pour chaque point de l'image. Huit bits sont employés pour décrire la composante rouge (R), huit pour le vert (V) et huit pour le bleu (B). Il est ainsi possible de représenter environ 16,7 millions de couleurs différentes simultanément. Cela est cependant théorique, car aucun écran n'est capable d'afficher 16 millions de points. Dans la plus haute résolution (1600 x 1200), l'écran n'affiche que 1 920 000 points. Par ailleurs, l'œil humain n'est pas capable de distinguer autant de couleurs.

L'information couleur de chaque pixel est donc codée par 3 octets, ce qui fait que les images en vraies couleurs sont des images très "lourdes".

Exemple :



Fig. I.03 : Image numérisée avec 16 millions de couleurs

I.2.9. Représentation en couleurs indexées :

Afin de diminuer la charge de travail nécessaire pour manipuler des images en 24 bits, on peut utiliser le mode de représentation en couleurs indexées. Le principe consiste à déterminer le nombre de couleurs différentes utilisées dans l'image, puis à créer une table de ces couleurs en attribuant à chacune une valeur numérique correspondant à sa position dans la table.

Ces couleurs sont mémorisées dans une table de couleurs (colormap) qui est une matrice $n \times 3$ (ou n est le nombre de couleurs). L'image est alors une matrice contenant des nombres entiers compris entre 1 et n , chaque entier jouant le rôle d'un index relatif à la table de couleurs. [06]

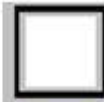




Palette avec les codes RVB	Couleurs correspondantes
Couleur 0 : 255 255 255	
Couleur 1 : 255 255 204	
Couleur 2 : 255 255 153	
Couleur 3 : 255 255 102	
Couleur 4 : 255 255 51	

Tableau I.1 : Exemple d'une palette de couleur.

Ainsi, un pixel à qui sera affectée la couleur numéro 0 sera visualisée en blanc, un pixel à qui sera affectée la couleur numéro 4 sera visualisée en jaune.

I.2.10. Bruit dans l'image

Le bruit dans une image est défini comme étant un phénomène de brusque variation d'un pixel isolé par rapport à ses voisins, il affecte la qualité de l'image et il provient soit du dispositif d'acquisition (scanner, caméra, amplification, quantification...) soit de la scène elle-même (poussières, rayures...).

I.2.11. Histogramme

Un histogramme est un graphique statistique permettant de représenter la distribution des intensités des pixels d'une image, c'est-à-dire le nombre de pixels pour chaque intensité lumineuse. Par convention un histogramme représente le niveau d'intensité en abscisse en allant du plus foncé (à gauche) au plus clair (à droite).

Il permet de donner un grand nombre d'information sur la distribution des niveaux de gris et de voir entre quelles bornes est répartie la majorité des niveaux de gris dans les cas d'une image trop claire ou d'une image trop foncée.

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

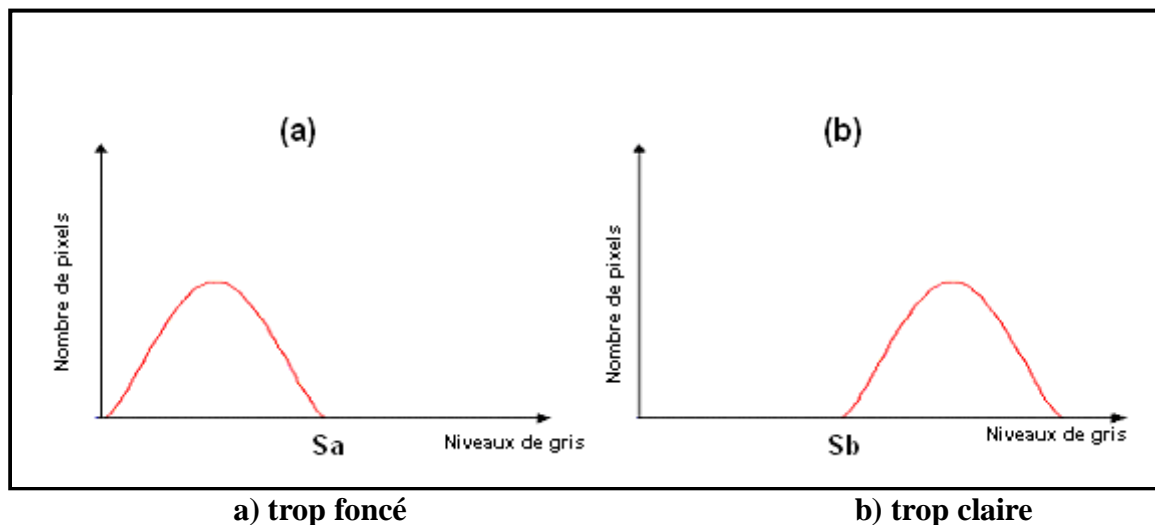
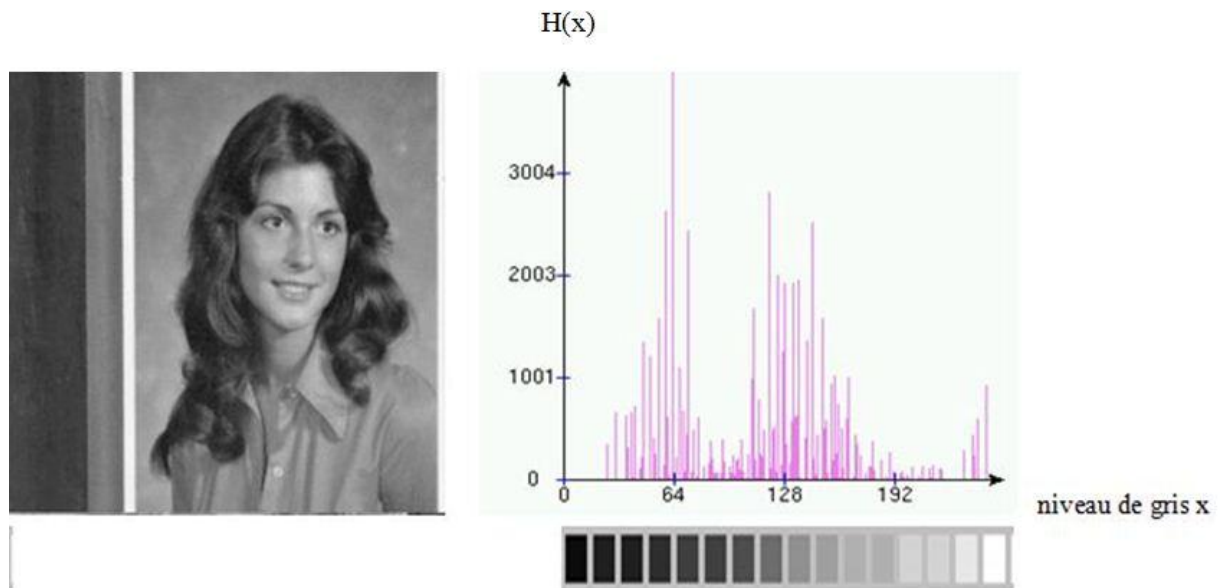


Fig. I.04 : Histogramme d'image.



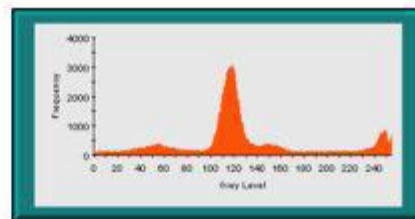
$H(x)$ est le nombre de pixels dont le niveau de gris est égal à x .

On peut distinguer trois types d'histogrammes :

I.2.11.1 - Histogramme unimodal : L'histogramme est unimodal si on distingue un seul mode.



Une image

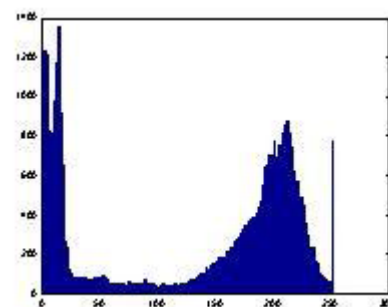


Histogramme unimodal d'image

I.2.11.2 -Histogramme bimodal : L'histogramme est bimodal lorsqu'il contient deux modes distincts.



Une image

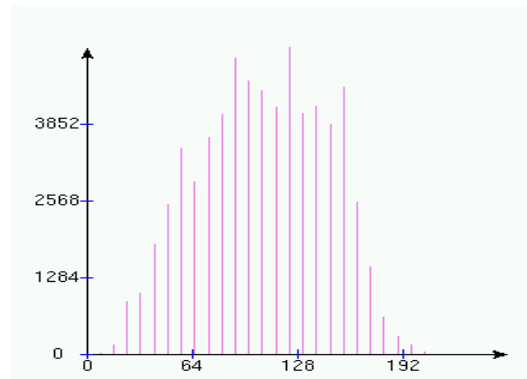


Histogramme bimodal d'image

I.2.11.3 - Histogramme multimodal : L'histogramme est dit multimodal s'il contient plusieurs modes.



Une image



Histogramme multimodal d'image

Pour les images en couleur plusieurs histogrammes sont nécessaires. Par exemple pour une image codée en RGB :

- un histogramme représentant la distribution de la luminance,
- trois histogrammes représentant respectivement la distribution des valeurs respectives des composantes rouges, bleues et vertes.

I.2.12. Contraste

C'est l'opposition marquée entre deux régions juxtaposées d'une image, plus précisément les régions sombres et les régions claires de cette image.

Il est défini en fonction des luminances L_i et L_{i+1} de deux zones de l'image par l'équation (I.1) :

$$C = \frac{(L_i - L_{i+1})}{(L_i + L_{i+1})} \quad (\text{I.1})$$

Une image bien contrastée présente une bonne dynamique de la distribution des valeurs de gris sur tout l'intervalle des valeurs possibles, avec des blancs bien clairs et des noirs profonds. Au contraire une image peu contrastée a une faible dynamique, la plupart des pixels ayant des valeurs de gris très proches.



image originale



image contrastée

I.3. Formats des images

A la différence d'une photographie ou d'un tableau, qui sont à la fois objet de la perception et mémoire de l'information. L'image numérique en tant qu'objet de perception n'existe pas, seule sa représentation est pertinente.

L'image numérique fixe (par opposition à la vidéo numérique ou l'animation en images de synthèse) se répartissent en deux catégories : image bitmap et image vectorielle. [3] [7]

I.3.1. L'image bitmap

L'image bitmap, dite aussi image matricielle, est en effet composée d'une matrice de points, les pixels. Ces points peuvent être en noir & blanc ou en couleur.

La caractéristique fondamentale d'une image bitmap est de représenter le plus exactement possible la réalité : elle vise au photoréalisme, elle est souvent produite par un périphérique de saisie (scanner, appareil photo numérique ou caméra). Elle sera le plus souvent (plus ou moins) retouchée.

I.3.2. L'image vectorielle

A l'inverse de l'image bitmap, une image vectorielle est le plus souvent créée sans rapport avec la réalité. Elle peut avoir pour objectif de représenter la réalité, mais elle ne vise pas au photoréalisme. Une image vectorielle n'est pas composée de points. Elle est formée de courbes, d'objets..., dotés ou non de contour et de surface.

Si l'image bitmap est une photo, l'image vectorielle est un dessin. Contrairement à l'image bitmap, l'image vectorielle n'a pas obligatoirement la forme d'un rectangle. Si on représente un cercle en mode vectoriel, le fichier aura la forme d'un cercle.

I.4. Étapes de l'analyse d'images

La plupart des applications de traitement d'image passent par les étapes suivantes : [8]

- **Acquisition** : Echantillonnage, Quantification.
- **Analyse globale de l'image et transformations ponctuelles** : Histogramme ; statistiques (moyenne, écart-type, etc.) ; transcodage (palette de couleur) et classification.
- **Opérations entre images** : Indices, ratio, différence, opérations logiques, masques et seuillage.
- **Amélioration, filtrage et segmentation** : Opérations de convolution (lissage, rehaussement, détection de contours) ; squelettisation ; vectorisation.
- **Interprétation et sémantique** : Cartographie thématique (classification automatique et supervisée) ; cartographie vecteur ; représentation des graphes et de la topologie.

I.5. Domaines d'applications du traitement d'images

Le traitement d'images possède l'aspect multidisciplinaire. On trouve ses applications dans des domaines très variés tels que les télécommunications (T.V., vidéo, publicité,...), la médecine (radiographie, ultrasons,...), la biologie, l'astronomie, la géologie, l'industrie (robotique, sécurité), la météorologie, l'architecture, l'imprimerie, l'armement (application militaire).

De nouvelles applications pratiques sont possibles aujourd'hui et touchent tous les domaines d'activités, tels que : métiers du spectacle, de la radio, créations artistiques, etc.

I.6. Outils de traitement d'images

La qualité d'une image peut être dégradée pour des raisons diverses. Les images brutes permettent rarement de parvenir à une extraction directe des objets à analyser :

- soit parce que l'éclairage de l'objet n'est pas uniforme,
- soit parce que le contraste n'est pas suffisant,
- soit encore parce que l'objet est perçu à travers un bruit assez important : les images contiennent donc un signal et du bruit (dont on veut éliminer la plus grande partie possible).

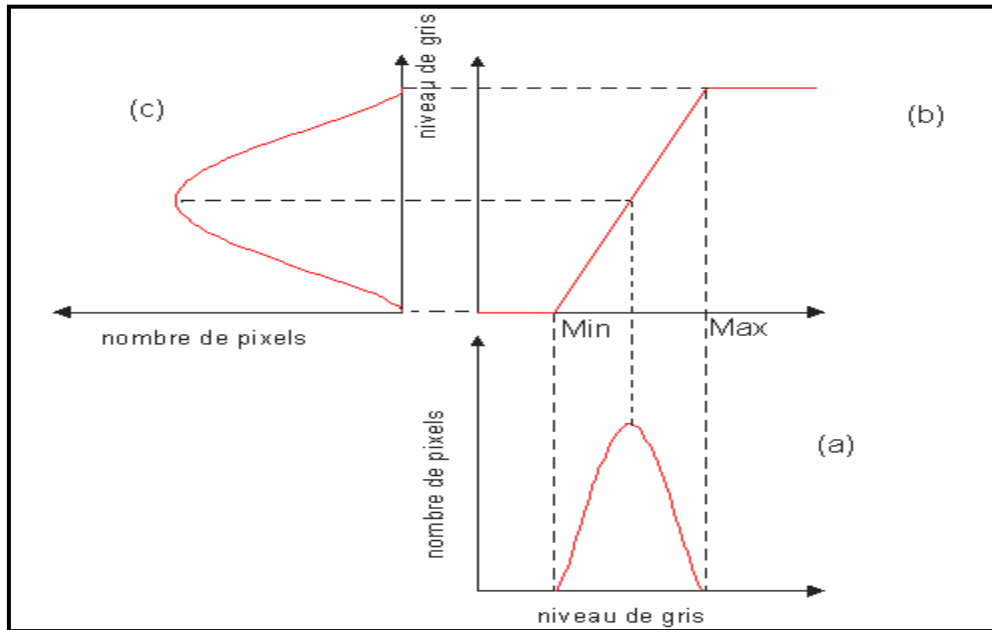
Avant d'extraire les objets et d'analyser une image, il est donc souvent nécessaire d'améliorer sa qualité en lui appliquant quelques traitements (par exemple : modification d'histogramme, binarisation, amélioration du contraste, élimination de bruits, etc.). Les traitements s'appliquent toujours aux images en niveau gris et parfois aussi sur des images couleurs.

Nous allons présenter dans ce qui suit quelques types de ces traitements.

I.6.1. Modification d'histogramme

L'histogramme est un outil très utile pour étudier la répartition des composantes d'une image mais il permet également de corriger le contraste et l'échelle des couleurs pour des images sur-exposées ou sous-exposées. En outre sa modification n'altère pas les informations contenues dans l'image mais les rend plus ou moins visibles.

De ce fait, afin d'améliorer l'image on est ramené à modifier son histogramme, qui a pour but de redistribuer les niveaux de gris de l'image afin de leur faire occuper toute la bande de nuance possible. (Fig. I.05).



a)- Histogramme de l'image originale.

b)- Fonction de transformation.

c)- Histogramme recadré.

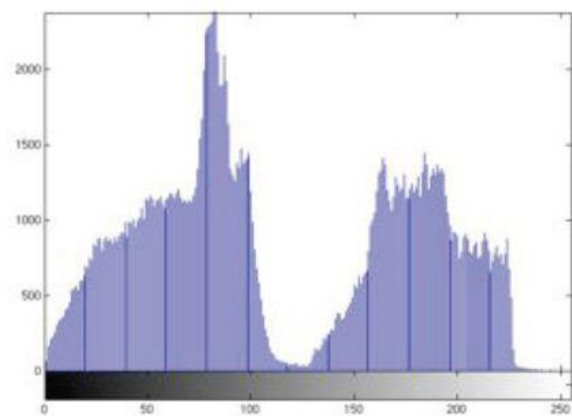
Fig. I.05 : Principe de la modification d'histogramme.

I.6.2. Egalisation d'histogramme

L'histogramme d'une image est rarement plat, La transformation d'égalisation est construite de telle façon que l'histogramme de l'image transformée soit le plus plat possible. Cette technique améliore le contraste et permet d'augmenter artificiellement la clarté d'une image grâce à une meilleure répartition des intensités relatives. Cette opération vise à augmenter les nuances dans l'image.



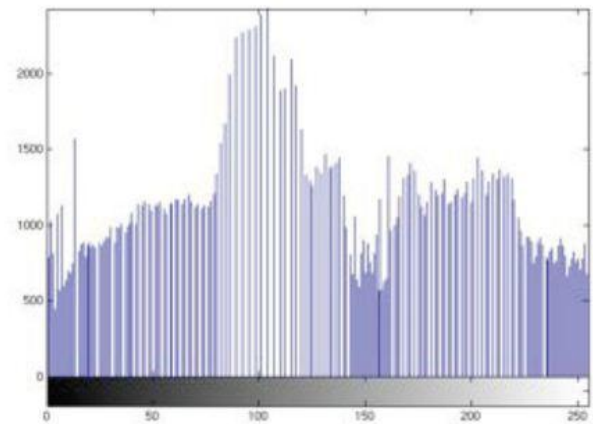
Original



Histogramme



Image égalisée



Histogramme égalisé

Fig. I.06 : Egalisation d'histogramme

I.6.3. Étirement d'histogramme

L'étirement d'histogramme (aussi appelé "**linéarisation d'histogramme**" ou "**expansion de la dynamique**") consiste à répartir les fréquences d'apparition des pixels sur la largeur de l'histogramme. Ainsi il s'agit d'une opération consistant à modifier l'histogramme de telle manière à répartir au mieux les intensités sur l'échelle des valeurs disponibles. Ceci revient à étendre l'histogramme afin que la valeur d'intensité la plus faible soit à zéro et que la plus haute soit à la valeur maximale.

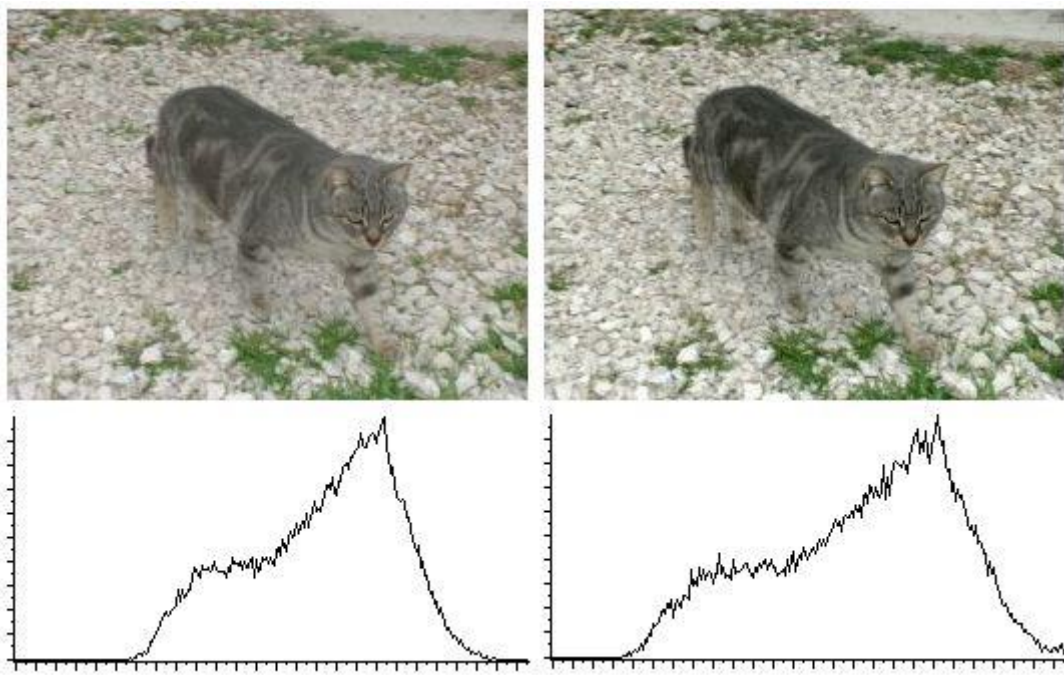


Fig. I.07 : Principe de L'étirement d'histogramme.

De cette façon, si les valeurs de l'histogramme sont très proches les unes des autres, l'étirement va permettre de fournir une meilleure répartition afin de rendre les pixels clairs encore plus clairs et les pixels foncés proches du noir.

I.6.4. Binarisation (par seuillage)

Binariser une image en niveaux de gris consiste à la transformer en une image biniveaux, c'est-à-dire attribuer à chaque pixel de l'image la valeur 0 « noir » ou 255 « blanc ». La dynamique de l'image est alors réduite à deux luminosités.

La mise en œuvre la plus simple est de fixer un seuil ajustable, identique pour toute l'image. Pour une échelle à 256 niveaux de gris, cette valeur est comprise entre 0 et 255, généralement dans la plage médiane, chaque pixel $P(i, j)$ de niveau de gris $L(i, j)$ est comparé au seuil choisi S_I et il sera soit noir soit blanc suivant les conditions suivantes :

$$P(i, j) \text{ devient noir si } L(i, j) > S_I$$

$$P(i, j) \text{ devient blanc si } L(i, j) \leq S_I$$

La difficulté réside dans le choix du seuil. Si le seuil est fait par le scanner un opérateur peut effectuer un réglage en fonction de l'aspect visuel du document et du résultat d'une première acquisition.

Pour le seuillage automatique d'une image à niveaux de gris, une méthode consiste à tracer un histogramme de ces niveaux de gris, et choisir le seuil au fond de la vallée qui sépare le pic correspondant au niveau de gris du fond et le premier pic suivant (Fig. I.8).[09]

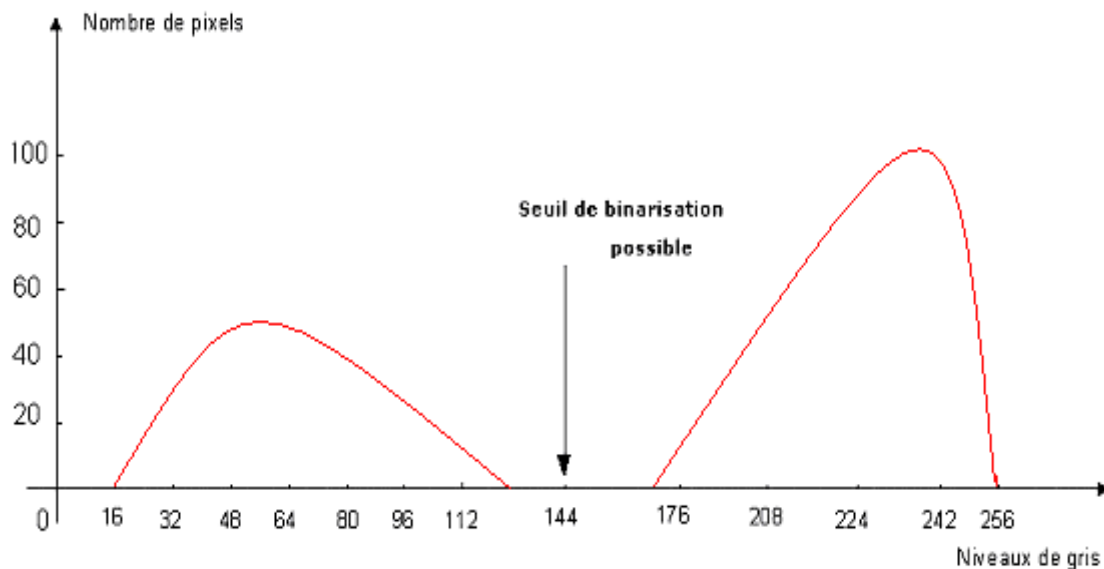


Fig. I.08 : Choix du seuil sur l'histogramme de l'image en niveaux de gris.

