

Chapitre I : Introduction à la biométrie

1. Qu'est-ce que la biométrie ?

Est un ensemble des technologies (appelées les technologies biométriques) qui exploitent des caractéristiques humaines physiques ou comportementales telles que l'empreinte digitale, la signature, l'iris, le visage, la voix, la démarche, forme de la main pour différencier des personnes, pour l'identification ou l'authentification.

- Pour prouver l'identité de l'être humain, il existe 3 possibilités :

- * Ce que l'on possède (carte, badge, document) ;
- * Ce que l'on sait (un nom, un mot de passe) ;
- * Ce que l'on est (empreintes digitales, main, visage...)

2. Techniques biométriques

Il existe 3 types de techniques biométriques :

- * **Techniques d'analyses biologiques** : on trouve l'analyse de sang, de salive, d'urine, d'odeur ou d'ADN. Ces méthodes sont difficiles à mettre en œuvre pour une utilisation courante.
- * **Techniques d'analyses comportementales** : on analyse la dynamique de la signature qui vérifie la pression du stylo sur le support ainsi que sa vitesse de déplacement, et ses accélérations. On analyse aussi la façon d'utiliser le clavier (la pression exercée, la vitesse et force de frappe), la voix, la manière de marcher, le mouvement des bras, ...
- * **Techniques d'analyses morphologiques** : empreintes digitales, forme de la main, les traits du visage, l'iris, la rétine.

Elément analysé	Description	Avantages	Inconvénients
ADN	Analyse du patrimoine génétique.	L'ADN est facile à obtenir (cheveux, salive ...).	Coûteux et long.
Démarche	Identification des mouvements lors de la marche.	Transparente pour l'utilisateur.	Technique encore au stade expérimental.
Dessin des veines	Analyse des tracés des veines d'un doigt.	Fiable.	Technique encore au stade expérimental.
Empreinte digitale	Analyse de l'empreinte digitale (carte des minuties).	Technique éprouvée et rapide.	Des doigts sales ou abîmés peuvent affecter la lecture.
Empreinte palmaire	Analyse de la géométrie de la main.	Simple à utiliser.	Capteur encombrant et cher.
Empreinte thermographique	Cartographie thermique du visage.	Fiable et d'usage aisé.	Technique encore au stade expérimental.
Iris	Analyse du motif de l'iris.	Fiable.	Acquisition contraignante.
Rétine	Analyse de la cartographie des vaisseaux sanguins.	Fiable.	Acquisition contraignante.
Signature	Analyse de la pression et de la vitesse d'exécution.	Rapide.	Peu fiable.
Visage	Analyse morphologique du visage.	Usage aisé.	Doit tenir compte des changements tels une barbe ou des lunettes.
Voix	Analyse fréquentielle de la voix.	Technique simple et peu coûteuse.	La voix change facilement.

- On va montrer quelques systèmes (techniques) biométriques employée pour l'identification ou l'authentification en temps réel :

- * **Reconnaissance des empreintes digitales** : 50%. La plus ancienne et la plus répandue des technologies d'identification utilisée par la CIA depuis l'année 60.
- * **Reconnaissance faciale** : 15%. C'est la technologie qui monte un défaut qui n'empêche pas le succès de cette technologie : c'est pour l'instant la seule solution que l'on peut utiliser sans obtenir le consentement de la personne identifiée.
- * **Reconnaissance de la main** : 10%. Elle s'appuie sur une image en 3 dimensions. Cette technologie présente l'avantage d'être moins capricieuse que la reconnaissance d'empreintes digitales : la saleté et les petites coupures n'empêcheront pas le système de fonctionner.
- * **Reconnaissance de l'iris** : 6%. La technologie n'est pas encore suffisamment simple d'utilisation pour permettre le contrôle d'accès. Le nombre de problèmes rencontrés lors de mesure augmente proportionnellement avec la distance entre l'œil et la caméra, d'autres problèmes se posent à cause des reflets. Ainsi, il faut être très attentif à l'éclairage. Cette technique est assez délicate et très intrusive.
- * **Reconnaissance de la rétine** : elle est très peu utilisée et elle a été moins bien acceptée par le public à cause de la mesure qui doit s'effectuer à très faible distance du capteur. Cette technique se base sur le fait que le schéma et le dessin formés par les vaisseaux sanguins de la rétine sont uniques pour chaque personne et assez stables toute la vie.
- * **Reconnaissance vocale** : cette technique est très facilement falsifiable, en utilisant un enregistrement. La mesure biométrique de la voix traite des données qui proviennent à la fois de facteurs physiologiques dépendants de l'âge, du sexe, de la tonalité, de l'accent, et de facteurs comportementaux comme la vitesse et le rythme.
- * **Reconnaissance de la dynamique de signature** : dans ce système d'identification, l'utilisateur doit signer avec un stylo électronique sur une tablette graphique, le système analyse ensuite les variations de vitesse du stylo, ses accélérations et ses pressions sur la tablette. Le point faible de cette technique est qu'un individu qui ne signe pas toujours de la même façon se verra souvent refuser l'accès au système.
- * **Reconnaissance de la dynamique de la frappe au clavier** : dans cette technique les durées entre frappes, la fréquence des erreurs et la durée de la frappe elle-même sont étudiées de façon statistique. En revanche, cette technologie est tributaire de l'état physique et psychique de la personne qui utilise le clavier. La fatigue, le stress sont autant de facteurs qui feront varier la qualité de la frappe.

3. Architecture d'un système biométrique

Chaque système biométrique possède le même fonctionnement qui est composé de 3 étapes :

- Acquisition de l'image par un capteur ou une caméra, après on va la stocker
- Extraction des caractéristiques à partir de l'image
- La comparaison ou l'enregistrement de l'image dans la base de données