Exemple :

Lena 256 niveaux de gris (8 bits)



Lena 2 niveaux de gris (1 bit)

Fig. I.09 : Binarisation de l'image Lena**I.6.5. Amélioration du contraste**

Ce traitement ne s'applique qu'aux images en niveaux de gris.

On considère qu'une image est bien contrastée si les luminosités des pixels de l'image sont au mieux réparties sur l'axe [0 ; 255]. La façon la plus directe consiste à normaliser les luminosités des pixels à partir des maximum et minimum des luminosités dans l'image originale. [09]

Soit m la luminosité minimale et M la luminosité maximale dans l'image originale. Il s'agit d'effectuer une transformation affine de chaque luminosité pour ramener la dynamique de $[m ; M]$ à $[0 ; 255]$.

Nous pouvons citer le cas du rehaussement d'images :

I.6.6. Rehaussement d'images

Le but des procédures de rehaussement d'image est d'améliorer leur qualité visuelle, ou de les convertir à une forme qui facilite leur interprétation soit par l'homme ou par la machine. Puisque la qualité visuelle d'une image est une notion subjective, toutes ces méthodes et techniques sont interactives et permettent ainsi à l'analyste, par essai et erreur, de transformer les images et d'adapter leur contenu en fonction de ses propres critères de qualité visuelle.

Les opérations de rehaussement de contraste peuvent être décrites de la façon suivante:

$$f_s(i, j) = T_g f_e(i, j)$$

(I.2) Avec :

$f_s(i, j)$: Le niveau de gris d'un pixel de l'image de sortie.

$f_e(i, j)$: Le niveau de gris du même pixel de l'image d'entrée.

T_g : Fonction mathématique de transformation

Si la fonction mathématique agit seulement par modification de l'intervalle des niveaux de gris de l'image d'entrée, on parle d'un rehaussement par **étirement du contraste**.

Si la fonction de transformation est calculée de sorte que non seulement l'intervalle soit modifié mais aussi que l'histogramme des niveaux de gris de l'image de sortie prenne une forme particulière, on parle de rehaussement par **modification de l'histogramme**.

I.6.7. Le filtrage

L'objectif du filtrage est de réduire l'amplitude des variations d'intensité dans chaque région, sans toucher aux zones de transitions qui marquent les frontières entre régions.

Le principe est l'application d'une opération au niveau du pixel élémentaire en tenant compte de son environnement (pixels voisins). Cette opération consiste à déplacer un filtre (ou masque) qui est une matrice de dimension impaire ($3 \times 3, 5 \times 5, \dots$) sur l'image et de remplacer la valeur de chaque pixel central par le résultat de l'opération effectuée sur ses voisins.

Contrairement aux techniques visant à améliorer le contraste de l'image, qui sont des transformations ponctuelles sur tous les pixels, les filtrages sont des produits de convolution qui mettent en jeu l'environnement (voisinage) de chaque pixel.

Plusieurs types de filtres ont été définis, nous citons :

- *Les filtres linéaires.*
- *Les filtres non linéaires.*
- *Les filtres morphologiques.*

a. Les filtres linéaires

Les filtres de lissage sont des opérateurs qui éliminent des éléments perturbateurs non significatifs dans les images numériques, soit pour améliorer leur visualisation, soit pour les simplifier dans le but d'un traitement postérieur.

Un filtre linéaire est la convolution d'une image $I(x, y)$ avec une fonction $f(x, y)$ qui s'appelle réponse impulsionnelle du filtre.

Dans le cas continue, l'image filtrée est donnée par :

$$\begin{aligned} If(x, y) &= (f * I)(x, y) \\ &= \iint_{\mathbb{R}} f(x', y') \cdot I(x - x', y - y') dx' dy' \end{aligned} \quad (I.3)$$

Dans le cas discret, les domaines de I et de f sont bornés.

Le domaine de I est $\left[-\frac{N}{2}, +\frac{N}{2}\right]$, et le domaine de f est $\left[-\frac{K}{2}, +\frac{K}{2}\right]$

On a nécessairement $K \leq N$, N^2 étant la taille de l'image, K^2 est la taille de la fenêtre de traitement. Dans le cas discret la convolution s'écrit :

$$\begin{aligned} If(x,y) &= (f * I)(x,y) \\ &= \sum_{i=-\frac{K}{2}}^{+\frac{K}{2}} \sum_{j=-\frac{K}{2}}^{+\frac{K}{2}} f(i-i',j-j').I(i',j') \end{aligned} \quad (I.4)$$

Le filtrage linéaire consiste donc à remplacer chaque niveau de gris par une combinaison linéaire des niveaux de gris des points voisins, les coefficients de cette combinaison sont définis par réponse impulsionnelle du filtre.

Il existe une grande variété de filtres plus ou moins utilisés et il serait fastidieux de vouloir tous les décrire, notre choix sera porté sur les filtres linéaires les plus courants, parmi eux on définit :

➤ *Le filtre moyen*

a.1 Filtre moyen

Il consiste à considérer chaque point de l'image et d'en faire la moyenne avec les huit pixels qui lui sont voisins. Ceci va avoir pour effet d'adoucir l'image en réduisant les fluctuations des niveaux de gris.

Ce type de filtre utilisant la moyenne non pondérée des voisins peut être mis sous la forme d'un masque tel que celui-ci :

$$H_1 = \frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

On va alors déplacer ce masque sur toute l'image, le pixel affecté par la transformation étant le pixel central du masque. Le facteur $1/9$ est égal à la somme des coefficients du masque et sert à normaliser le filtre de manière à ce que celui-ci n'influe pas sur l'intensité globale de l'image.

Si nous posons I_B comme étant l'image de départ (image bruitée), I_f l'image résultat (image filtrée), toutes deux de taille $p \times p$, et H_1 le masque, nous avons alors pour chaque pixel de coordonnées x, y :

$$I_f(i,j) = \frac{1}{9} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 H_1(i+1,j+1).I_B(x+i,y+j) \quad (I.5)$$

D'autres filtres ont été réalisés en utilisant des coefficients de pondérations différents.

Par exemple :

$$H_2 = \frac{1}{10} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad H_3 = \frac{1}{16} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

b. Filtres non linéaires

Ce type de filtre s'oppose au précédent dans sa dénomination car il n'est pas le résultat d'une combinaison linéaire de pixels, les pixels voisins interviennent suivant une loi non linéaire.

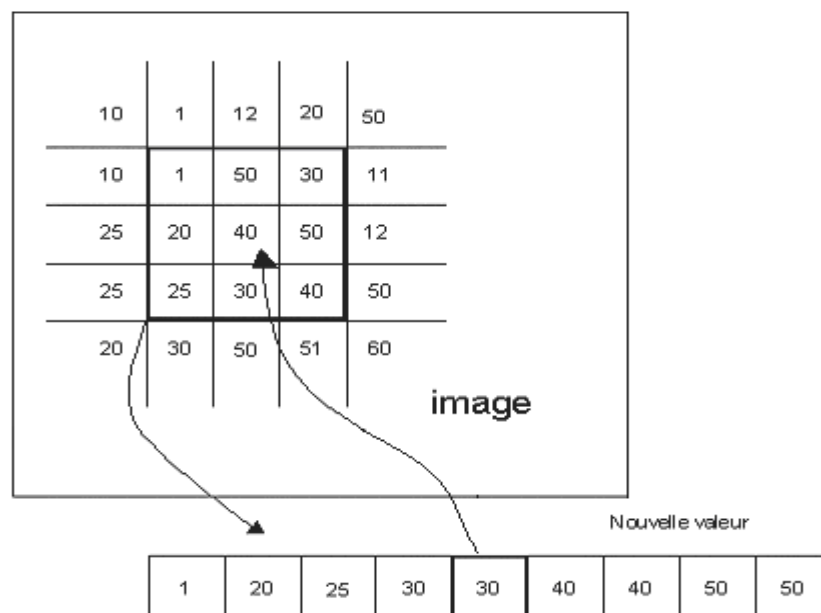
Le domaine du filtrage non linéaire est extrêmement vaste, l'exemple le plus classique de filtre non linéaire est le filtre médian de Tuckey.

b.1 Filtres médian

Son principe est celui de la figure (fig. I.10) et il peut être décomposé Pour chaque pixel de l'image selon les étapes suivantes :

-On classe les pixels voisins du pixel courant (compris dans la fenêtre) par valeurs croissantes.

-On prend la valeur médiane des pixels classés et on l'affecte au pixel courant.



Donc le point central qui est 40 sera remplacé par le point 30.

Fig. I.10 : Principe de fonctionnement du filtre médian.

b.2 Filtres morphologiques

Ce type de filtrage est réalisé par une combinaison de traitement linéaire et non linéaire et il est appliqué à des images binaires, chaque pixel de l'image peut être codé comme un élément logique donc à valeur *vraie* ou *fausse*, ainsi il est l'objet d'une transformation par une fonction logique plus ou moins complexe.

Parmi les opérateurs morphologiques (méthodes visant à améliorer les images binaires) nous citons : la dilatation, l'érosion, l'ouverture et la fermeture. [06]

• Dilatation

Elle permet d'éliminer les pixels blancs isolés. La dilatation élimine les tâches (les trous) blanches dans les zones noires mais ajoute des pixels noirs au contour des objets présents dans l'image. Donc la taille des objets dans l'image augmente.

• Erosion

Elle permet d'éliminer les pixels noirs isolés au milieu des parties blanches de l'image.

En appliquant une érosion, ces tâches noires peuvent être éliminées mais la taille des objets présents dans l'image diminue car l'érosion enlève des pixels du contour, entraînant une déformation de certains objets.

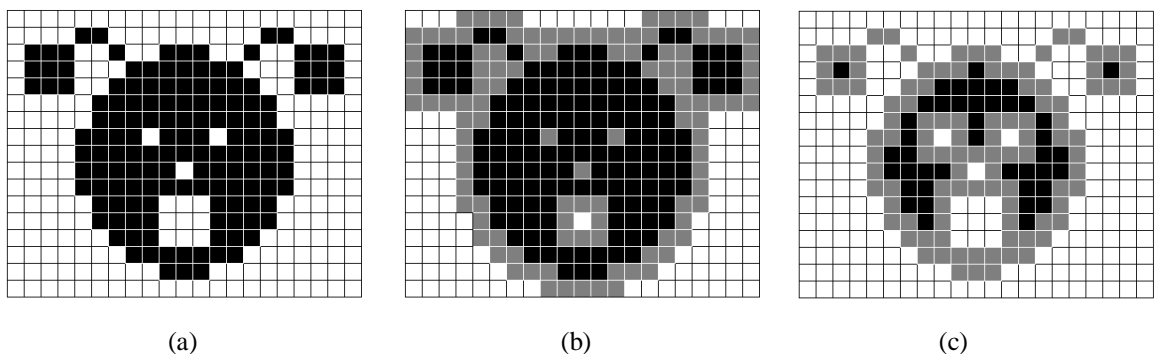


Fig. I.11 : Image source (a), Dilatation par un carré 3*3 (b), Erosion par un carré 3*3 (c)

• Ouverture

L'ouverture est constituée par une opération d'érosion suivie d'une dilatation. Elle permet de retrouver la taille normale des objets de l'image.

• Fermeture

La fermeture est l'opération inverse de l'ouverture, qui consiste à faire subir à l'image une dilatation suivie d'une érosion. Elle permet aussi de retrouver la taille normale des objets de l'image.

I.6.8. La convolution

La convolution est liée à la notion du filtrage et le traitement du signal, lorsque l'on utilise des filtres.

En traitement d'image la convolution est l'opérateur de base du traitement linéaire des images. C'est le remplacement de la valeur d'un pixel par une combinaison linéaire de ses voisins. Elle consiste à faire balayer une fenêtre (masque) sur l'ensemble des points de l'image.

Sa formule est définie par :

$$(f * g)(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x - u, y - v)g(u, v)dudv \quad (\text{I.6})$$

Dans le cas discret :

$$\sum \sum_{(u,v) \in W} g(u, v)f(x - u, y - v) \quad (\text{I.7})$$

g : masque de convolution

I.6.9. La segmentation d'image

a. Définition

La segmentation d'image est indissociablement attachée à l'histoire du traitement de l'image ; au milieu des années 80 on dénombrait déjà plus de 1500 références bibliographiques.

C'est une étape essentielle, préalable à l'interprétation, qui consiste à réaliser une partition de l'image en zones homogènes (par exemple : homogénéité de l'intensité lumineuse, de la texture, etc.) correspondant aux objets contenus dans cette image.

Formellement elle est définie comme suit :

La segmentation est un traitement de bas niveau qui consiste à créer une partition de l'image I en Sous-ensembles R_i , appelés régions, telles que :

$$\begin{cases} \forall i \quad R_i \neq \emptyset. \\ \forall i, j ; i \neq j \quad R_i \cap R_j = \emptyset. \end{cases}$$

Une région est un ensemble connexe de points de forme quelconque ayant des propriétés communes (intensité par exemple).

Dans Le cas où l'image est séparée en deux régions (classes), nous parlons de binarisation. Il s'agit dans la plus part des cas d'extraire une région d'intérêt d'une région de fon.

b. Les approches de la segmentation

- La segmentation par seuillage : Le seuillage est l'une des plus importantes techniques de segmentation. Il repose sur l'exploitation de l'histogramme de l'image qui caractérise la distribution des niveaux de gris. Par exemple, une image représentant des objets foncés sur un fond clair présentera un histogramme avec deux modes bien distincts. Ces seuils peuvent être les mêmes pour toute l'image (seuils globaux), dans ce cas ils sont déterminés à partir de l'histogramme de l'image complète.
- La segmentation par extraction de contours : Cette méthode utilise une approche de frontière. Dans cette approche on s'intéresse aux variations des niveaux de gris des pixels. Elle est basée sur la discontinuité des pixels.
- La segmentation en régions homogènes : Les approches régions divisent l'image en régions distinctes en cherchant non plus la discontinuité des pixels pour définir des bords dans l'image, mais la similarité des niveaux de gris en fonction d'un ou de plusieurs attributs : on s'axe donc sur les régions.

I.7.La texture

I.7.1. Définition de la texture

Il n'existe pas de définition précise de la texture, mais la définition littéraire, dit que la texture est l'agencement spatiale d'un même motif dans différentes directions de l'espace. Cette définition est limitative car elle ne tient pas compte des informations visuelles, qui permettent de décrire la texture qualitativement à l'aide d'adjectifs tels que contrastée, grossière, fine, lisse, tachetée, granuleuse, marbrée, régulière ou irrégulière.

La complexité de cette notion de texture s'impose aussi dans la classification de l'ensemble des textures. Plusieurs catégories existent, dont ces trois grandes catégories [10] :

- ❖ *Textures structurelles.*
- ❖ *Textures aléatoires.*
- ❖ *Textures directionnelles.*

I.7.2. Classification des textures

1. Textures structurées

On les appelle ainsi car on peut les considérer comme étant la répartition spatiale de motifs élémentaires de base dans différentes directions de l'espace suivant une certaine règle de placement. En effet, voila ces deux figures qui illustrent ce type de textures. (Fig. I.12)

La première représente un mur de brique, dont la texture est composée d'un ensemble d'éléments de base (les briques) disposés relativement régulièrement de manière horizontale. La deuxième texture est aussi composée de motif de base alvéolé agencée d'une manière particulière les uns à coté des autres.

Cette catégorie de textures engendre des méthodes d'analyse dites *structurelles*.

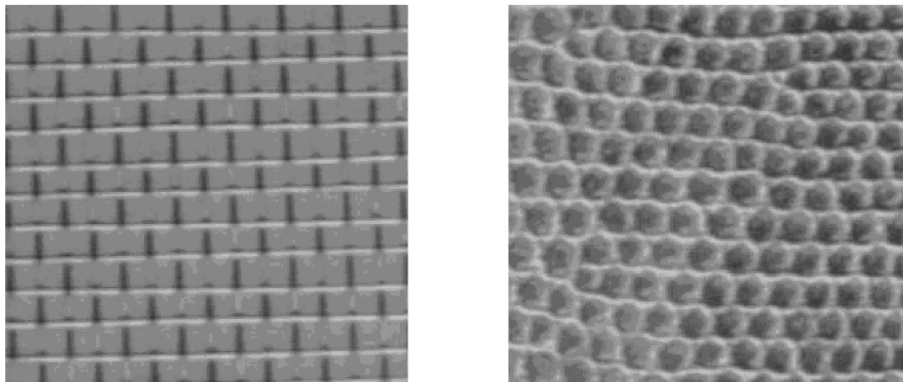


Fig. I.12 : textures structurées.

2. Textures aléatoires

Ce type de texture a un aspect anarchique tout en restant globalement homogènes. On ne peut pas en extraire de motif de base se répétant spatialement. Cette catégorie a fourni d'autres travaux de recherche plutôt fondés sur des méthodes d'analyse statistique. Dans ces cas-là l'image texturée est considérée comme étant un processus aléatoire bidimensionnel.

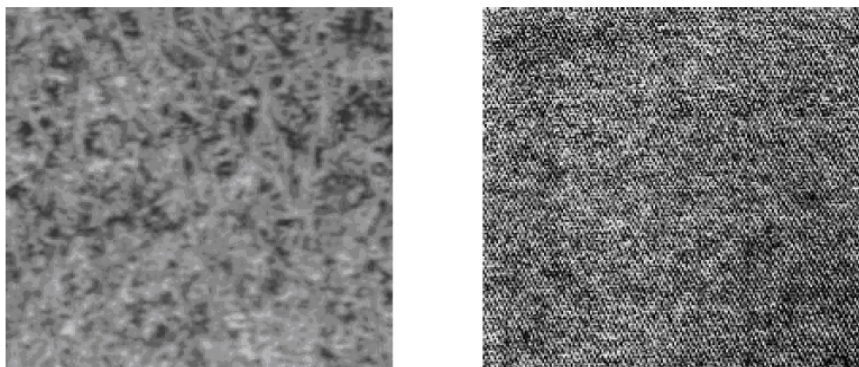


Fig. I.13 : textures aléatoires

3. Textures directionnelles

Ces textures ne sont pas totalement aléatoires et ne présentent pas d'éléments structurants de base. Néanmoins, elles se caractérisent par certaines orientations. La figure (Fig. I.14) illustre cette texture, telle que la texture de gauche laisse apparaître des lignes obliques, tandis que celle droite possède des lignes verticales.

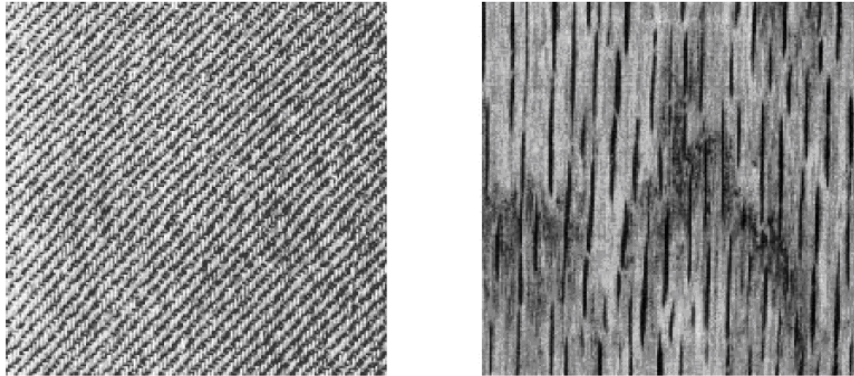


Fig. I.14 : textures directionnelles

Ces différentes catégories de textures nous montrent vraiment qu'il est difficile d'en donner une définition précise à la texture. Les définitions semblent s'adapter aux différents types de textures : l'une donne une information structurale, déterministe et constructive (identification de la texture par ses éléments de base. et leur agencement), l'autre (type aléatoire) donne une information plus anarchique et beaucoup moins facile à décrire visuellement.

I.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions fondamentales ainsi que quelques techniques de traitement d'images, afin de préparer cette dernière à l'analyse. Nous avons présenté quelques traitements qui permettent une amélioration de l'image en vue d'éliminer toutes les imperfections qui existent sur cette dernière, dans le but de parvenir à une analyse plus fine. Dans le chapitre suivant nous allons présenter un domaine où le traitement d'image s'applique, qui est le traitement d'image biométrique, est nous nous intéresserons en particulier aux images d'empreinte digitale.

II.1. La biométrie

II.1.1. Qu'est ce que la biométrie ?

Depuis quelque décennie l'exploitation de l'informatique et des réseaux de communication a fait augmenter de manière significative le besoin d'identification des personnes. Jusque à présent les méthodes usuelles d'identification sont basées sur ce que l'on possède (carte d'identité, carte a pouce, badge magnétique) ou sur ce que l'on sait (mot de passe, code PIN) mais ces méthodes posent de gros problèmes de fiabilité (falsification de document, oubli de son code, décryptage du mot de passe via des logiciels spécifiques). L'augmentation rapide de l'utilisation des mots de passe et des codes PIN, due à la révolution des technologies de l'information, amène à devoir limiter l'accès aux données confidentielles et personnelles, une identification fiable des personnes est devenue un problème majeur pour des raisons de sécurité (contrôle aux frontières, accès aux lieux publics, transport). Tous ces problèmes ont ainsi provoqué un développement accru des techniques biométrique d'identification.

Un système biométrique est essentiellement un système de reconnaissance de formes qui fonctionne en acquérant des données biométriques à partir d'un individuel, extrayant un ensemble de caractéristiques à partir des données acquises, et comparant ces caractéristiques contre la signature dans la base de données. Selon le contexte d'application, un système biométrique peut fonctionner en mode de vérification ou mode d'identification.

La vérification, également appelée authentification, consiste à confirmer ou infirmer l'identité d'une personne (suis-je celui que je prétends être ?). Il s'agit d'une comparaison du type " un contre un " ; les caractéristiques de l'individu sont comparées à celles présentes dans un enregistrement de référence. Quant à l'identification elle permet d'établir l'identité d'une personne (qui suis-je ?) à partir d'une base de données, il s'agit d'une comparaison du type " un contre plusieurs ".

L'application qui vient immédiatement à l'esprit est l'utilisation des empreintes digitales comme outil puissant d'identification/vérification aux scènes de crime dans le secteur juridique.

Différents types de systèmes biométriques sont utilisés pour la reconnaissance en temps réel ; les plus populaires sont basés sur la reconnaissance faciale et de l'empreinte digitale. Cependant, d'autres systèmes biométriques utilisent l'iris et la rétine, la voix, le visage, et la géométrie de la main.

II.1.2. Identification et authentification par biométrie

Parmi les différentes techniques biométriques existantes on distingue trois catégories :

- l'analyse morphologique : les empreintes digitales, l'iris de l'œil, la forme de la main, les traits du visage, le réseau veineux de la rétine

- l'analyse comportementale : la reconnaissance vocale, la dynamique de la frappe sur un clavier, la dynamique de la signature, la manière de marcher...

- l'analyse des traces biologiques : l'ADN, le sang, la salive, l'urine, l'odeur, la thermographie....

Nous allons passer en revue les différentes techniques biométriques qui existent, afin d'avoir une vue plus globale de ces nouvelles solutions d'identification et d'authentification.

II.1.2.1. Analyse morphologique

• Identification par l'empreinte digitale

Parmi les nombreuses méthodes d'identification biométrique l'utilisation des empreintes digitales est la méthode la plus aboutie avec 50% de parts de marché, cette technologie est utilisée depuis plus d'un siècle et de très nombreuses recherches ces dernières décennies ont permis d'obtenir de très bons taux de reconnaissance. Nous y reviendrons plus en détail dans la section suivante. Néanmoins d'autres méthodes commencent à trouver leur place sur le marché de la biométrie.

• Identification par la morphologie de la main, ou «empreinte palmaire»

Jusqu'à 90 caractéristiques de la main sont mesurées (formes de la main et des articulations, longueur et largeur des doigts, longueurs inter articulations...). Le taux d'erreurs dans la reconnaissance est assez élevé, en particulier pour des personnes appartenant à une même famille en raison d'une forte ressemblance. De plus la forme de la main évolue beaucoup avec l'âge.

• Identification par l'iris

Cette technique peut être exploitable très tôt dans la vie d'une personne car la structure de l'iris est définitive dès la 8^{ème} semaine de maternité ! Elle est très fiable du fait qu'il est possible de définir plus de 240 points caractéristiques. La fraude étant néanmoins possible en utilisant des lentilles.



Fig. II.01 : L'iris de l'œil humaine

Certains systèmes d'identification montrent que l'iris change bien de taille avec l'intensité de la lumière, ce qui risque de perturber la phase d'acquisition.

- **Identification par la rétine**

Les schémas des vaisseaux sanguins de la rétine sont uniques pour chaque individu. Jusqu'à 400 points caractéristiques permettent de les différencier. La contrainte majeure de ce procédé est la proximité de l'œil par rapport au capteur (collaboration étroite de la part du sujet).

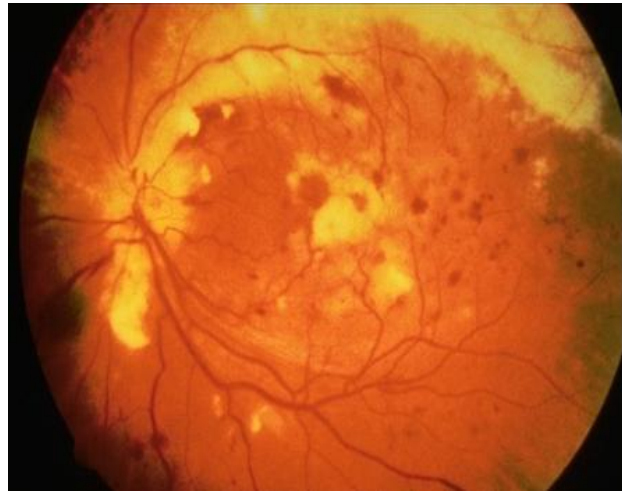


Fig. II.02 : La rétine de l'œil humaine

- **Reconnaissance faciale**

Elle se base sur une photographie du visage décomposée en plusieurs images faites de nuances de gris, chacune mettant en évidence une caractéristique particulière non sujette à modification (haut des joues, coins de la bouche, distance entre différents points, formes...). Le problème de cette méthode vient des possibles perturbations pouvant transformer le visage (maquillage, faible luminosité, présence d'une barbe ou de lunettes, expression faciale inhabituelle, changement avec l'âge...)

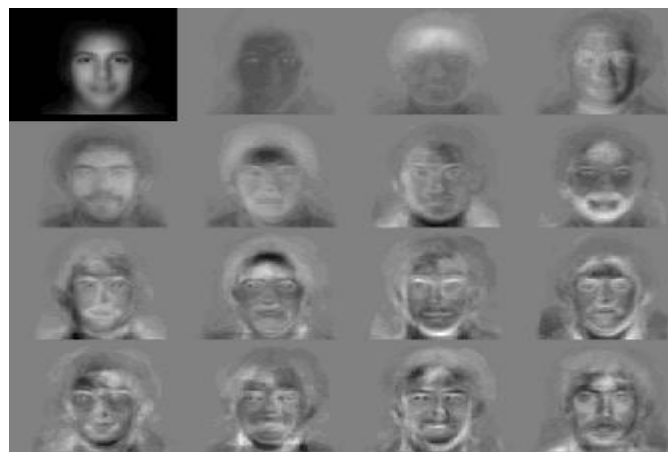


Fig. II.03 : photographie du visage décomposée en plusieurs images

- **Identification par thermographie**

Une caméra infrarouge établit une cartographie des températures des différentes régions du visage, une caractéristique biologique qui est propre à chaque individu. On peut même aller plus loin, en établissant une cartographie du système veineux.



Fig. II.04 : Cartographie des températures des différentes régions du visage

II.1.2.2. Analyse comportementale

Par opposition à la biométrie basée sur des caractéristiques physiques, l'analyse comportementale est dynamique, et elle est plus difficile à reproduire. On peut citer :

- **Authentification par la dynamique du tracé de la signature**

Elle est basée sur l'analyse et le calcul de la dynamique d'une signature. Ce système est basé sur des critères précis comme la pression, l'accélération, la souplesse, les courbes. La falsification est possible en passant par une phase d'apprentissage, la signature peut varier selon le stress de l'utilisateur.

- **Identification par la voix**

Elle est basée essentiellement sur la tonalité, la fréquence vocale et la distance entre la formation des lettres, et dépend grandement de la qualité d'enregistrement et de la méthode utilisée : on distingue les systèmes à texte prédéterminé où l'utilisateur doit répéter un texte qu'il ne choisit pas, et les systèmes où la personne peut parler librement. De plus, on doit tenir compte de la variabilité de la voix du locuteur dans le temps comme dans le cas de maladie (rhume,...), et des états émotionnels. Cette technique peut être utilisée sans obtenir le consentement de la personne identifiée.

• Identification par la dynamique de frappe sur un clavier

Un système basé sur la dynamique de frappe sur un clavier ne nécessite aucun équipement particulier, chaque ordinateur disposant d'un clavier. Il s'agit d'un dispositif logiciel qui calcule le temps où un doigt effectue une pression sur une touche et le temps où un doigt est dans les airs (entre les frappes). Cette mesure est capturée environ mille fois par seconde. La séquence de frappe est prédéterminée sous la forme d'un mot de passe. Initialement l'utilisateur doit composer son mot de passe à quelque reprise afin que soit constitué un gabarit de référence.

II.1.2.3 : Analyse de traces biologiques

Ces procédés se basent sur des prélèvements (salive, urine, sang, ADN, odeur).

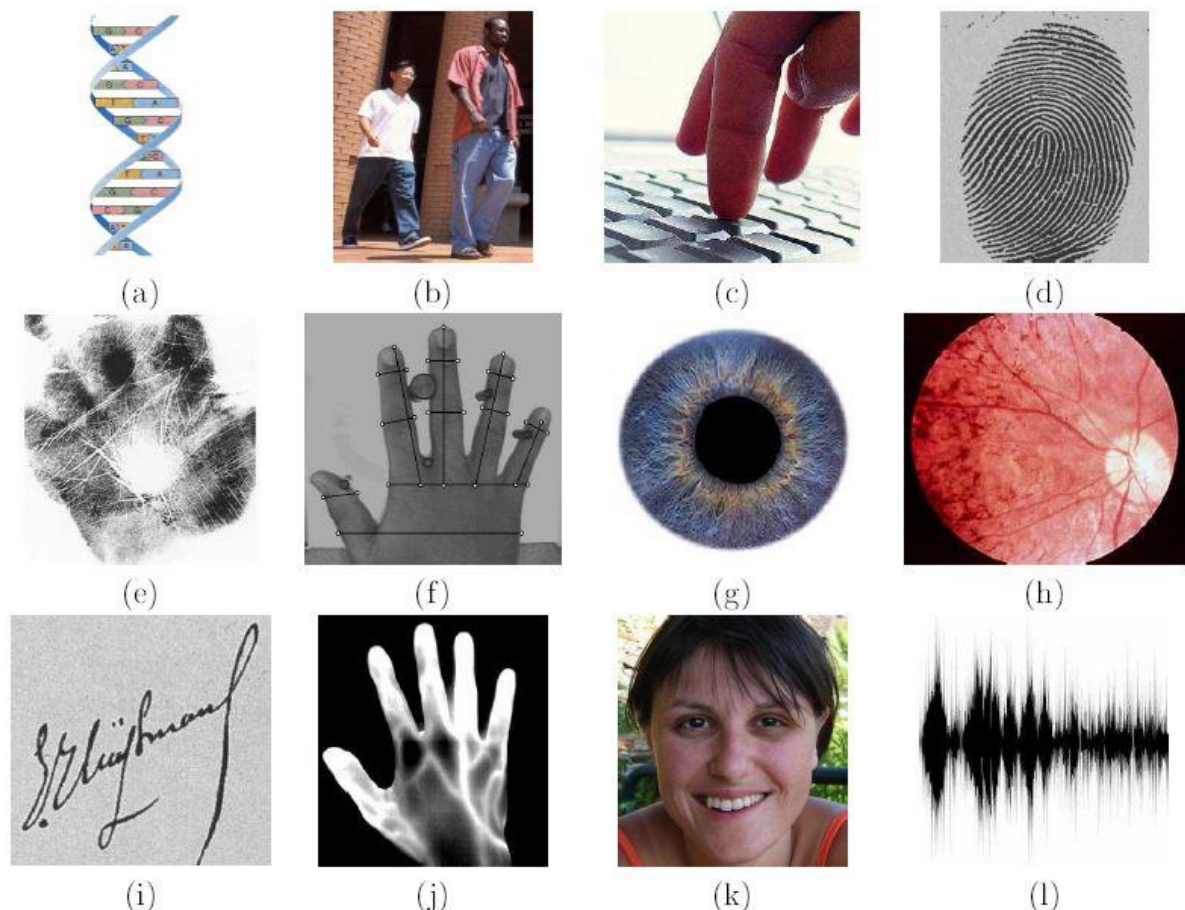


Fig. II.05 : Les principales caractéristiques biométriques : (a) ADN, (b) Démarche, (c) Dynamique de la frappe au clavier, (d) Empreinte digitale, (e) Empreinte palmaire, (f) Géométrie de la main, (g) Iris, (h) Rétine, (i) Signature, (j) Thermographie de la main, (K) visage, et (l) voix.

Certaines de ces technique sont très prometteuses (iris) et commencent à émerger, d'autre sont encore au stade expérimental (analyse comportementale). Mais l'utilisation des empreintes digitales reste la méthode la plus aboutie actuellement.

II.1.3. Les empreintes digitales

II .1.3.1. Historique

Les premières traces d'utilisation d'empreintes digitales ont été découvertes en Egypte et datent de l'époque des pyramides il y a plus de 4000 ans. Les Chinois ont aussi utilisé très tôt ce moyen pour signer les documents officiels (le plus vieux document signé date du troisième siècle avant Jésus Christ) mais ils ne savaient sûrement pas que les empreintes étaient uniques pour chaque personne et permettaient ainsi une identification fiable. C'est en 1856 que l'anglais William Herschel, après avoir utilisé les empreintes en guise de signature sur la population indienne qu'il dirigeait, commença à comprendre que les empreintes étaient uniques et constantes dans le temps. En 1888 le britannique Francis Galton publia une étude sur les empreintes digitales où il établit leurs caractéristiques (unicité, invariance, minuties, classification...) et en 1901 la technique d'identification au moyen des empreintes fut adoptée officiellement en Angleterre dans le système judiciaire. Cette technique fut ensuite largement développée dans les enquêtes criminelles et permit de résoudre un bon nombre d'affaires [11]. Le premier fichier d'empreintes est mis en place en Argentine en 1891. De nos jours les empreintes sont toujours largement utilisées et reconnues comme méthode d'identification fiable.

II .1.3.2. Caractéristiques des empreintes digitales

Une empreinte digitale est constituée d'un ensemble de lignes localement parallèles forment un motif unique pour chaque individu (Fig. II.06), on distingue les crêtes (ou les stries, ce sont les lignes en contact avec une surface au toucher) et les vallées (ce sont les creux entre deux crêtes). Les crêtes contiennent en leur centre un ensemble de pores régulièrement espacés.

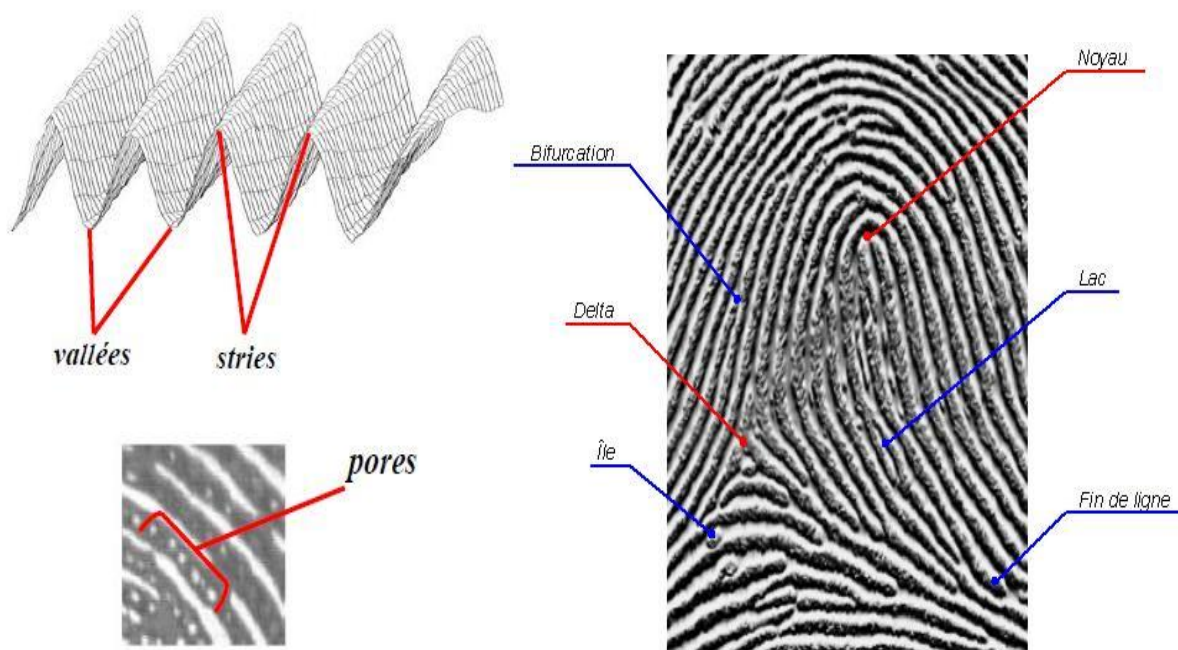
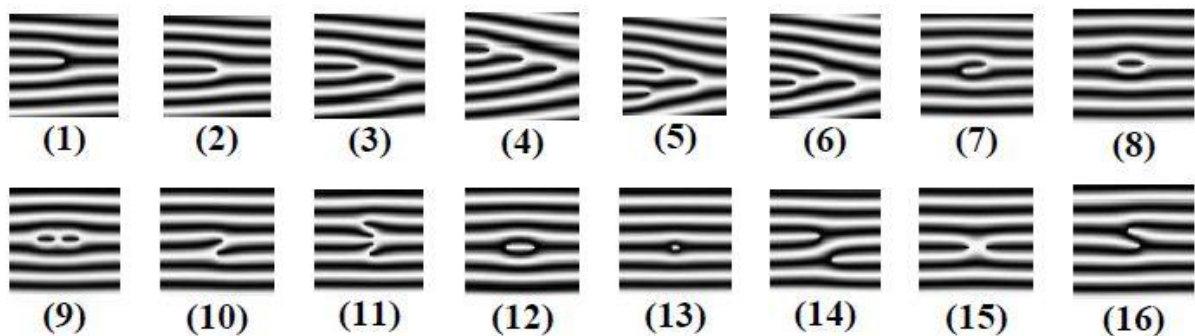


Fig. II.06 : Caractéristiques d'une empreinte digitale.

Chaque empreinte possède un ensemble de points singuliers globaux (les centres ou noyaux et les deltas) et locaux (les minuties). Les centres correspondent à des lieux de convergences des crêtes tandis que les deltas correspondent à des lieux de divergence. Les minuties peuvent prendre seize configurations différentes comme le montre la figure II.07. Mais en général les algorithmes ne s'intéressent qu'aux **bifurcations** et **terminaisons** qui permettent d'obtenir les autres types par combinaison.



1.	terminaison	9.	boucle double
2.	bifurcation simple	10.	pont simple
3.	bifurcation double	11.	pont jumeau
4.	bifurcation triple I	12.	intervalle
5.	bifurcation triple II	13.	point isolé
6.	bifurcation triple III	14.	traversée
7.	crochet	15.	croisement
8.	boucle simple	16.	tête bêche

Fig. II.07 : Les différents types de minutie (crêtes en noir).

Parmi les types des minuties rapportés dans la figure (Fig. II.7), deux types sont les plus utilisés pour extraire une signature mathématique extrêmement fiable pour l'identification, ce sont les fins de crêtes, (fin d'une ride), et la bifurcation, le point sur la ride où deux branches dérivent.

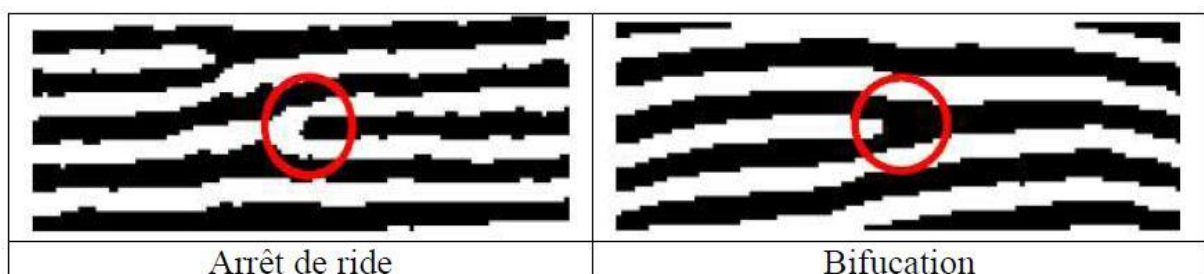


Fig. II.08 : Deux types de minuties les plus utilisés

La position et le nombre de centres et des deltas permettent de classifier les empreintes en catégorie selon leur motif général. On distingue principalement trois grandes familles (voir Figure II.09). Ces trois types d'empreintes regroupent 95% des doigts humains, il existe aussi des dessins beaucoup plus rares comme les doubles boucles :

- Les boucles (loop) représentent 60% des empreintes rencontrées.
- Les spires (whorl) représentent 30% des empreintes rencontrées.
- Les arches (arch) représentent 5% des empreintes rencontrées.

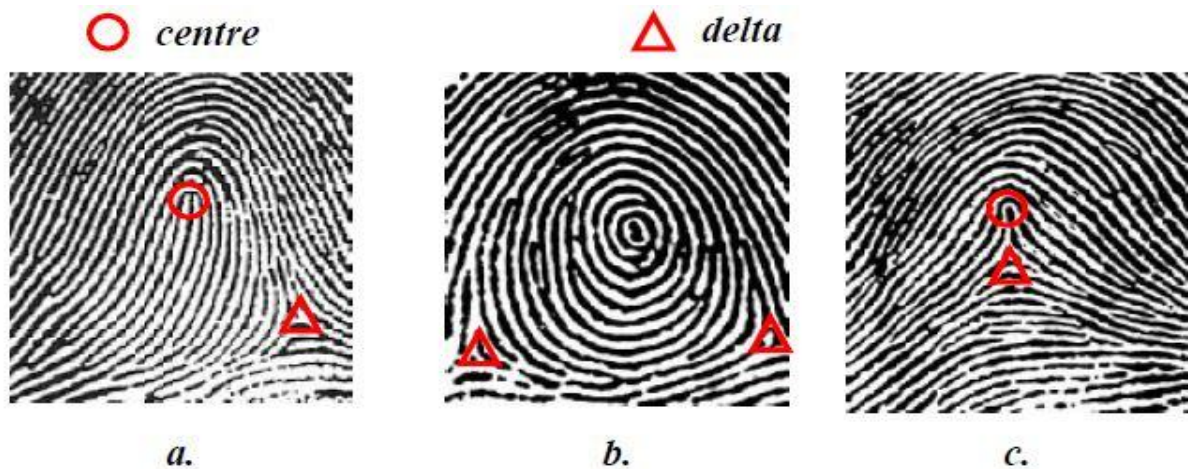


Fig. II.09 : Les classes d'empreintes : boucle (a), spire (b), arche (c)

Ces trois formes d'empreintes digitales peuvent être déclinées en sous-parties : Boucle à droite, boucle à gauche, double tourbillon (boucle).

L'ensemble formé par la disposition des points singuliers constitue un motif unique pour chaque individu, en effet l'empreinte digitale se forme aux alentours de la treizième semaine de grossesse, le motif général est influencé par les gènes héréditaires, la vitesse de croissance des doigts, l'alimentation du fœtus ou encore la pression sanguine, qui dépend de la taille du cordon ombilical, mais l'apparition des détails (minuties) est créée de manière accidentelle par des pressions variables aléatoire sur les surfaces tactiles. C'est ce processus qui rend chaque empreinte unique. Même de vrais jumeaux n'ont pas les même empreintes, car le diamètre du cordon ombilical n'est jamais le même pour les deux enfants [12]. De plus les empreintes une fois formées ne changent plus au cours de la vie d'une personne, ces deux caractéristiques en font un moyen de reconnaissance très efficace.

II.2. Architectures d'un système complet de reconnaissance d'empreintes

II.2.1. Principe général

Pour illustrer un principe d'identification, nous allons analyser les différentes étapes de la reconnaissance d'empreinte. Un système automatique complet de reconnaissance d'empreintes digitales est une chaîne de processus qui à partir du doigt d'un utilisateur en

entrée renvoie un résultat en sortie, permettant ainsi à l'utilisateur d'accéder ou non à des éléments nécessitant une protection. La réalisation d'un tel système a fait l'objet de très nombreuses recherches et des méthodes très différentes de traitements ont été proposées. Néanmoins ces systèmes répondent toujours à la même structure (Fig. II.10).

La première phase permet d'obtenir une image de l'empreinte de l'utilisateur c'est l'acquisition, qui doit être suffisamment précise pour pouvoir collecter le plus de détails possibles, laquelle va subir un prétraitement pour extraire l'information utile de l'image (signature) suivi éventuellement d'un traitement supplémentaire permettant d'éliminer de possible fausses informations qui se seraient glissées entre temps dans la chaîne de traitement. Ensuite si l'utilisation du système consiste juste à créer une base de données (stockage) la signature est éventuellement compressée dans la base de données au moyen d'une technique d'archivage (classification).

Pour un système d'identification l'ensemble des empreintes présentes dans la base de données pouvant correspondre à celle de l'utilisateur (modèle identique) sont désarchivées et comparées (appariement) une à une avec celle de l'utilisateur, si une éventuelle correspondance est trouvée des informations personnelles concernant l'utilisateur sont renvoyées par le système. Dans le cas d'un système de vérification il n'y a qu'une seule comparaison et un résultat binaire est renvoyé, permettant l'acceptation ou le rejet de l'utilisateur.

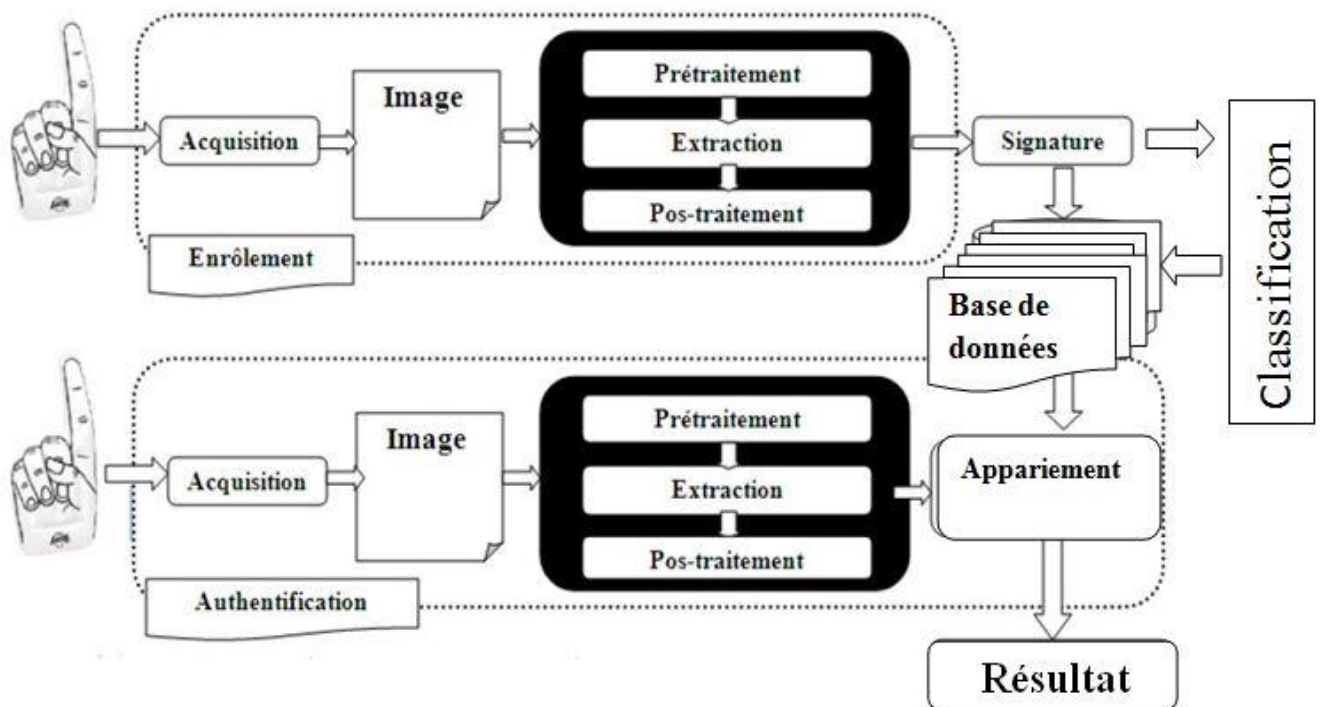


Fig. II.10 : Architecture générale d'un système complet de reconnaissance d'empreintes.

II.2.2. L'acquisition de l'empreinte

La première phase d'un système de reconnaissance consiste à obtenir une image de l'empreinte du doigt. Longtemps le seul moyen existant a été l'utilisation du papier et l'encre ce qui a rendu la tâche de reconnaissance très lourde. En effet la qualité de l'image était plutôt mauvaise (plusieurs acquisition étaient nécessaires) et l'extraction de la signature était effectuée visuellement par un expert (processus très long et pénible). Heureusement avec le développement de l'informatique et de la microélectronique de nouveaux moyens d'acquisition ont fait leur apparition, permettant ainsi d'accélérer la chaîne de traitement en l'automatisant. Aujourd'hui, bon nombre de capteurs d'empreinte existe sur le marché. Ils se distinguent, notamment par :

- leur technologie.
- leur coût.
- leur qualité d'acquisition.
- leur facilité d'intégration (téléphone, ordinateur portable, etc.)
- leur capacité à détourner les moulages d'empreintes.

Nous y reviendrons plus en détail dans la section suivante, pour donner un aperçu des capteurs d'empreintes existants.

II.2.3. La phase d'enrôlement (inscription)

Au cours de l'enrôlement, la caractéristique biométrique est tout d'abord mesurée grâce au dispositif d'acquisition. Cette capture n'est pas directement stockée, des transformations lui sont appliquées. En effet, le signal contient de l'information inutile à la reconnaissance et seuls les paramètres pertinents sont extraits. Le modèle (gabarit, signature), ainsi extrait, est une représentation discriminative compacte du signal qui permet de faciliter la phase de reconnaissance, mais aussi de diminuer la quantité de données à stocker. Le modèle peut être stocké dans une base de données comme représenté sur la figure. II.10

Lors de l'acquisition de l'empreinte, l'image obtenue contient souvent beaucoup de parasites ayant des origines divers :

- Les substances parasites sur le doigt (encre, graisse, saletés).
- L'état de l'épiderme (cicatrices, métiers manuels, âge).
- L'environnement où se produit l'acquisition (température de l'air, degré d'humidité).
- Les caractéristiques spécifiques ou moyen d'acquisition utilisé.

Pour permettre une reconnaissance fiable, un prétraitement est alors nécessaire pour extraire l'information utile de l'image suivi éventuellement d'un post-traitement supplémentaire permettant d'éliminer de possibles fausses informations qui se seraient glissées entre temps dans la chaîne de traitement.

II.2.4. Le stockage et la phase d'appariement

Pour les systèmes disposant de grosses bases de données, l'identification peut poser problème en temps de calcul si la signature d'entrée doit être comparée avec toutes les signatures présentes dans la base de données. C'est pourquoi un processus de *classification* et de *déclassification* est nécessaire pour limiter les temps de recherche.

On classe les empreintes selon un système vieux d'une décennie : le système *Henry*. Dans ce système, le classement repose sur la topographie générale de l'empreinte et permet de définir des familles telles que les boucles (à gauche ou à droite), les arches et les spires. Lors de l'identification on désarchive l'ensemble des signatures de la base correspondant au groupe de l'empreinte nécessitant l'identification. Puis chacun des images désarchivées est comparée avec celle de l'utilisateur. Ceci permet de réduire sensiblement les temps de recherche en limitant le nombre d'image à comparer, à condition que les différentes catégories soient judicieusement choisies.

La phase d'appariement est l'étape critique du système. Elle reçoit en entrée deux signatures issues de deux acquisitions différentes d'empreinte et renvoie en sortie un résultat binaire indiquant si oui ou non les deux signatures proviennent de la même empreinte. Bien entendu deux empreintes provenant de la même personne ne donneront jamais 100 % de ressemblance en raison entre autre de l'élasticité de la peau, de la présence de poussière ou, de l'orientation du doigt lors de l'acquisition, ils donneront cependant toujours un niveau élevé de similitude. La phase d'appariement va donc calculer le degré de similarité (taux d'appariement) entre les deux signatures, pour décider d'accepter la similitude entre deux "gabarit" d'empreinte, il faut établir un seuil d'acceptation.

II.3. Les capteurs d'empreintes digitales

II.3.1. Introduction

Obtenir des images numériques d'empreintes digitales n'est pas une chose simple, car la surface à capturer est de faible dimension par rapport au contenu des informations. De plus, certaines ethnies ont de très fines empreintes digitales par rapport à d'autres populations (la population asiatique par exemple), de même que pour les enfants. Il est donc important de faire le bon choix de capteur par rapport à la population d'utilisateurs. La capture de l'image d'une empreinte digitale consiste à trouver les lignes tracées par les crêtes (en contact avec le capteur) et les vallées (creux). Le point commun à toutes les technologies utilisées pour la prise d'image d'une empreinte, est que l'image est constituée à partir des points de contact du doigt sur le capteur.

II.3.2. Les capteurs d'empreintes digitales macroscopiques

On rencontre principalement deux types de capteurs d'empreintes digitales macroscopiques qui sont soit de type optique, soit de type ultrasonique. Quel que soit leur mode de fonctionnement, ces systèmes procèdent tous à l'acquisition de l'image de l'empreinte sans que l'utilisateur ait besoin d'opérer avec son doigt un mouvement de translation à la surface du capteur.

II.3.2.1. Capteurs d'empreintes digitales optiques

Le capteur optique est l'appareil le plus répandu. Celui-ci est utilisé dans les aéroports, les banques, mais aussi dans la police. Malgré le fait que cette technologie soit ancienne, elle reste néanmoins très répandue.

La majorité des capteurs d'empreintes digitales optiques exploitent la modification de l'indice de réflexion de la surface d'un prisme lorsque les reliefs du doigt sont en contact avec cette dernière. Le principe de fonctionnement de ce type de capteur est représenté de manière simplifiée sur la figure II.11. L'utilisateur pose son doigt sur une surface vitreuse formant un des côtés d'un prisme optique. Des diodes vont envoyer de la lumière sur le doigt du sujet. Ensuite une partie de ces rayons sera réfléchiée dans une lentille précédée par une caméra CMOS ou CCD afin de transformer cette image optique en un signal électrique. Ce signal va ensuite se diriger vers le poste central (un ordinateur, serveur....) où il va être traité.

Les crêtes du doigt (zone en contact avec la surface vitrée) apparaissent alors en sombre sur l'image tandis que les vallées (pas de contact) apparaissent en clair.

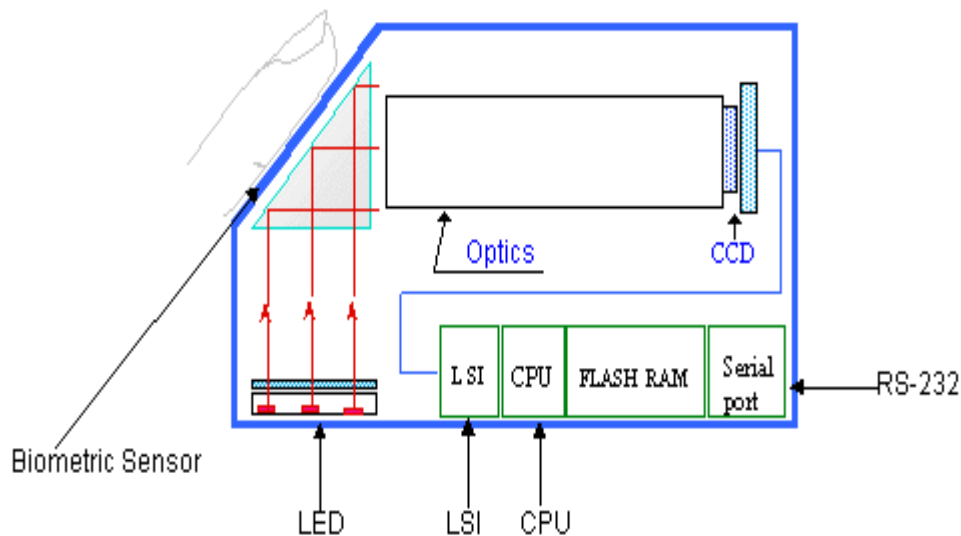


Fig. II.11 : Principe de fonctionnement d'un capteur d'empreintes digitales optique

L'image issue de ces capteurs possède généralement une définition de l'ordre de 500ppp (points par pouce) et souffre de plusieurs défauts. En effet l'image, qui possède peu de contraste, peut être facilement parasitée par les poussières et autres salissures (notamment les traces résiduelles d'empreintes) qui peuvent être en contact avec la face du prisme devant accueillir le doigt de l'utilisateur. De plus l'écrasement du doigt à la surface du capteur induit une distorsion de l'image parfois importante qui peut soulever différents problèmes lors de la phase de reconnaissance de l'empreinte.

II.3.2.2 Les capteurs d'empreintes digitales ultrasoniques

En 1986, une méthode basée sur l'échographie ultrasonore de la surface du doigt a été proposée afin de pratiquer l'acquisition de l'empreinte digitale [13]. Ce système se base sur le principe qu'une onde ultrasonore est en partie réfléchié lors du passage d'un milieu physique à un autre. Ici, les deux milieux physiques mis en jeu sont la surface du capteur et la surface du doigt de l'utilisateur.

Afin de déterminer l'image de l'empreinte, le système utilise un émetteur / récepteur d'ultrasons en rotation qui permet d'obtenir la signature de l'écho sous différents angles. A partir de ces données, l'image de l'empreinte digitale peut alors être recomposée grâce à un traitement informatique approprié. Le principe de fonctionnement est illustré sur la figure II.12. Notons que l'émetteur / récepteur en rotation peut être avantageusement remplacé par différents émetteurs / récepteurs fixes convenablement disposés.

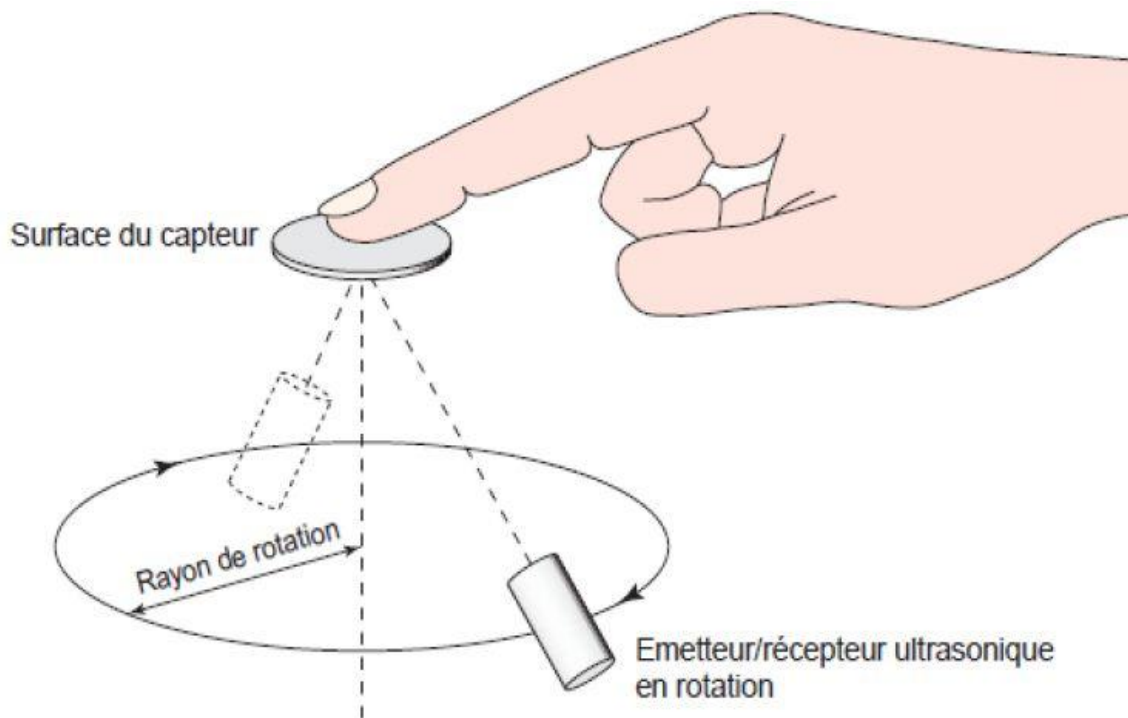


Fig. II.12 : Principe de fonctionnement d'un capteur d'empreinte digitale ultrasonique.

Ce genre de capteur possède de nombreux avantages comme une très grande immunité vis-à-vis des salissures présentes à la surface du capteur ainsi qu'une très grande définition qui, dans le cas de certains systèmes commercialisés, atteint 1000ppp. La haute définition de l'image scannée peut permettre l'identification de personnes dont l'empreinte se compose de sillons extrêmement fins comme c'est le cas chez les enfants par exemple.

II.3.3. Les capteurs intégrés d'empreintes digitales

La quasi-totalité des capteurs d'empreinte digitale intégrés commercialisés à l'heure actuelle sont, soit de type capacitif, soit de type thermique. Les capteurs intégrés, au contraire des capteurs macroscopiques, peuvent être d'une part classés suivant le principe physique utilisé pour effectuer la saisie de l'empreinte digitale mais également suivant leur géométrie. Nous présentons ici les différents types de capteurs d'empreintes digitales intégrés existants.

II.3.3.1. Les capteurs intégrés capacitifs

Les capteurs intégrés capacitifs sont à l'heure actuelle les systèmes les plus aboutis et les plus économiquement viable car pouvant être facilement réalisés sur la base de technologies microélectroniques standard. Il existe plusieurs types de capteurs capacitifs qui utilisent soit une, soit deux électrodes de mesure par pixel. Ces capteurs procèdent à l'acquisition de l'empreinte en mesurant soit les perturbations locales du champ électrique (pixel à double électrode), soit la variation de capacité entre l'électrode de mesure (électrode unique) et la peau suivant que cette dernière est en contact ou non avec la surface du système. La figure. II.13 illustre le cas d'un capteur capacitif utilisant des pixels à double électrode [14]



Fig. II.13 : Capteur capacitif utilisant des pixels à double électrode

Les deux électrodes utilisées dans chaque pixel forment un condensateur dont la valeur de la capacité va être modifiée par la présence ou non de la peau du doigt en contact avec la surface du capteur. En effet, la surface de la peau constituant l'empreinte digitale, présente une permittivité électrique différente de celle de l'air et va donc modifier la répartition spatiale des lignes de champs électriques prenant forme entre les deux électrodes de mesure.

II.3.3.2. Les capteurs intégrés thermiques

La société Atmel commercialise depuis quelques années un capteur intégré d'empreintes digitales thermique [15]. Le principe de fonctionnement de ce capteur repose sur le fait que les zones de l'empreinte digitale en contact avec la surface du système (les stries) réchauffent localement cette dernière. Afin de déterminer l'élévation de température, ce capteur utilise une couche de matériau pyroélectrique déposée entre une électrode de référence et une électrode de mesure (une par pixel, voir figure II.14). Lorsque le matériau pyroélectrique subit une élévation de température imputable à la présence du doigt, une

différence de potentiel électrique apparaît entre les deux électrodes permettant ainsi la mesure.

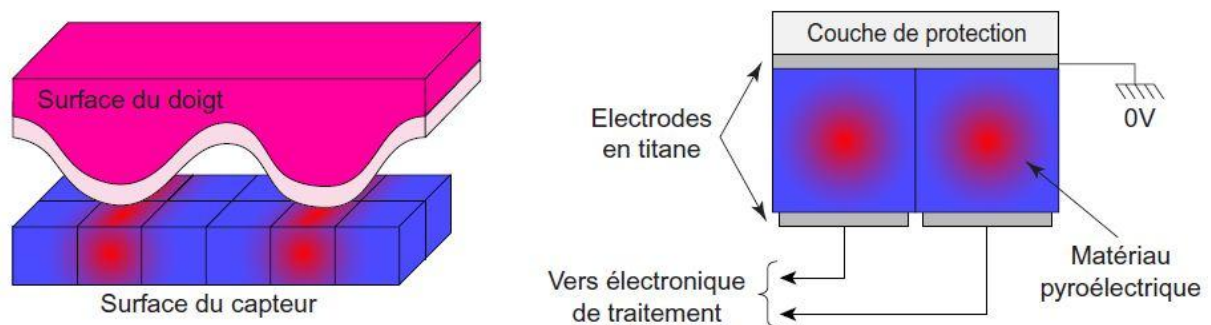


Fig. II.14 : Capteur thermique utilisant une couche de matériau pyroélectrique [16].

II.3.3.3. Capteurs intégrés tactiles

Plusieurs solutions de *mesure mécanique* des empreintes digitales ont été développées, cependant peu de ces capteurs ont réellement débouché sur une mesure exploitable ou sur un dispositif concurrentiel. La figure. II.15 illustre le cas d'un capteur tactile à détection capacitive. Une première solution consiste à utiliser un réseau de plaques suspendues par des bras de flexion. Ces plaques forment ensuite, avec une électrode fixe sous la structure mobile, un condensateur plan dont la pression du doigt posé à la surface du capteur va modifier la capacité. Ce capteur a de nombreux inconvénients comme sa fragilité.

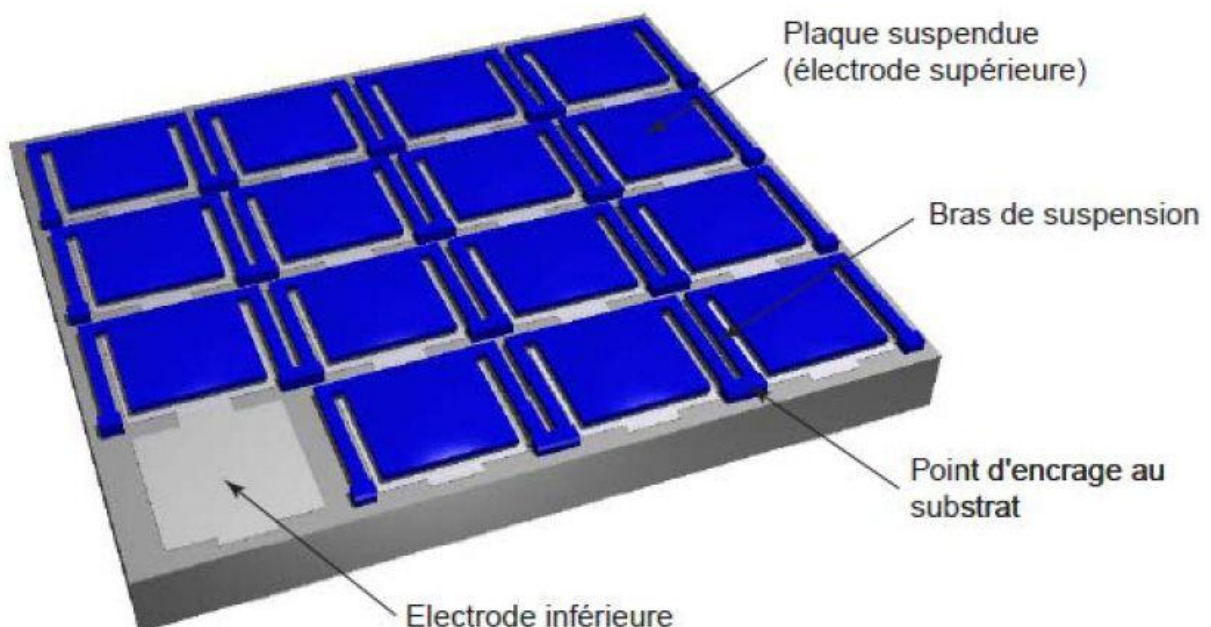


Fig. II.15 : Exemple d'un Capteurs intégrés tactiles

Une autre solution basée sur l'emploi d'un réseau de capteur de pression à membrane a été développée. La figure. II.16 montre une vue des éléments sensibles, ce sont des

membranes circulaires qui se déforment lors de l'appui du doigt à la surface. La mesure de la pression locale se fait par l'intermédiaire d'un condensateur plan formé d'une électrode fixe et d'une électrode mobile solidaire de la membrane. Les membranes d'un pas de $50\mu\text{m}$

sont fabriquées au dessus d'un circuit intégré qui gère l'adressage et la lecture des jauges capacitives.

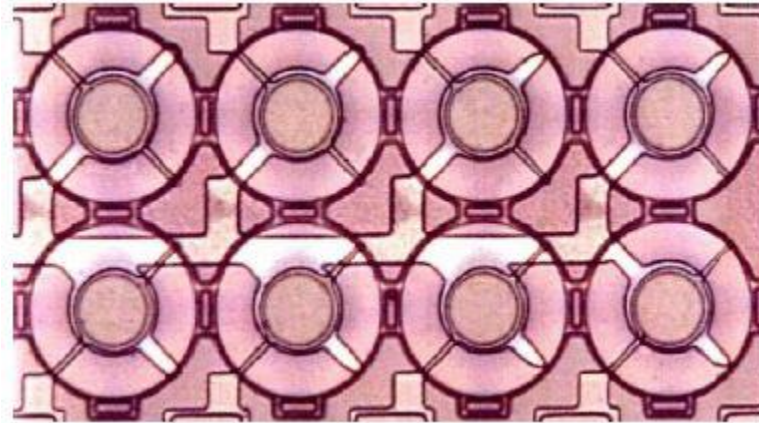


Fig. II.16 : Capteur d'empreintes mécanique et détail du réseau de capteurs de pression

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu l'émergence des méthodes biométriques de reconnaissance, leurs utilisations est relativement fiables en fonction du type de la biométrie choisie. Notre intérêt est porté sur les empreintes digitales, leurs caractéristiques ainsi que la structure globale d'un système de reconnaissance d'empreintes ont également été décrit, il s'agit à l'heure actuelle de la technique biométrique la plus aboutie, ensuite nous somme intéresser en particulier à l'étape d'acquisition de l'empreinte digitale et un ensemble de capteur d'empreinte a été décrit. Dans la suit de ce mémoire nous nous intéresserons à l'extraction de la signature d'une empreinte digitale basées sur la méthode de la détection locale des minuties.

III.1. Introduction

Plusieurs méthodes ont été développées pour réaliser une extraction de minuties efficace. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'il existe un grand nombre de types de minuties. En effet, bien que certains types de minuties soient plus utilisés que d'autres (terminaisons, bifurcation), une société qui développe un système automatique de reconnaissance de l'empreinte digitale peut choisir d'adopter une technique qui s'applique à tel ou tel type de minuties pour des raisons diverses (exemple : problème de budget car il existe des mécanismes plus coûteux à mettre en place que d'autres, se démarquer des autres. . .).

Cependant, même si ces méthodes se différencient les unes des autres, il convient de noter quelques-uns de leurs points communs tels que le fait qu'elles traitent toutes une image de l'empreinte en niveaux de gris et que la plupart d'entre elles nécessitent la binarisation de l'image en niveaux de gris. C'est-à-dire la conversion de l'image en une image en deux couleurs (noir et blanc) : l'image binaire. Cependant, certaines méthodes procèdent à l'extraction de minuties en traitant directement l'image en niveaux de gris sans passer par la binarisation.

Les différentes techniques de détection de minuties peuvent donc être classées en deux grandes catégories : celles qui se basent sur la binarisation de l'image et celles qui travaillent directement sur l'image. Dans ce chapitre, nous allons plutôt traiter la première catégorie car c'est la plus utilisée.

III.2. L'extraction des minuties

III.2.1 Principe

Lors de l'extraction de la signature propre à l'empreinte digitale, le principal problème rencontré est relatif à la qualité de l'image issue du capteur. En effet l'extraction de la signature s'appuie sur une approche basée sur le repérage des minuties, qui s'avère être extrêmement sensible au bruit et aux éventuelles déformations. Les perturbations peuvent aisément laisser apparaître de fausses minuties ou au contraire en masquer certaines. C'est pourquoi un prétraitement de l'image de l'empreinte digitale sera toujours effectué.

L'ensemble des minuties de l'empreinte (signature) est extrait à partir de l'image de l'empreinte. Pour cela il existe deux méthodes pour l'extraction de la signature de l'empreinte :

- La méthode classique consiste à extraire l'information sur un squelette binaire (noire et blanc) de l'image provenant du capteur, dans ce cas l'exécution d'un algorithme d'extraction de minuties se base fortement sur la qualité des images brute d'empreinte digitale d'entrée.
- La méthode directe consiste à extraire les minuties directement à partir de l'image filtrée sans passer par une étape de squelettisation. C'est pourquoi un filtrage de l'image de l'empreinte digitale sera toujours effectué avant toute autre opération algorithmique afin de réduire le niveau général de bruit.

Dans ce travail nous étudierons la méthode classique. Comme le montre la figure III.1 l'image est d'abord préparée à l'étape d'extraction au moyen d'une binarisation suivie d'une squelettisation, ensuite un fichier signature est extrait de l'empreinte après la détection et l'extraction des minuties.

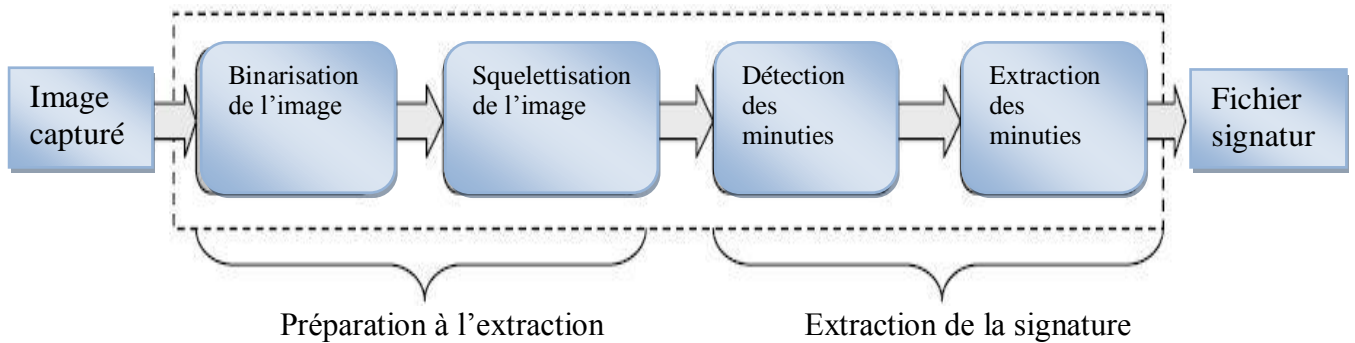


Fig.III.01 : Les étapes d'extraction de la signature.

La signature proprement dite de l'empreinte digitale peut alors être extraite en relevant les coordonnées des points de minutie, leur type (bifurcation ou terminaison) ainsi que la direction locale des stries associées.

III.2.2 La binarisation de l'image d'empreinte

Etant donné que les minuties sont de très petits détails difficilement visibles de l'empreinte, il convient de bien les mettre en évidence avant de procéder à leur extraction. C'est la grande utilité de binariser l'image de l'empreinte. L'idée consiste à donner une même intensité aux stries et une autre intensité très différente aux vallées, afin de bien distinguer ces deux régions de l'empreinte, c'est-à-dire que l'image en 256 niveaux de gris dont nous disposons à ce stade est transformée en image binaire où les pixels noirs correspondent aux stries et les pixels blancs aux vallées.

La technique la plus utilisée consiste à se fixer un seuil d'intensité T , parcourir la matrice de pixels de l'image en assignant la valeur 0 à tous les pixels dont la valeur d'intensité est inférieure à T (ce qui revient à mettre en noir les points correspondants sur l'image), et en assignant une autre valeur (typiquement 1) aux pixels de valeur supérieure ou égale à T . Ainsi, ayant une faible intensité au départ, les lignes de l'empreinte seront en noir (valeur 0) et les vallées seront en blanc (plus forte intensité car $1 > 0$). Cette étape occupe une place très importante dans notre système de détection de minuties, car c'est à partir de l'image binarisée qu'on va pouvoir effectuer la squelettisation de l'empreinte.

Le seuil est fixé dès le départ (seuillage automatique), comme étudiée dans le chapitre I. Dans ce cas la binarisation s'effectue directement sur l'image d'origine captée (image témoin) en comparant la valeur de chaque pixel de l'image avec le seuil fixé. La figure III.2 montre le résultat obtenu à partir de l'image captée.

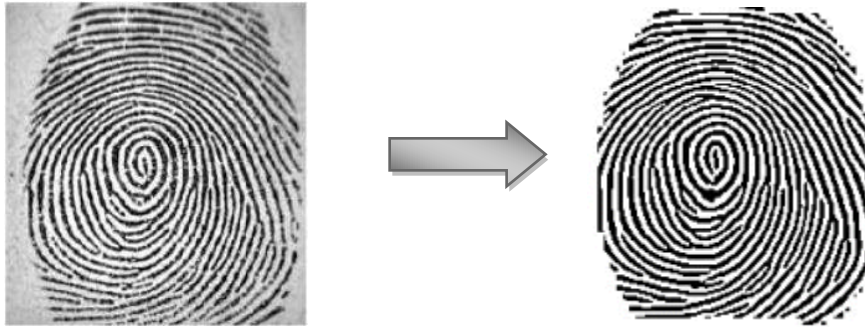


Fig.III.02 : Binarisation de l'image d'empreinte à partir de l'image captée.

III.2.3 Squelettisation de l'image d'empreinte

La binarisation de l'image est importante pour augmenter la visibilité des minuties, mais cela ne suffit pas. Une fois l'image binarisée, on procède à une diminution de la taille de lignes, c'est donc une sorte "d'amincissement" de l'image, qualifiée de squelettisation. Dans l'image binarisée (noir et blanc) les lignes se voient clairement mais elles ont des tailles différentes. Pour pouvoir détecter rapidement les minuties (terminaisons, bifurcations), il est nécessaire d'obtenir une image plus schématique de l'empreinte, dans laquelle toutes les lignes ont la même épaisseur.

Une suite d'opérations morphologique d'érosion est appliquée à l'image binaire initiale pour réduire l'épaisseur des stries jusqu'à ce que cette dernière soit égale à un pixel tout en conservant la connexité des stries (c'est-à-dire que la continuité des stries doit être respectée, il ne faut pas introduire de trous).

L'étape de squelettisation consiste à amincir une forme de manière à ce qu'elle ne soit plus représentée que par un ensemble de segments irréductibles (Si on venait à supprimer ne serait-ce qu'un seul pixel sur un segment, alors soit on le raccourcirait, soit il s'en créerait deux segments). Cette opération se fait de manière itérative sur un objet. A chaque tour, on creuse plus profondément dans une forme jusqu'à ne plus pouvoir. La squelettisation permet de préserver la topologie d'un objet ainsi que sa taille (figure III.3).

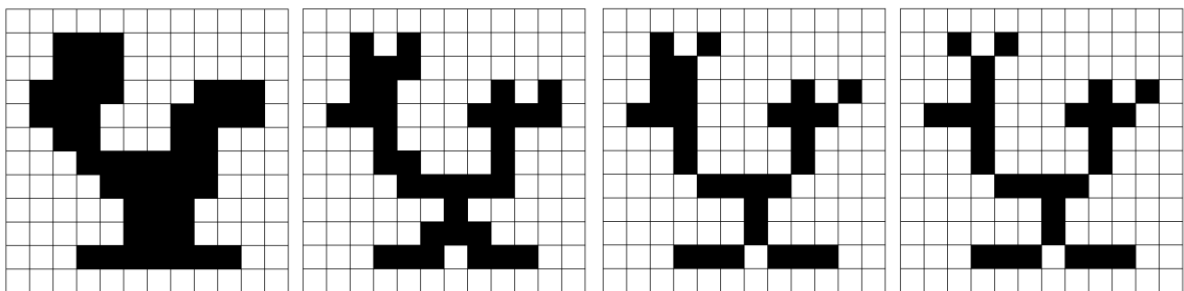


Fig.III.03 : différentes étapes de squelettisation de l'image d'empreinte.

L'intérêt de squelettiser l'image améliorée (binarisée) est tout d'abord de gagner en temps de calculs : en effet, puisqu'il y aura moins de données à traiter, ce traitement ira plus

vite. De plus, nous verrons dans la partie suivante l'avantage d'une telle technique pour l'extraction des minuties. la figure III.4 montre le résultat obtenu à partir d'une image binaire.

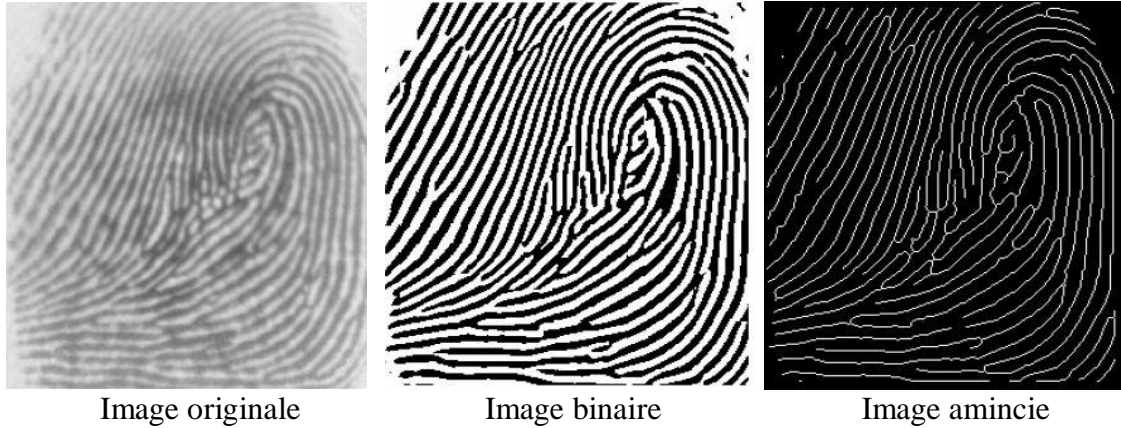


Fig.III.04 : Squelettisation de l'image d'empreinte à partir d'une image binaire.

III.2.4 La détection des minuties

A ce stade, les minuties sont bien visibles et facilement détectables. Voyons maintenant comment détecter les minuties par la technique particulière du *crossing number*, initiée par Arcelli [17].

Le crossing number $CN(P)$ d'un pixel P est défini comme la moitié de la somme des différences en valeur absolue de pixels adjacents dans un voisinage de 8 pixels entourant P . En analysant le squelette binaire de l'image de l'empreinte, on remarque que les pixels correspondant aux minuties possèdent un crossing number différent de 2. Le crossing number d'un pixel P se calcule par la formule suivante :

$$CN(P) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^8 |P_i - P_{i+1}| \dots \dots \dots (III.1)$$

Avec :

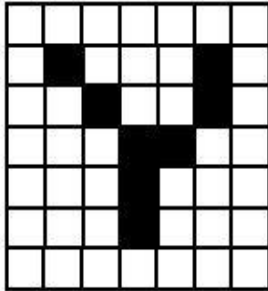
$$P_8 = P_0 \text{ et } P_i \in \{0,1\}$$

P_i est la valeur des pixels dans le voisinage 3*3 de P

Les deux étapes de préparation à l'extraction (binarisation et squelettisation) ont grandement facilité cette phase. En effet nous disposons maintenant d'une image d'empreinte binaire squelettisée : un pixel noir prend la valeur 1, un pixel blanc prend la valeur 0 et la largeur des stries est égale à 1 pixel. Si l'on calcule ainsi le nombre de transitions divisé par 2 entre un pixel blanc et un pixel noir pour chaque point du squelette, on obtient le nombre CN (Crossing Number) de stries et nous pouvons donc déterminer simplement le type d'un pixel (voir figure.III.6).

Ainsi pour chaque pixel P appartenant à une strie (c'est-à-dire pour chaque pixel ayant une valeur de 1) le calcul de CN peut prendre cinq valeurs :

représentation graphique d'une partie du squelette



codage binaire

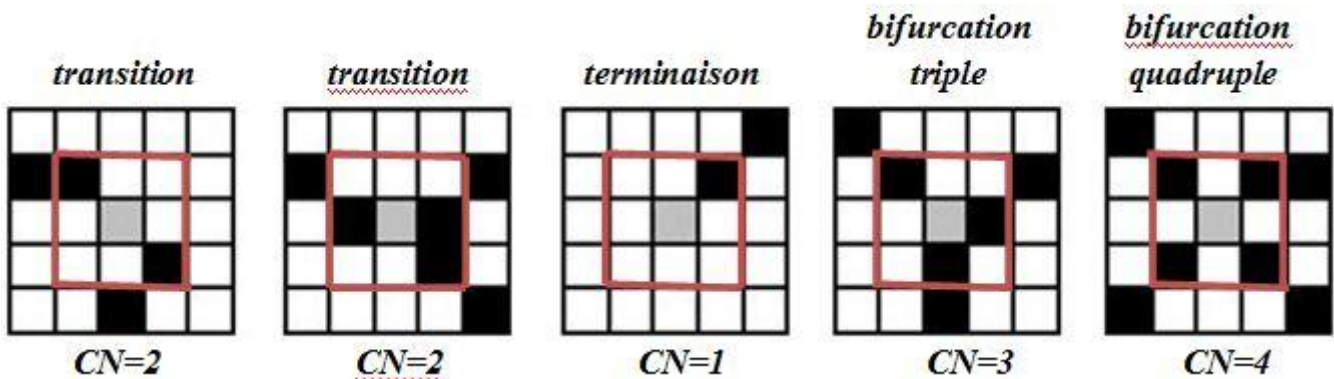
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1	0
0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

codage du CN

0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0
0	0	2	0	0	2	0
0	0	0	3	2	0	0
0	0	0	2	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Fig.III.05 : Les différentes représentations du squelette.

- CN(P)=0 : dans ce cas il s'agit d'un pixel isolé et nous n'en tenons pas compte car même si ce type de minutie existe il est très rare et à ce stade du traitement de l'image il est probablement du à un résidu de bruit.
- CN(P)=1 : dans ce cas nous avons à faire à une minutie de type **terminaison**.
- CN(P)=2 : c'est le cas le plus courant, le pixel se situe sur une strie, il n'y a pas de minutie.
 - CN(P)=3 : nous sommes en présence d'une minutie type **bifurcation triple**.
- CN(P)=4 : nous sommes en présence d'une **bifurcation quadruple**. Ce type de minutie étant assez rare il est probablement du à du bruit.



(Dans chaque cas on considère le pixel gris au centre du carré)

Fig.III.06 : détermination du type de minutie en fonction du calcul de CN.

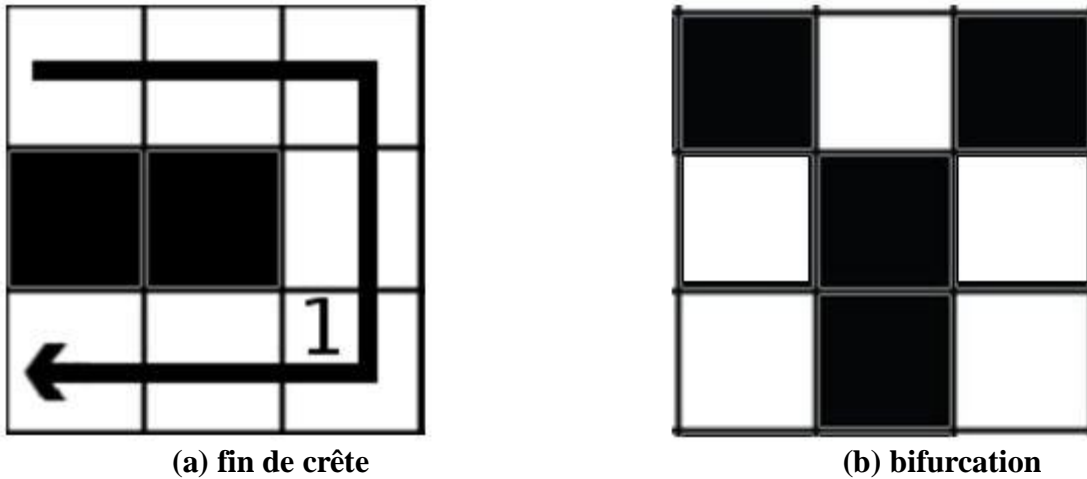


Fig.III.07 : Exemple d'application du filtre 3*3 sur l'image d'empreinte squelettisée.

La figure III.7 (a) présente le premier type de minuties à extraire de l'image. Une fin de crête est déterminée par la présence d'une crête dans le voisinage immédiat d'un pixel (taille du filtre de 3*3). Le procédé d'extraction des bifurcations (Figure III.7 (b)) reprend le même principe que pour l'extraction des fins de crêtes, mais la bifurcation est déterminée par la présence de trois crêtes dans le voisinage immédiat du pixel central (même taille du filtre). L'extraction va donner la carte suivante :

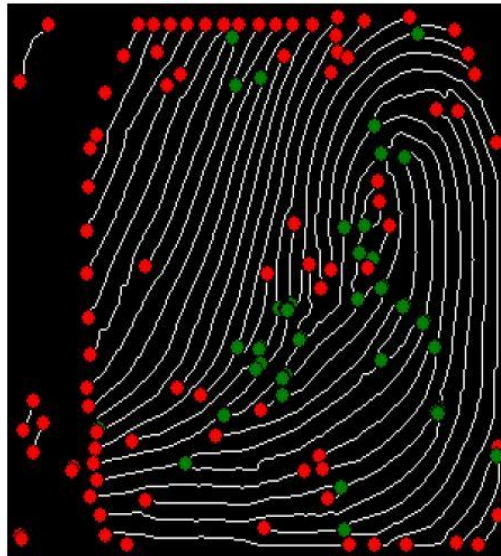


Fig.III.08 : Détection des minuties sur l'image amincie.

Bien que l'utilisation du nombre CN facilite grandement la détection, elle provoque aussi la détection d'un nombre important de fausses minuties, introduite pour la plupart lors des étapes de binarisation et de squelettisation. On ne peut donc extraire directement la signature, leur élimination va pouvoir se faire par deux procédés :

- *Post-traitement.*
- *Détection de la zone d'intérêt.*

III.2.5 L'élimination des fausses minuties

L'étape de détection des minuties est souvent suivie par un post traitement qui permet d'éliminer les fausses minuties produites au cours des étapes de binarisation et de squelettisation (figure III.8). Ce raffinement peut considérablement améliorer l'exactitude des résultats.

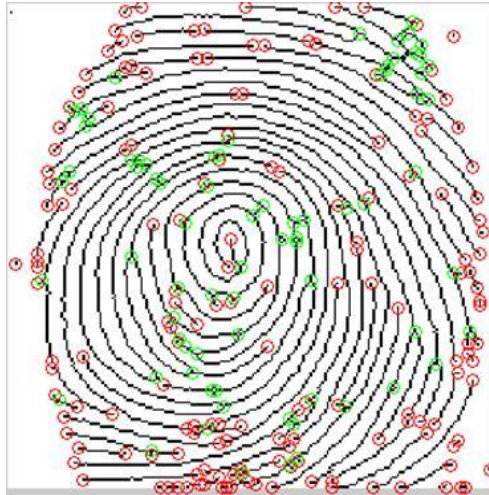


Fig.III.09 : Exemple de détection de fausses minuties.

Comme le montre la figure III.9 ces fausses minuties sont divers et variées. L'objectif de ce processus est d'en éliminer le maximum tout en conservant les vraies minuties détectées. Pour cela on considère que la distance entre deux minuties voisines est toujours supérieure à un certain seuil. En effet, pratiquement il est extrêmement rare de trouver deux vraies minuties très proches, par contre on a quasiment toujours une concentration locale de plusieurs fausses minuties.

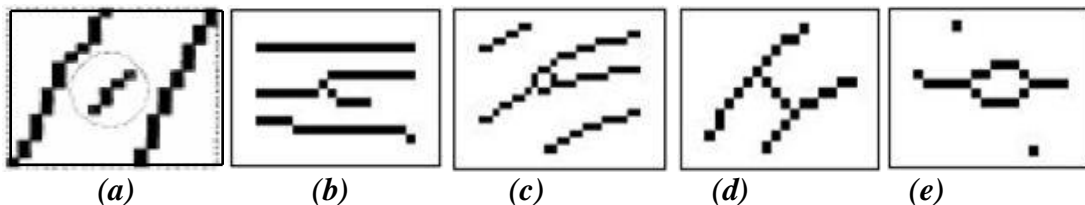


Fig.III.10 : Exemple de fausses minuties détectées : segment trop court (a), branche parasite (b), triangle (c), pont (d), îlot (e).

Pour faciliter les traitements nous allons travailler non pas sur la représentation binaire du squelette mais sur le codage CN du squelette de l'image (figure III.5).

III.2.5.1 Post-traitement

Lorsque l'on détecte un point $T(x_t, y_t)$ considéré comme étant une terminaison ($CN(T)=1$), on vérifie d'abord si celui-ci se situe au bord de l'image car la très grande majorité des fausses terminaisons sont provoquées par le bord de l'image (figure III.8). La création d'un masque qu'on va voir dans ce qui suit, et son application sur l'image va

permettre d'éliminer trois quarts des fausses terminaisons détectées, car les lignes du squelette qui s'arrête au bord de l'image provoquent la détection de fausses terminaisons.

Pour les terminaisons restantes T on parcourt la strie qui lui est associée sur une distance maximum D jusqu'à atteindre le point A ($d = \overline{TA} \geq D$, figure III.10.a). Nous considérons deux cas de fausses terminaisons :

- $d < D$ et $CN(A)=3$: on rencontre une bifurcation avant d'avoir parcouru la distance maximum D (figure III.10.b). On est dans le cas d'une branche parasite, le point $T(x_t, y_t)$ et la bifurcation A rencontrée sont considérés comme de fausses minuties.
- $d < D$ et $CN(A)=1$: on rencontre une terminaison avant d'avoir parcouru la distance maximum D (figure III.10.c). On est dans le cas d'un segment trop court, le point $T(x_t, y_t)$ et la terminaison A rencontrée sont considérés comme de fausses terminaisons.

Dans tous les autres cas $T(x_t, y_t)$ est validée en tant que vraie terminaison.

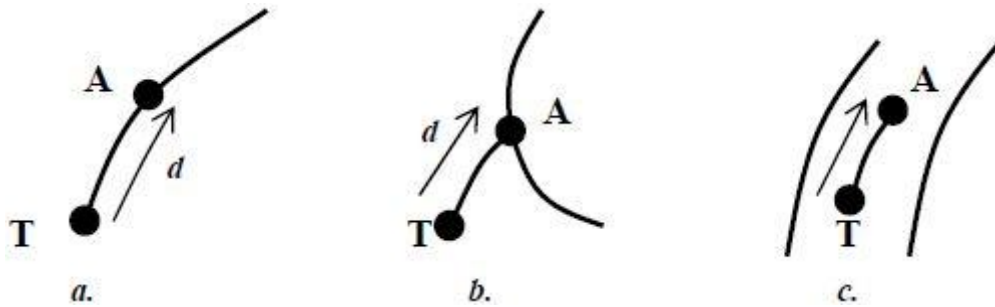


Fig.III.11 : traitement des terminaisons détectées, cas d'une vraie terminaison (a), branche parasite (b), segment trop court (c).

- $d < D$ et $CN(A)=3$ et $CN(B)=3$: nous avons un strie qui mène à deux bifurcation A et B (figure III.9.h). Dans ce cas si la distance entre les deux bifurcations A et B est plus petite que la distance maximum D , les deux bifurcations rencontrées A et B sont considérés comme de fausses minuties.

Dans tous les autres cas les bifurcations détectées sont validées en tant que vraie bifurcations.

D'autre considération qui vise le traitement de d'autre type de minuties (ilot, triangle, pont..., (figure III.9)) permettent d'améliorer ce traitement aux dépens d'un nombre plus important d'opération de calcul mais nous ne les avons pas testés.

III.2.5.2 Détermination de la distance D

L'empreinte est par essence une image de lignes texturée, c'est une alternance de crêtes et de vallées qui évoluent dans une direction précise. Un bloc de l'image bien défini possède une direction locale constante, sur ce bloc, les niveaux de gris des crêtes et des vallées atteignent leur maximum local le long de la direction normale aux crêtes, et

constituent une forme sinusoïdale le long de la direction normale à l'orientation locale des crêtes (figure.III.11).

L'amplitude, la fréquence de cette forme sont des indicateurs sur le type de la région constituant le bloc considéré. Seuls les points singuliers (minuties) constituent une discontinuité de cette forme présumée.

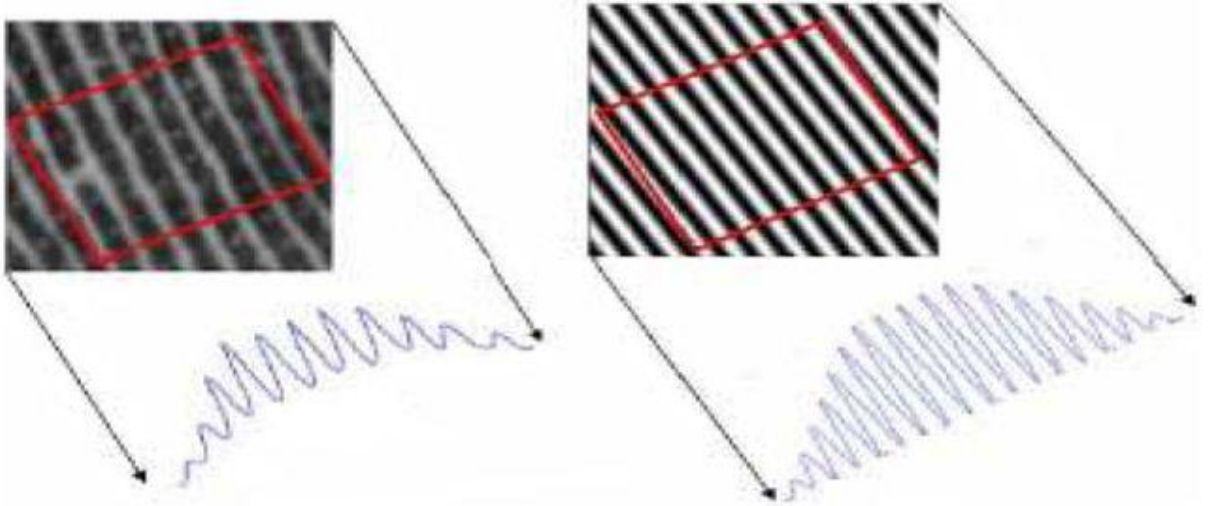


Fig.III.12 : Projection des crêtes sur une image orientée. (a) un échantillon d'empreinte (b) une empreinte synthétique.

L'image d'une empreinte possède des lignes qui sont localement parallèles, cette propriété s'apprécie particulièrement dans le domaine fréquentiel (figure.III.12). En effet la transformée de Fourier de ligne parallèles va donner idéalement deux fonction de Dirac symétriques par rapport à l'origine, et orientés perpendiculairement à la direction des lignes parallèles. En pratique l'image est bruitée et les lignes ne sont pas parfaitement parallèles, ce qui provoque un étalement de l'information autour de la fonction de Dirac.

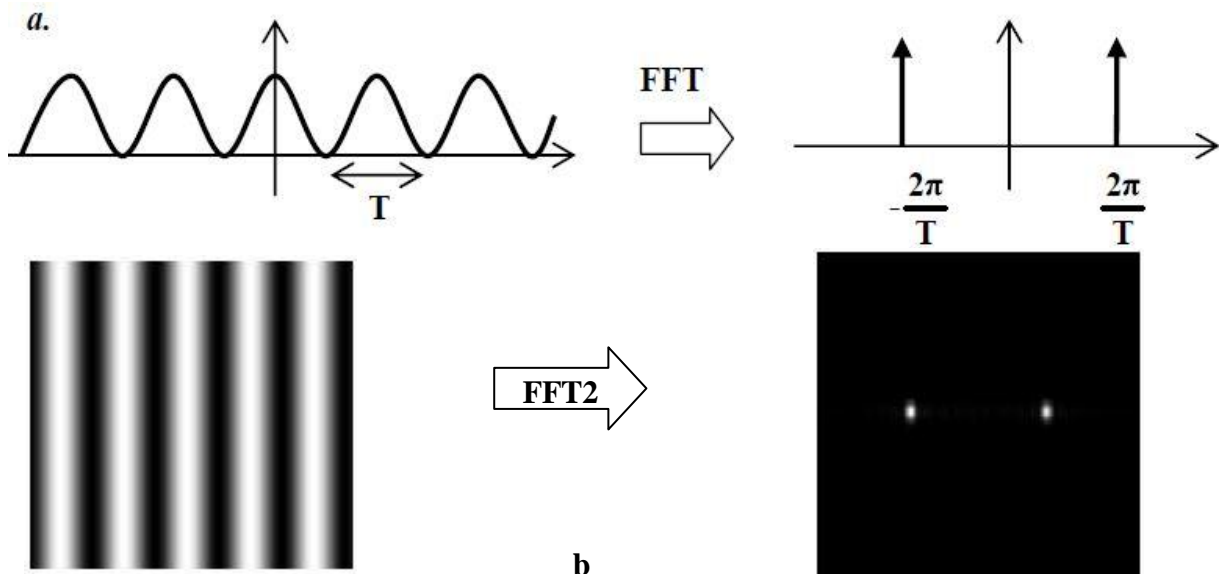


Fig.III.13 : La transformée de Fourier d'une sinusoïde 1D (a), d'une sinusoïde 2D (b)

Soit d_{moy} la distance moyenne entre les stries présente dans l'image. Il est communément admis que la distance inter-strie locale au sein d'une image est globalement constante et ne subit que de légères variations ($d_{min} \leq d_{moy} \leq d_{max}$) notamment au niveau des minuties. Localement la distance inter-strie d est associée à la direction des stries et va donc provoquer dans le spectre de l'image un pic de fréquence r de direction perpendiculaire à celle des stries. Si N correspondant à la largeur du spectre de l'image on a [11]

$$r_{min} \leq r_{moy} \leq r_{max} \text{ avec } r_{min} = \frac{N}{d_{max}}, r_{max} = \frac{N}{d_{min}} \text{ et } r_{moy} = \frac{N}{d_{moy}}$$

L'ensemble des pics de fréquence va alors produire idéalement un anneau centré contenant toute l'information utile de l'image, comme le montre la figure.III.13.

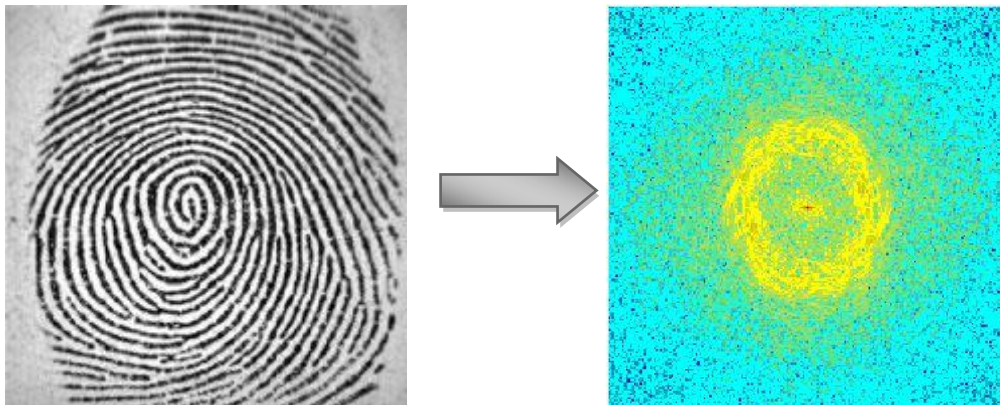


Fig.III.14 : Représentation fréquentielle d'une image d'empreinte digitale.

La valeur de d_{moy} varie selon les personnes et selon leur âge, elle évolue avec la croissance pour se stabiliser à l'âge adulte. De plus elle varie localement durant l'étape d'acquisition en raison de l'élasticité de la peau. Généralement d_{moy} est estimé statistiquement sur une population donnée, le cas des enfants n'est pas pris en compte et sa plage de variation est considérée comme faible.

Dans l'ensemble des images qu'on va utiliser dans ce travail, nous considérons que nous avons à faire à des utilisateurs dans d_{moy} varie dans la plage de valeurs $[d_{min}, d_{max}] = [2,10]$.

Ce qui nous mène à utiliser une distance inter-strie D : [11]

$$D = d_{moy} = \frac{1}{2}(d_{min} + d_{max}) = 6 \text{ pixels} \dots \dots \dots (III. 2)$$

III.2.5.3 Détection de la zone d'intérêt pour l'extraction des minuties

L'image en entrée a beau être améliorée, il n'en reste pas moins que toute la zone d'image n'admet pas que des informations utiles à l'extraction des caractéristiques. Pire, si on prend en compte toute la zone de l'image, on risque d'extraire des caractéristiques qui fausseraient par la suite le fichier signature de l'empreinte. En effet, selon l'inclinaison du pouce sur le capteur, la zone acquise de l'empreinte ne sera pas la même.

Lors d'une acquisition, on ne peut obtenir qu'une empreinte partielle, il faut donc prendre soin à ne pas s'intéresser aux informations incomplètes. L'information la plus pertinente se trouve dans la zone centrale de l'image, et la très grande majorité des fausses terminaisons sont provoquées par le bord de l'image. Il sera alors possible de créer un masque pour spécifier uniquement la zone d'intérêt de l'image (Region Of Interest) ou ROI, (voir figure.III.14).



Fig.III.15 : Création d'un masque pour ne travailler que sur la partie intéressante de l'image

Sachant que le masque reprend la forme globale de l'empreinte, il suffit d'en diminuer sa taille de manière à écarter la fin des crêtes du bord de l'image d'acquisition. Ainsi, on évitera d'englober les fins de crêtes dues à l'acquisition partielle de l'empreinte lors de l'extraction des caractéristiques. En appliquons ce masque sur l'image, Si un pixel de l'empreinte est à l'intérieur du masque, alors on l'analysera pour déterminer s'il appartient aux types de minuties précités, sinon on l'ignorera (figure.III.15).

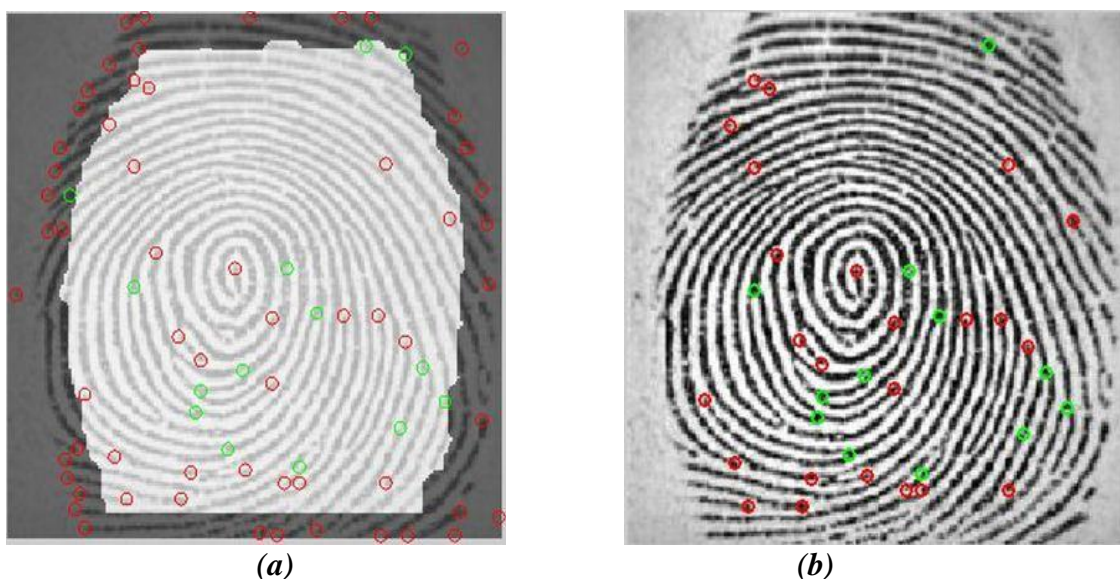


Fig.III.16 : application du masque sur l'image d'empreinte (a), résultat (b)

III.2.5.4 Résultats

Sur la figure.III.8, on peut voir que de très nombreuses fausses minuties sont détectées à partir du squelette de l'image. L'utilisation du *CN* a provoqué la détection de 224 minuties (159 terminaisons et 65 bifurcations). Après la phase d'élimination des fausses minuties, il ne reste plus que 36 minuties (24 terminaisons et 12 bifurcations), figure.III.15 (b).

III.3 Le fichier signature d'une empreinte digitale

Le fichier signature d'une empreinte digitale correspond à l'information utile minimum extraite des minuties contenu dans l'image qui est nécessaire à l'identification. Les bifurcations et les terminaisons sont les deux types de minuties les plus utilisés car ils sont facilement détectables, mais surtout parce qu'ils sont très aisément représentables par le modèle de coordonnées, où chaque minutie est représentée par les coordonnées (x, y) de son emplacement et l'angle θ entre l'axe horizontal et la tangente à la strie (voir figure.III.17).

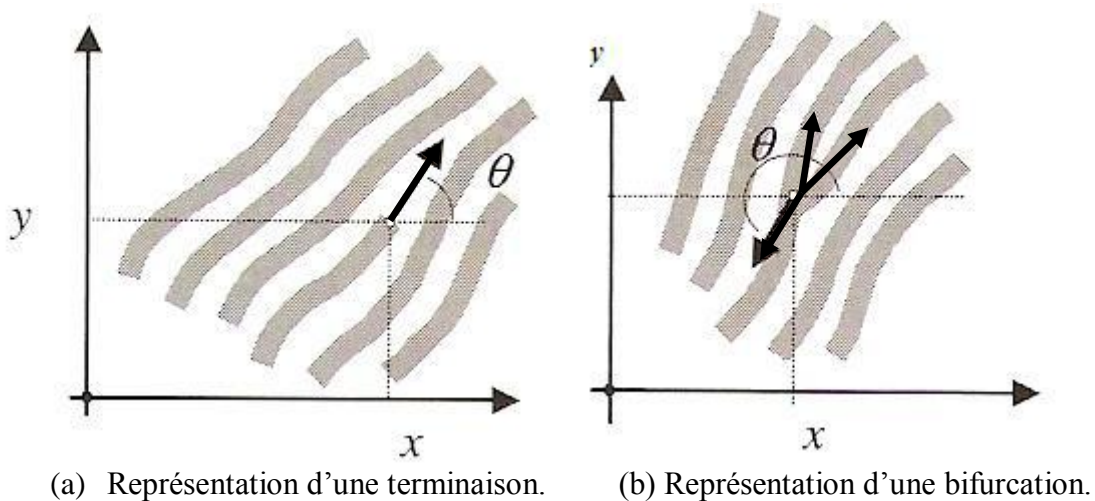


Fig.III.17 : Les caractéristiques extraites d'une minutie.

Les informations de chaque minutie d'une empreinte sont alors reprises dans un vecteur de la forme **(type de minutie, x , y , θ)**, ce qui est une manière pratique de sauvegarder les informations d'une empreinte digitale sur un support informatique. Le vecteur contenant les informations d'une terminaison sera du style **(terminaison, x , y , θ)**, et celui des bifurcations sera **(bifurcation, x , y , θ_1 , θ_2 , θ_3)**, où chaque angle θ correspond à l'angle formé par la direction de chacune des trois stries constituons la bifurcation avec l'axe horizontal.

III.3.1 Estimation spatiale de l'orientation locale des lignes d'une empreinte digitale

La notion de l'orientation locale des lignes d'une empreinte est très importante dans la reconnaissance des empreintes digitales. Elle est utilisée pour la détection des traits caractéristiques d'une empreinte et leurs orientations, L'idée consiste donc à avoir une estimation de l'orientation des lignes d'une empreinte sur une petite zone de l'image (voir figure.III.17).

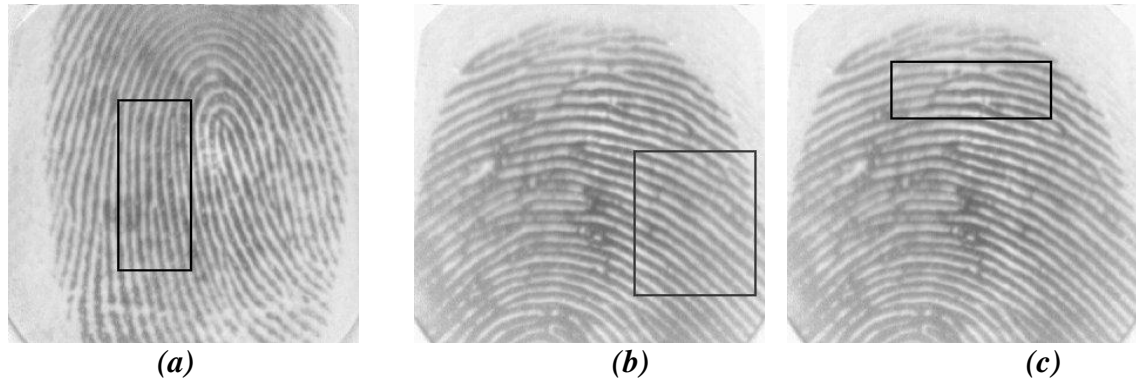


Fig.III.18 : Les lignes de la zone encadrée ont une orientation verticale (a), les lignes ont une orientation oblique à gauche (b), les lignes ont une orientation horizontale (c).

Dans une image d'empreinte digitale, une estimation de l'orientation de lignes de l'empreinte est reprise dans une matrice notée \mathbf{D} , appelée *image directionnelle* ou tout simplement *orientation de l'empreinte digitale*. La case (i, j) de la matrice contient la valeur de l'angle $\theta_{i,j}$ entre l'axe horizontal et l'orientation (approximative) des lignes de l'empreinte dans le voisinage du pixel $[i, j]$ (voir figure.III.18).

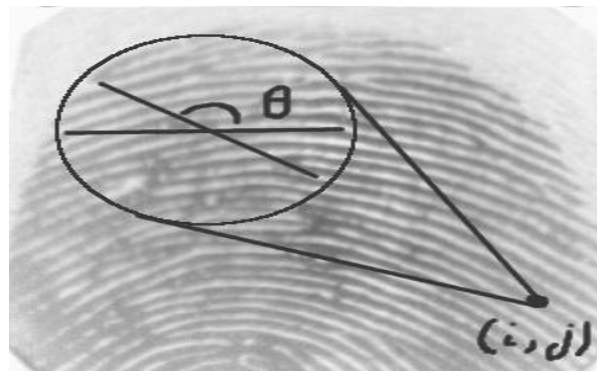


Fig.III.19 : L'axe oblique indique l'orientation des lignes au voisinage du pixel (i, j)

Etant donné que les lignes d'une empreinte ne sont pas dirigées (i.e. ne possèdent pas de flèche à l'une des extrémités), l'orientation locale de lignes n'est pas dirigée non plus (voir l'axe oblique de la figure.III.18).

III.3.2 Le calcul de la direction locale d'un pixel

En premier lieu, il convient de calculer le gradient en x et en y de l'image d'entrée. La manière la plus courante et la plus simple de calculer l'image directionnelle ou la matrice \mathbf{D} , consiste à calculer le gradient aux différents points de l'image d'empreinte (en noir et blanc).

Le gradient d'une fonction f au point (x_i, y_j) , noté $\partial f(x_i, y_j)$, est un vecteur $[\partial_x(x_i, y_j), \partial_y(x_i, y_j)]$ représentant la variation de f par rapport à la variation de ses variables x et y , où $\partial_x(x_i, y_j)$ et $\partial_y(x_i, y_j)$ sont respectivement la dérivée de f par rapport à x au point (x_i, y_j) et par rapport à y au même point. L'angle du gradient $\theta_{i,j}$ indiquant la

direction de la variation maximale de f au point (x_i, y_j) est obtenu en calculant l'arctangente du rapport $\partial_x(x_i, y_j) \div \partial_y(x_i, y_j)$:

$$\theta_{i,j} = \tan^{-1} \frac{\partial_x(x_i, y_j)}{\partial_y(x_i, y_j)} \dots \dots \dots (III.3)$$

Dans le cas des empreintes digitales, l'intensité des pixels est la fonction à laquelle on s'intéresse. Etant donné que les valeurs présentes dans la matrice déterminent l'intensité des pixels de l'image, on va calculer le gradient à chaque pixel $[x_i, y_j]$ de l'image en faisant la dérivée de l'image d'empreinte (ou plutôt de la matrice de pixels) au point $[x_i, y_j]$. L'angle $\theta_{i,j}$ du gradient au point x_i, y_j indique la direction de la variation maximale de l'intensité des pixels de l'image.

En effet, étant donné qu'il s'agit d'une image en noir et blanc de l'empreinte (i.e. les lignes en "noir" et les vallées en "blanc"), les points de variation de l'intensité correspondent aux bords de lignes de l'empreinte ; c'est-à-dire les zones de transition entre les lignes et les vallées. L'angle du gradient indique donc l'orientation dans laquelle les lignes sont couchées.

Une fois ce calcul effectué, on peut alors estimer l'orientation locale de l'image. Pour se faire, on va découper l'image en blocs adjacents fixe $W \times W$, et d'évaluer la direction moyenne locale au bloc quitte à interpoler la direction pour chaque pixel.

Le choix de la taille du bloc est problématique, celui-ci devant être suffisamment grand pour contenir au moins une strie et suffisamment petit pour que la direction des stries soit à peu près constante dans le bloc, et l'orientation sera locale. Ces deux conditions sont nécessaires pour une bonne fiabilité de l'estimation. On utilisera alors les équations suivantes pour estimer l'orientation locale de l'image [18] :

$$v_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2\partial_x(u, v) \partial_y(u, v) \dots \dots \dots (III. 4)$$

$$v_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} (\partial_x^2(u, v) - \partial_y^2(u, v)) \dots \dots \dots (III. 5)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{v_x(i, j)}{v_y(i, j)} \right) \dots \dots \dots (III. 6)$$

Où $\mathcal{O}(i,j)$ est l'estimation directionnelle du bloc centré sur le pixel (i,j) . Dans notre cas pour que l'estimation directionnelle soit suffisamment efficace nous avons choisi des blocs de taille $5 * 5$. Plus cette valeur sera faible, plus l'orientation sera locale, et plus elle sera forte, plus l'orientation reprendra l'orientation générale de l'image.

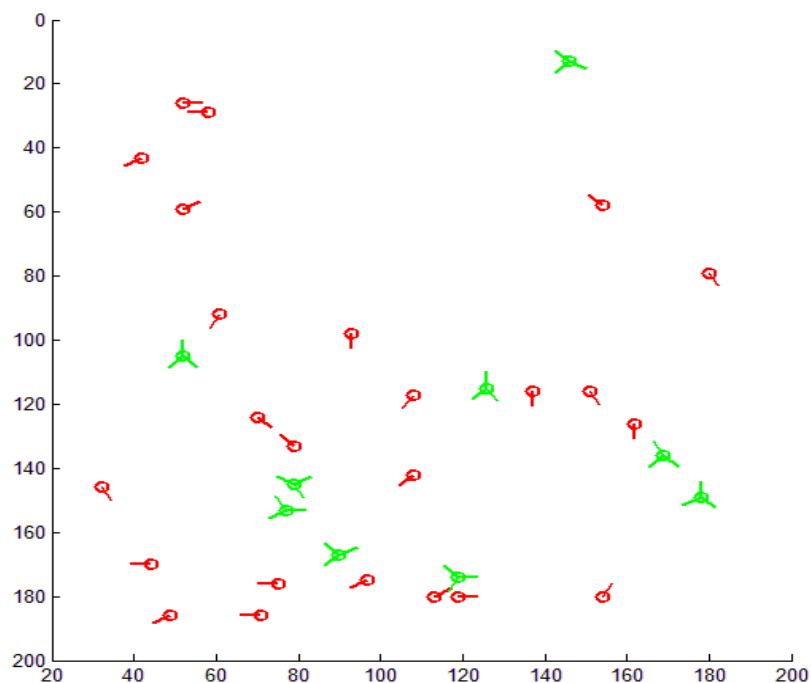
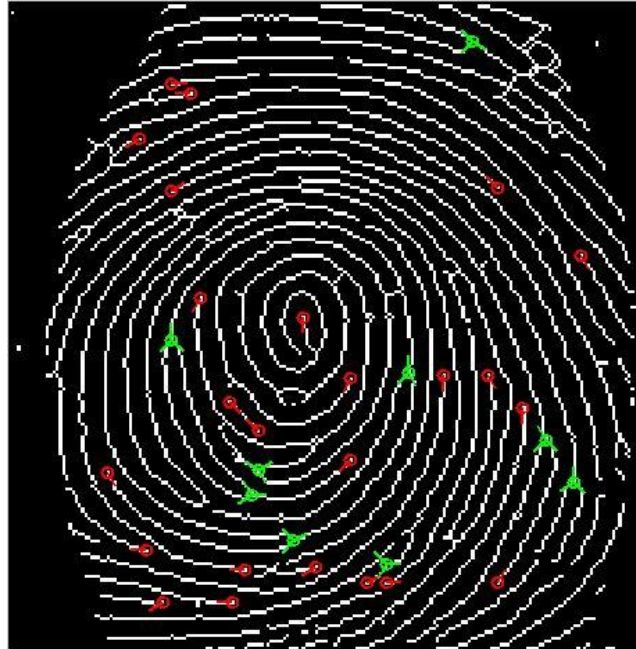


Fig.III.20 : représentation graphique du fichier signature d'une empreinte digitale, en rouge les terminaisons, en vert les bifurcations

III.4. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une approche permettant l'extraction des minuties d'une empreinte digitale. Cette méthode détecte les minuties à partir d'un squelette binaire de l'image d'empreinte. Cette technique est couramment utilisée pour sa simplicité et elle a donné de bons résultats. Néanmoins elle est coûteuse en temps de calcul car il est nécessaire de calculer un squelette de l'image, et elle nécessite un traitement spécifique ultérieur pour éliminer les nombreuses fausses minuties détectées.

Ensuite nous sommes intéressés en particulier à l'étape de l'estimation spatiale de l'orientation locale des lignes de l'empreinte, et l'extraction du fichier signature qui est nécessaire à l'identification de l'empreinte, et qui correspond à l'information utile qui caractérise la localisation et l'orientation des minuties détectées de chaque empreinte digitale.

IV.1. Introduction

Dans le chapitre précédent, une méthode d'extraction du fichier signature d'empreintes digitales a été mise en œuvre au cours de laquelle plusieurs étapes de traitement de l'image ont été proposées. Dans ce chapitre nous allons tester la performance de l'algorithme d'extraction du fichier signature, et exposée les résultats des tests que nous avons effectués sur différentes bases de données d'empreinte digitales. Ces bases sont utilisées dans le FVC2004 (Fingerprint Verification Competition) [19]. Dans notre application, l'algorithme d'extraction du fichier signature d'empreinte digitale a été implémenté en langage de programmation MATLAB.

IV.2. Présentation de la base FVC2004

La base FVC2004 (Figure. IV.1) est une base standard qui contient des images d'empreintes en niveau de gris. Sa version B qui est disponible en libre téléchargement sur le net, comporte 80x4 images, dans chaque base on trouve 8 acquisition pour chaque individu.



Fig. IV.01 : Exemples d'images d'empreintes de la base FVC2004

IV.3. Présentation du logiciel utilisé (voir annexe)

Le programme élaboré a été réalisé sous MATLAB sous l'environnement Windows. On rappelle que MATLAB est l'abréviation de **MAT**rix **LAB**oratory, c'est une logiciel qui a été conçue afin de fournir un environnement de calcul matriciel simple, efficace, interactif et portable, permettant la mise en œuvre des algorithmes développés dans le cadre des projets pour l'analyse de données, du traitement du signal, du traitement d'image, de simulation numérique,... etc. MATLAB est constitué d'un noyau relativement réduit, capable d'interpréter puis d'évaluer les expressions numériques matricielles qui lui sont adressées :

- soit directement au clavier depuis une fenêtre de commande, dans ce cas MATLAB exécute les instructions au fur et à mesure quelles sont données par l'utilisateur (MATLAB commande).
- soit sous forme de séquences d'expressions ou **scripts** enregistrées dans des fichiers-texte appelés **m-files** et exécutées depuis la fenêtre de commande, dans ce cas MATLAB exécute ligne par ligne un fichier texte que l'on désigne par programme (MATLAB editor).

MATLAB propose également une aide très complète illustrée par des d'exemples, étant donnée le très grand nombre d'instruction utilisable, il important de bien savoir l'utiliser.

Pour notre méthode, on a utilisé la version MATLAB 7.9.0 (R2009b).

IV.4. Les images tests utilisée

Les images tests utilisées sont extraite de 03 bases de donnée différente (DB1, DB2 et DB3) de la FVC2004. Les images de chaque base sont extraites en utilisant un capteur différent de celui utilisé pour les autres bases, comme le montre le tableau suivant : [19]

Images tests utilisées	Bases de données	Type de capteur utilisé	Résolution
Image test1 et 2	FVC2004-DB2	Capteur optique "U.are.U 4000" by Digital Persona	500 dpi
Image test3	FVC2004-DB1	Capteur optique «V300 » by CrossMatch	500 dpi
Image test4 et 5	FVC2004-DB3	Capteur thermique "FingerChip FCD4B14CB" by atmel	512 dpi

Tableau IV.01 : Les bases de données utilisées pour les tests.



Image test 1



Image test 2



Image test 3



Image test 4



Image test 5

Fig. IV.02 : Images tests de la base FVC2004

IV.5. Application de la méthode aux images tests de la base FVC2004

Nous présentons les résultats obtenus, par l'application du programme de détection des minuties et d'extraction du fichier signature sur les images tests d'empreintes de la base FVC2004.

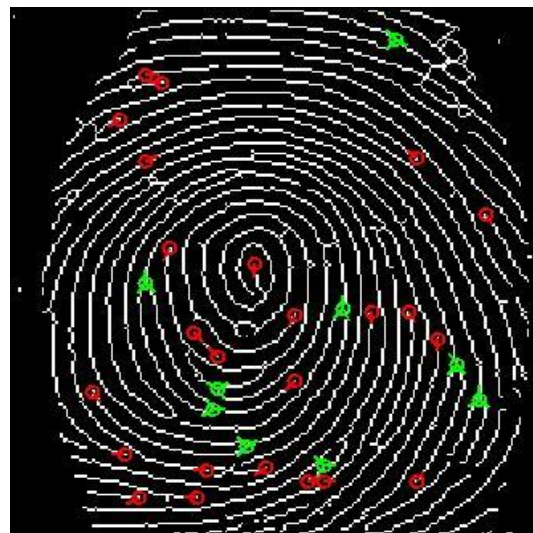
IV.5.1 Images test 1



Image originale



Squelettisation de l'image d'empreinte



Minuties détectée sur l'image amincie

Fig. IV.03 : Résultat de détection des minuties sur l'image test 1

Nombre de terminaisons : 24		
X	Y	Angle
52	26	0.00
58	29	3.14
42	43	-2.62
154	58	2.36
52	59	0.52
180	79	-1.05
61	92	-2.09
93	98	-1.57
137	116	-1.57
151	116	-1.05
108	117	-2.09
70	124	-0.79
162	126	-1.57
79	133	2.36
108	142	-2.36
32	146	-1.05
44	170	3.14
97	175	-2.62
75	176	3.14
113	180	0.52
119	180	0.00
154	180	1.05
49	186	-2.62
71	186	3.14

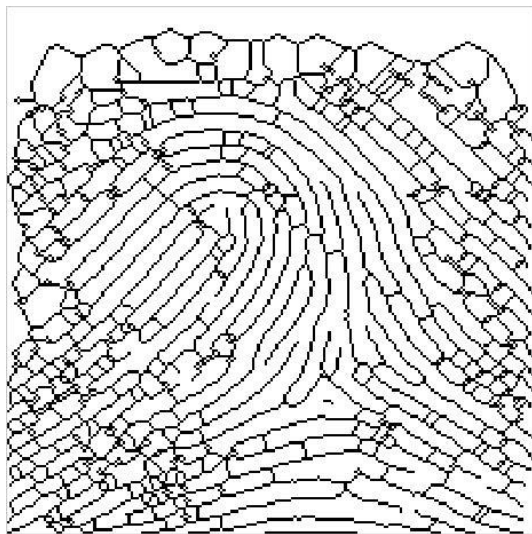
Nombre de bifurcations : 09				
X	Y	Angle 1	Angle 2	Angle 3
146	13	2.36	0.00	-0.52
52	105	-2.36	1.57	-0.79
126	115	-2.36	1.57	-1.05
169	136	-2.36	2.09	-0.79
79	145	2.62	-1.05	0.52
178	149	-2.62	1.57	-0.79
77	153	-2.62	2.09	0.00
90	167	2.36	-2.36	0.52
119	174	2.36	-2.09	0.00

Fig. IV.04 : Fiche signature de l'image test 1

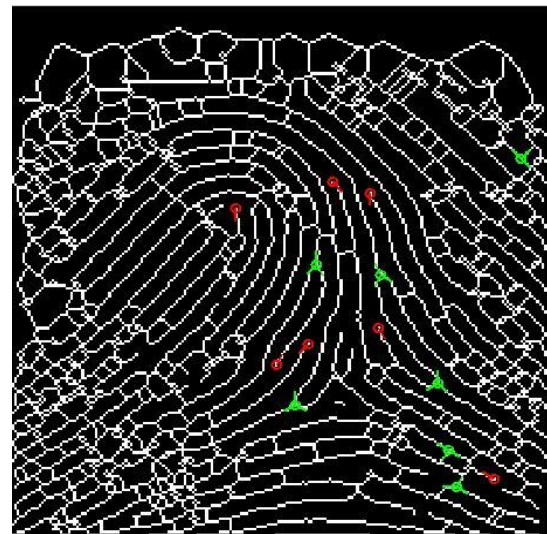
IV.5.2 Images test 2



Image originale



Squelettisation de l'image d'empreinte



Minuties détectée sur l'image amincie

Fig. IV.05 : Résultat de détection des minuties sur l'image test 2

Nombre de terminaisons : 07		
X	Y	Angle
120	67	-0.79
134	71	-1.57
84	77	-1.57
137	122	-1.05
111	128	-2.36
99	136	1.05
180	179	2.62

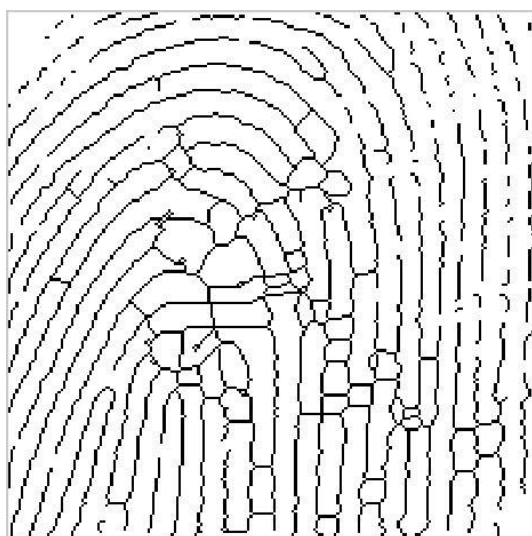
Nombre de bifurcations : 07				
X	Y	Angle 1	Angle 2	Angle 3
190	58	2.36	0.00	-0.79
114	98	-2.36	1.57	-1.05
138	102	2.09	-2.09	-0.52
159	143	-2.62	1.57	-0.79
106	151	-2.62	1.57	-0.52
163	168	2.62	-2.09	-0.52
166	182	3.14	1.05	-0.52

Fig. IV.06 : Fiche signature de l'image test 2

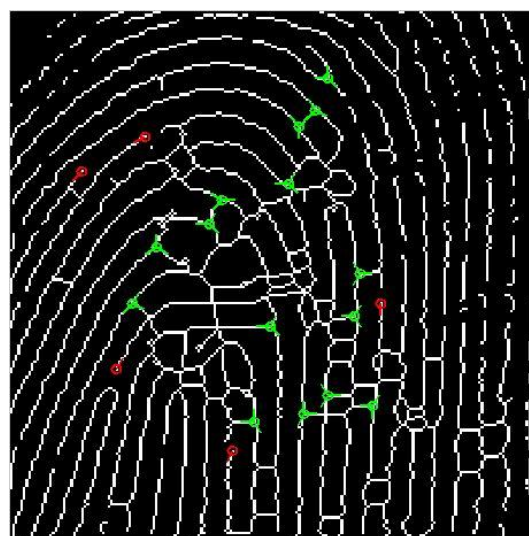
IV.5.3 Images test 3



Image originale



Squelettisation de l'image d'empreinte



Minuties détectée sur l'image amincie

Fig. IV.07 : Résultat de détection des minuties sur l'image test 4

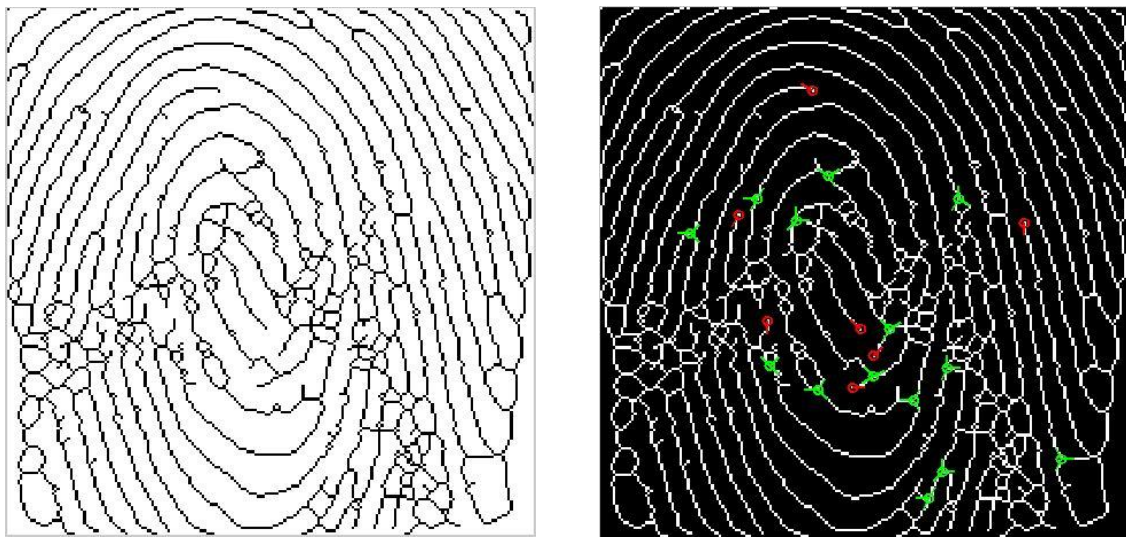
Nombre de terminaisons : 05			Nombre de bifurcations : 15				
X	Y	Angle	X	Y	Angle 1	Angle 2	Angle 3
52	48	-2.62	121	26	3.14	1.57	-0.79
28	61	-2.36	116	38	-2.36	2.09	-0.52
141	111	-1.57	110	44	2.36	-1.57	0.79
41	136	1.05	106	66	3.14	1.05	-0.79
85	167	-2.09	81	72	2.62	-2.36	0.00
			76	81	3.14	1.05	-0.79
			56	90	-2.62	1.57	-0.52
			133	100	2.09	-2.09	0.00
			47	111	-2.36	1.05	-0.52
			131	116	3.14	1.05	-1.05
			99	120	3.14	1.05	-0.79
			121	146	2.09	-2.09	0.00
			138	150	3.14	-1.57	1.05
			112	153	-2.09	1.57	0.00
			93	156	3.14	1.57	-1.05

Fig. IV.08 : Fiche signature de l'image test 3

IV.5.4 Images test 4



Image originale



Squelettisation de l'image d'empreinte

Minuties détectée sur l'image amincie

Fig. IV.09 : Résultat de détection des minuties sur l'image test 4

Nombre de terminaisons : 7		
X	Y	Angle
81	32	2.62
53	79	-2.09
161	82	-1.57
64	119	-1.57
99	122	2.36
104	132	0.79
96	144	0.00

Nombre de bifurcations : 14				
X	Y	Angle 1	Angle 2	Angle 3
87	64	2.62	0.00	0.52
60	73	3.14	-2.09	1.05
136	73	-2.09	1.57	-0.52
75	81	-2.36	1.57	0.00
35	86	3.14	0.79	-0.79
110	122	2.36	-2.09	0.52
65	136	2.36	0.79	-0.79
132	137	-2.09	1.57	0.00
104	140	2.36	-2.62	0.52
83	145	3.14	1.05	-0.79
119	149	3.14	1.05	-1.05
175	171	2.09	-2.09	0.00
130	176	-2.36	1.57	0.00
125	186	3.14	-2.09	1.05

Fig. IV.10 : Fichier signature de l'image test 4

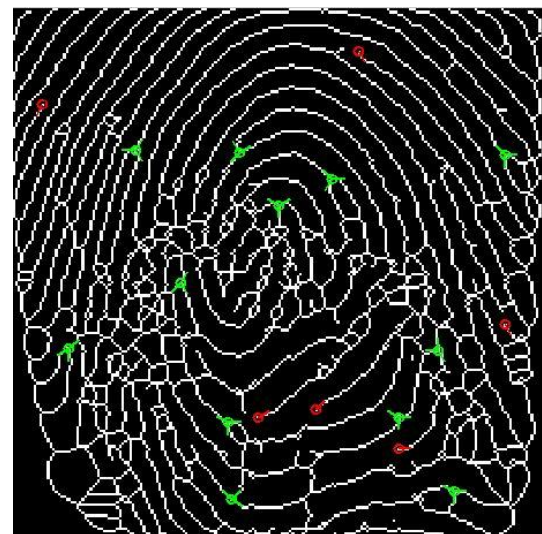
IV.5.5 Images test 5



Image originale



Squelettisation de l'image d'empreinte



Minuties détectée sur l'image amincie

Fig. IV.11 : Résultat de détection des minuties sur l'image test 5

Nombre de terminaisons : 06			Nombre de bifurcations : 12				
X	Y	Angle	X	Y	Angle 1	Angle 2	Angle 3
131	17	-1.05	47	54	3.14	0.00	-1.05
12	37	-2.09	86	55	-2.36	0.00	0.52
186	120	-1.05	186	56	2.36	0.00	0.00
115	152	0.79	121	65	2.36	-2.09	0.00
93	155	0.52	101	75	2.62	-1.57	0.52
146	167	0.00	64	104	-2.36	1.05	-1.05
			22	129	-2.62	-1.57	0.79
			161	130	3.14	1.57	-1.05
			146	155	2.62	-1.57	0.00
			82	157	2.62	-1.57	0.00
			167	183	2.62	-1.57	0.00
			83	186	2.36	0.79	-0.52

Fig. IV.12 : Fiche signature de l'image test 5

IV.6. Temps d'exécution du programme

Le temps d'exécution du programme est relativement différent d'une image à une autre, et cela est bien illustré dans le tableau suivant :

Images tests	Temps d'exécution du programme (S)
Image test 01	4.4150
Image test 02	7.9795
Image test 03	5.3145
Image test 04	5.3562
Image test 05	6.0505

Tableau IV.2 : Temps d'exécution du programme

IV.7. Discussion des résultats et conclusion :

Pour évaluer les performances de notre méthode de détection des minuties et d'extraction du fichier signature d'une empreinte digitale, nous avons utilisés des images tests qui proviennent des bases de données de la FVC2004 (Fingerprint Verification Competition).

Ces images proviennent de trois capteurs différents, et possèdent un avantage d'être des images qui présente une bonne qualité d'acquisition, chose qui est nécessaire dans notre méthode, du fait que notre programme traite directement l'image captée et n'inclus pas une étape de filtrage pour éliminer d'éventuelle bruit due à l'acquisition.

L'utilisation d'images issues de trois capteurs différents, choisie au hasard, nous permet d'évaluer efficacement les performances de notre système de détection de minuties et d'extraction du fichier signature, en utilisant trois méthodes d'acquisition différentes, avec trois capteurs qui représentent des technologies différentes.

Sur les différentes images tests utilisées, issue des trois capteurs, on distingue nettement les crêtes et les valets, et l'étape de squelettisation de l'image d'empreinte nous a permet de repérer les différentes minuties présentes dans l'image (terminaisons, bifurcation). Ce qui nous mène a dire que les résultats de l'étape de squelettisation sont satisfaisants sur les cinq images tests utilisées, ce qui favorise une bonne détection des minuties dans l'étape suivante.

Pour évaluer les performances de la phase de détection des minuties, on compare l'ensemble des minuties extraites par le système (terminaisons en rouge, bifurcation en vert) avec l'ensemble des minuties détectées visuellement à partir de l'image Squelettisée de l'empreinte par un expert.

- Une minutie détectée par le système est dite *appariée (a)* si elle est suffisamment proche d'une minutie détectée par l'expert.
- Une minutie est dite *manquante (m)* si elle n'a pas été détectée par le système.
- Une minutie est dite *fausse (f)* si elle ne peut être appariée à aucune des minuties détectées par l'expert.

Cette tache étant extrêmement fastidieuse (appréciation visuelle) est compliquée pour un non expert.

Les résultats obtenus avec notre méthode d'extraction du fichier signature sur les images tests utilisées sont satisfaisants. Pour chaque minutie détectée par le système, on arrive à extraire une information qui correspond à sa position qui est représentée par les coordonnées (x, y) de son emplacement, et un angle θ pour l'orientation de la strie qui forme la terminaison, et trois angles pour l'orientation des trois stries qui forme la bifurcation. L'ensemble des minuties extraites pour chaque image d'empreinte, forme un fichier signature qui sera stocké en mémoire.

Le temps d'exécution du programme est considérablement important pour les images tests 2 et 5, et moins important pour les images tests 1, 2 et 3. Les images test 2 et 5

présentent un nombre très important de fausses minuties, et leurs éliminations demande un temps plus important que les images tests 1, 2 et 3 qui présentent moins de fausses minuties.

Conclusion générale

Le travail effectué au long de ce mémoire m'a permis d'avoir une idée sur les techniques de traitement d'images en général et de découvrir une nouvelle discipline, à savoir la reconnaissance par empreintes digitales, et plus généralement la biométrie, tout en renforçant mes connaissances dans le domaine de la programmation.

Dans ce mémoire, nous avons donné un aperçu général sur les différentes techniques biométriques existantes, et nous avons abordé les empreintes digitales et leurs caractéristiques en particulier.

La méthode adoptée consiste à faire une détection directe des minuties de l'empreinte digitale après la binarisation et la Squelettisation de l'image, puis à extraire les positions des minuties. Les résultats sont sauvegardés dans un fichier appelé signature de l'empreinte digitale ou gabarit de l'empreinte.

Au travers de l'étude des résultats, il est assez facile d'arriver à se rendre compte de la problématique importante de l'analyse et de la comparaison d'empreintes digitales. Encore aujourd'hui, il est assez difficile d'obtenir des algorithmes qui répondent à plusieurs problèmes simultanément, comme pour l'étude d'un graphe des minuties ou la comparaison d'empreintes, ou les problèmes de l'amélioration d'image captée.

De plus, la partie extraction de minuties a elle aussi son lot de problèmes, à savoir comment déterminer si une minutie détectée se révèle être ou non un faux positif.

Pour ce qui est des objectifs initiaux liés au projet, je pense qu'ils sont entièrement remplis, mais il ya lieu, cependant, d'approfondir cette méthode pour trouver le meilleur moyen d'éliminer les fausses minuties et d'effectuer, au mieux, l'appariement et la comparaison.

Au final, j'ai trouvé ce projet particulièrement intéressant puisqu'il m'a laissé la possibilité de monter en compétences sur de nouveaux sujets avec mes propres moyens en me documentant.

ENVIRONNEMENT MATLAB

1. MATLAB

MATLAB (MATrix LABoratory) est un logiciel de calcul scientifique dédié plus particulièrement aux application numérique. A l'origine, il a été conçu pour manipuler des données matricielles, ceux qui à fait de lui un outil majeur de l'analyse de données, du traitement du signal, du traitement d'image, de simulation numérique,...etc. Il possède son propre langage de programmation avec de nombreuses fonctions fournies.

2. Prise en main du logiciel Matlab

2.1. Lancement

Pour démarrer Matlab, il suffit de cliquer dans l'icône "Matlab" si vous êtes sous Windows, ou de taper la commande Matlab si vous êtes sous Unix



Ou bien, on clique sur l'icône MATLAB dans le menu démarrer.

L'interface utilisateur de MATLAB affiche les fenêtres suivantes :

a. Fenêtre de commande

Dans cette fenêtre, l'utilisateur donne les instructions et Matlab retourne les résultats. L'espace de travail de Matlab se présente alors sous la forme d'une fenêtre affichant un prompt ">>" à la suite duquel vous pouvez taper une commande qui sera exécutée après avoir tapé sur la touche "**return**".

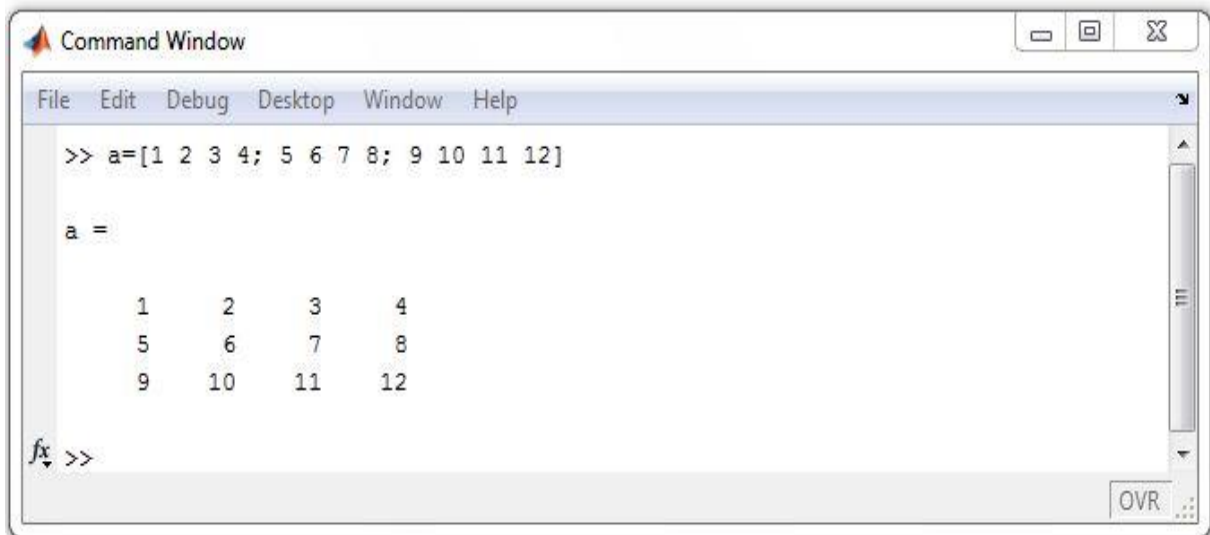
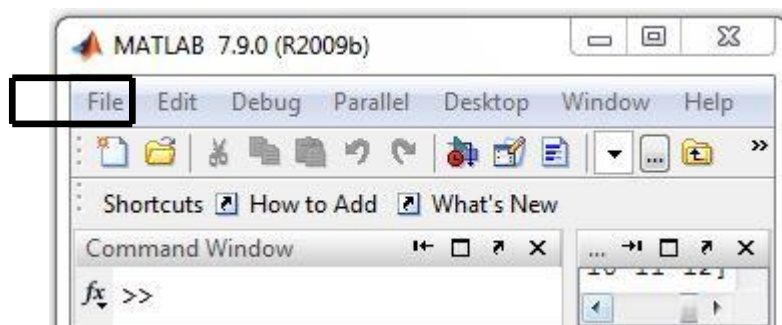


Fig.1 : fenêtre de commande

En haut de cette fenêtre se trouve une barre de menu qui vous permet d'ouvrir un fichier texte, de définir certaines variables de travail et surtout d'accéder à l'ensemble des fichiers d'aides.

b. Editor (Fichiers m)

Ce sont les programmes écrits par l'utilisateur en langage Matlab. Matlab exécute ligne par ligne un fichier 'm' (programme en langage Matlab).



On clique sur « **File** », dans le menu déroulant « **New** » \Rightarrow « **Blank M-File** ». Ceci fait apparaître une nouvelle fenêtre (« **Editor** ») dans laquelle on éditera le texte du programme.

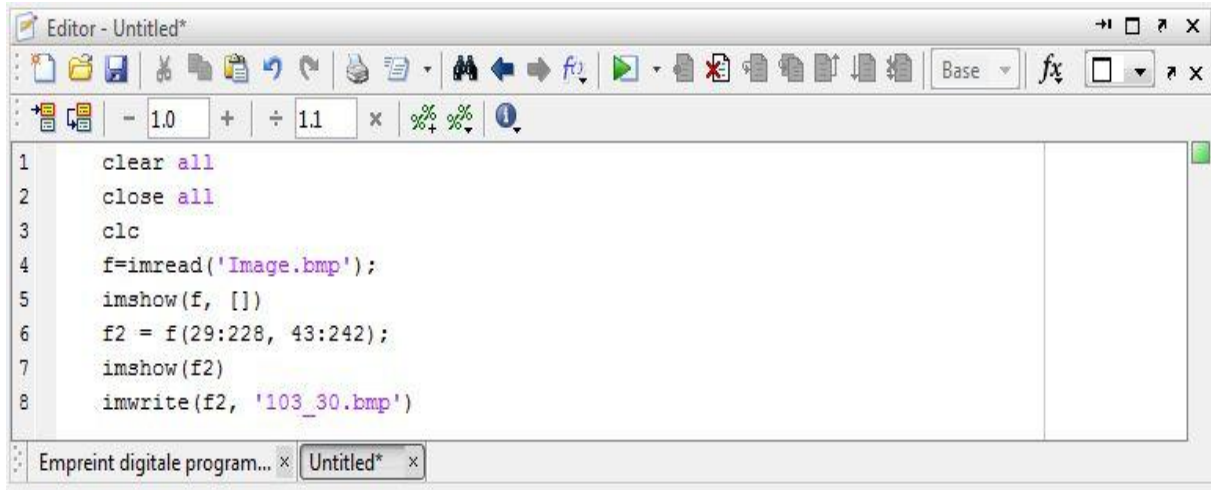


Fig.2 : fenêtre Editor

Il est important de s'habituer à la gestion des fichiers : il faut savoir dans quel dossier on range les fichiers pour pouvoir les retrouver, les modifier éventuellement et les exécuter par la suite.

Une fois qu'on a écrit un programme il faut le sauvegarder. On choisit par exemple : « **Save as** » et le nom du fichier qui doit nécessairement avoir l'extension « **.m** » :

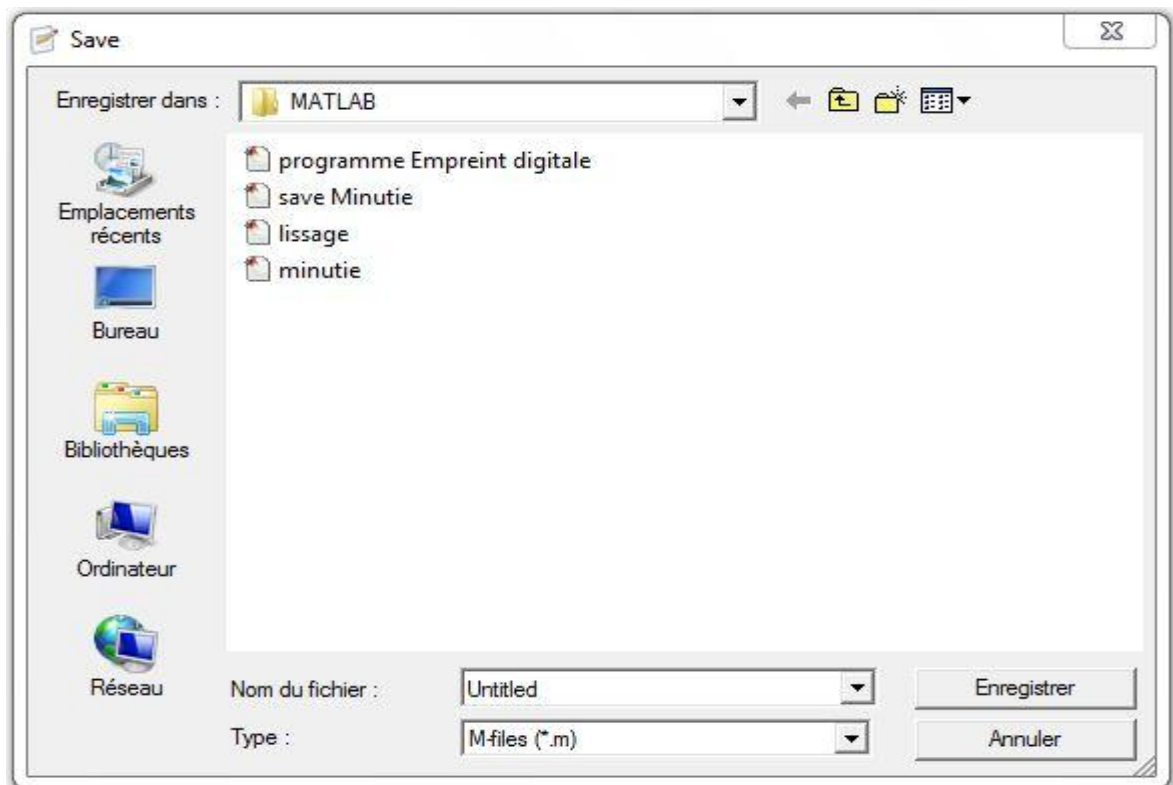


Fig.3 : fenêtre de sauvegarde d'un fichier dans le répertoire MATLAB
 Matlab reconnaitra par la suite cette extension lorsqu'on lui demandera l'exécution dans la fenêtre de commande.

c. Command history

Permet de voir toutes commandes exécutées dans la fenêtre de commande



Fig. 4: fenêtre commande History

d. Workspace

La zone de travail de MATLAB comprend l'ensemble de variables accumulées pendant une session de MATLAB et enregistrées dans la mémoire.

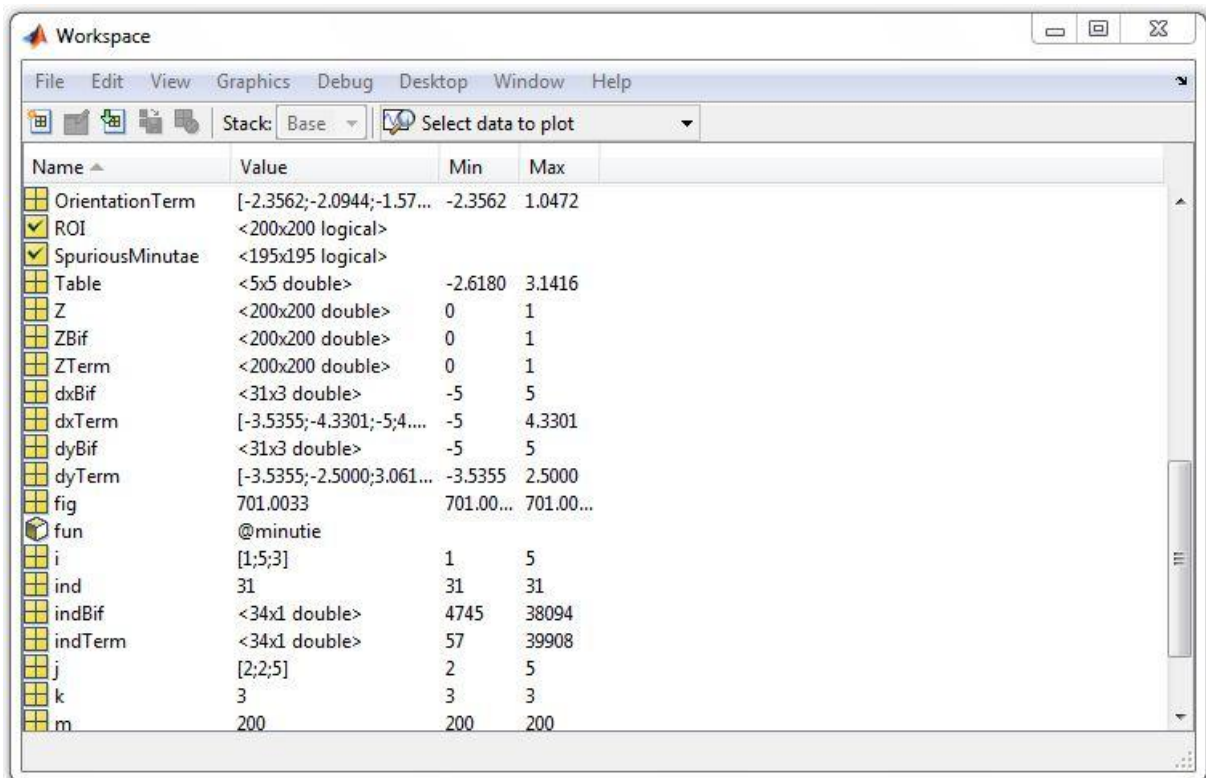


Fig .5: fenêtre workspace

e. Current Folder

Permet de voir tous les fichiers et dossiers qui se trouvent dans le répertoire de travail.

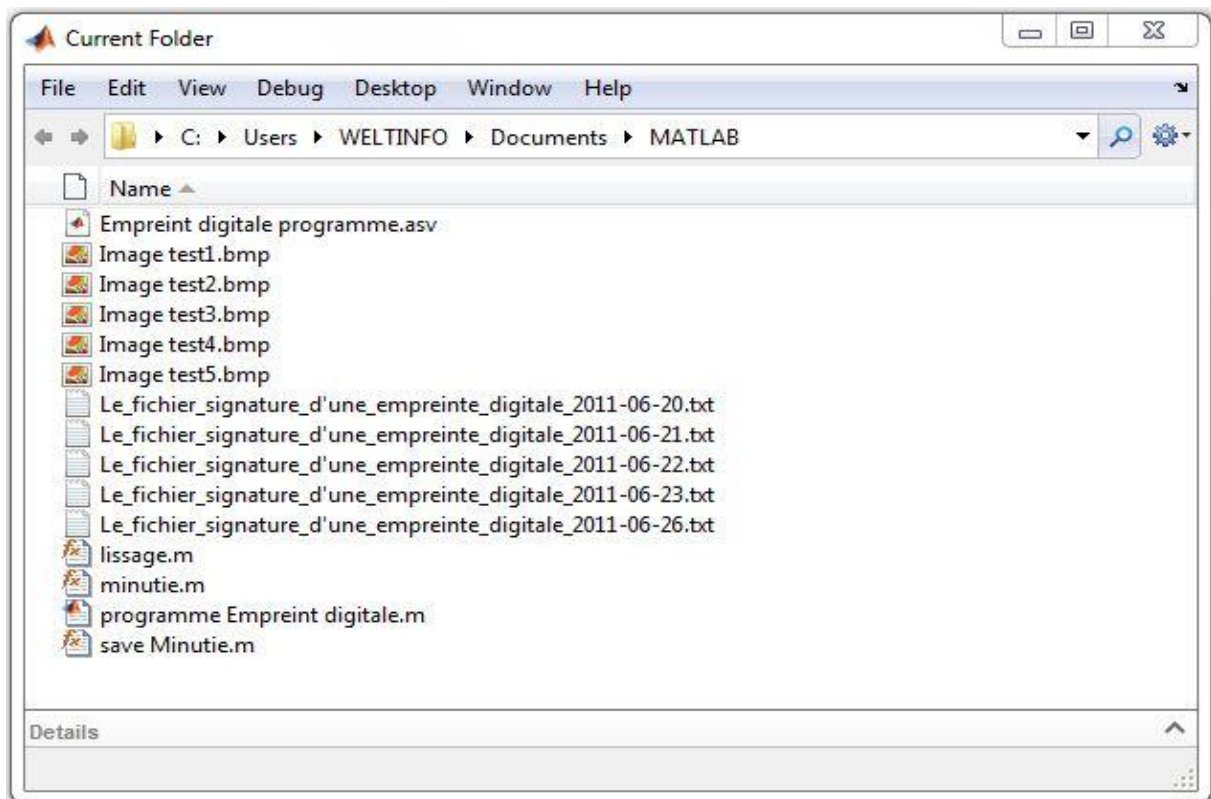


Fig .6: fenêtre Current Folder

f. Help

Permet d'obtenir de l'aide sur une commande.

- **help** : permet d'obtenir l'aide et donne une liste thématique ;
- **help nom de fonction** : donne la définition de la fonction désignée et des exemples d'utilisation ;
- **help elfun**
- **lookfor sujet** : donne une liste des rubriques de l'aide en relation avec le sujet indiqué

Soit en allant dans le menu **help** → **matlab help**, une fenêtre s'ouvre partagée en deux.

A gauche, on peut en cliquant sur signet supérieur, activer

- **Contents**
- **Search**
- **Index**
- **Demos**

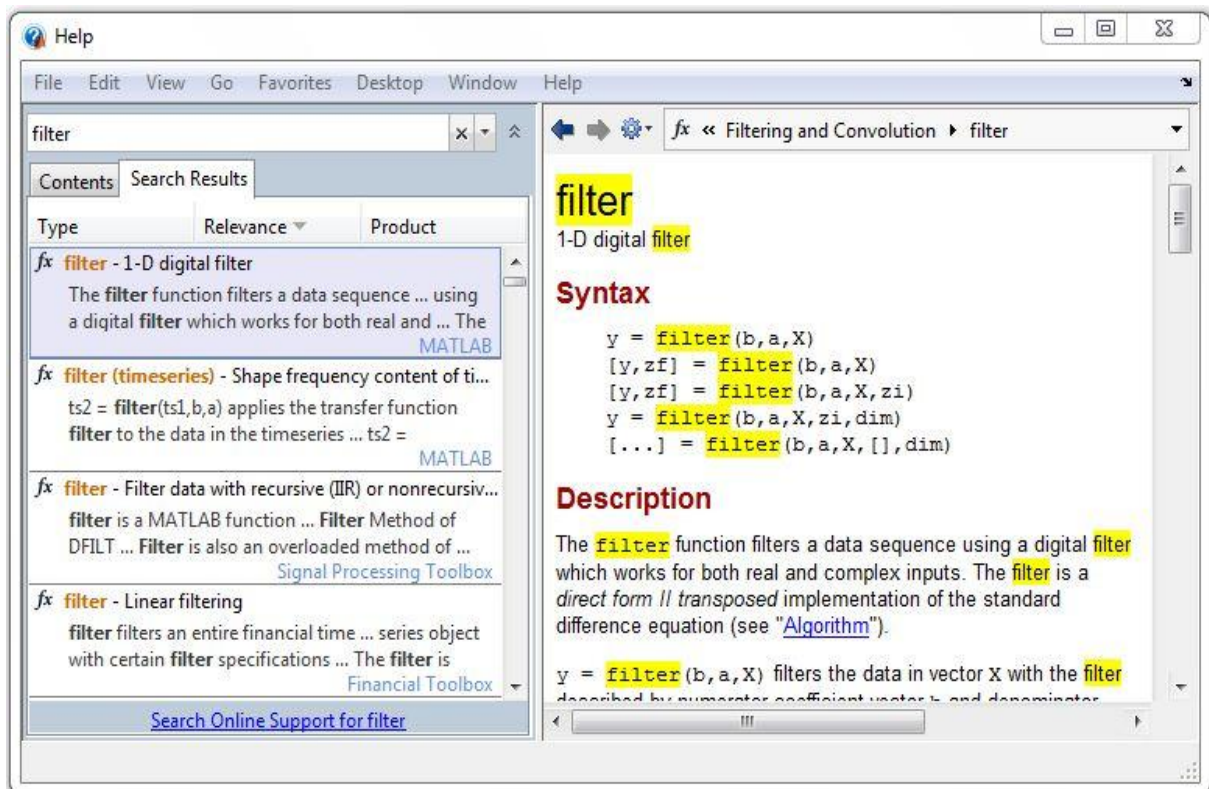


Fig .7: fenêtre help

3. *Toolboxes*

Cet environnement est complété par une bibliothèque de fonctions prédéfinies, très souvent sous forme de fichiers m-files, et regroupés en paquets ou **toolboxes**. A côté des toolboxes requises **local** et **matlab**, il est possible d'ajouter des toolboxes spécifiques à tel ou tel problème mathématique, *Optimization Toolbox*, *Signal Processing Toolbox* par exemple ou encore des toolboxes créées par l'utilisateur lui-même. Un système de chemin d'accès ou path permet de préciser la liste des répertoires dans lesquels MATLAB trouvera les différents fichiers m-files.

Bibliographie

- [1] **KADDOUR Chakib**, « Généralités sur le traitement d'images », 1999
URL: <http://iquebec.ifrance.com/kadchakib/chap1/chap1.htm>
- [2] **André MARION**, « Introduction aux techniques de traitement d'images »,
Edition : EYROLLES, Paris, 1987.
- [3] **Gérard MICHEL-DUTHEL**, « Images numériques & Formats graphiques», Edition : Compus press, Paris, 2000
- [4] **N.VANDENBROUCK 2000** : segmentation d'images couleur par classification de pixels dans des espaces d'attributs colorimétriques adaptés. Application à l'analyse d'image de football, thèse de doctorat, université de LILLE1, France.
- [5] **I.bloch, Y.gousseau**, : le traitement des images, photocopié du cour ANIM, Télécom-Paris, France.
- [6] **H.BENHIDOUR**, « Système de classification des chromosomes par réseau de neurones », diplôme d'ingénieur d'état en informatique, option : Systèmes Informatiques, INI, Promotion 2000-2001.
- [7] **Gaël JABOULAY**, « Format de fichiers d'images »,
URL : http://tecfa.unige.ch/tecfa/teachg/staf13/fiches-mm/format_fichier.htm
- [8] **Jean FRUITET**, « Outils et méthodes pour le traitement des images par ordinateur »,
URL: http://etudiant.univ-mev.fr/~fruitet/Trait_image/an_image.html
- [9] **Julien FAUQUEUR**, « Traitement et manipulation d'images », 2000-2001
URL: <http://www.rocq.inria.fr/~fauqueur/java/sujet/projet.html>
- [10] **Hanifi Majdoulayne 2009** : extraction de caractéristiques de texture pour la classification d'images satellites, thèse de doctorat, université de Toulouse, France.
- [11] **Nicolas Glay**, «étude d'un système complet de reconnaissance d'empreintes digitales pour un capteur microsysteme a balayage », thèse pour obtenir le grade de docteur, 14 avril 2005.

[17] **Arcelli C. and Baja G.S.D**, “A Width Independent Fast Thinning Algorithm,” IEEE Transaction on pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 4, no. 7, pp. 463-474, 1984.

[18] Jean-Nicolas des Pommare, «Analyse et reconnaissance d'empreintes Digitales », 21 mars 2009

Site Internet

[12] <http://www.biometrie-tpevh.blogspot.com>

[13] <http://www.biometricgroup.com>

[14] ST Microelectronics web site: <http://us.st.com/>

[15] Atmel web site: <http://www.atmel.com/atmel/products/>

[16] Sagem web site: <http://www.sagem.com>

[19] <http://bias.csr.unibo.it/fvc2004>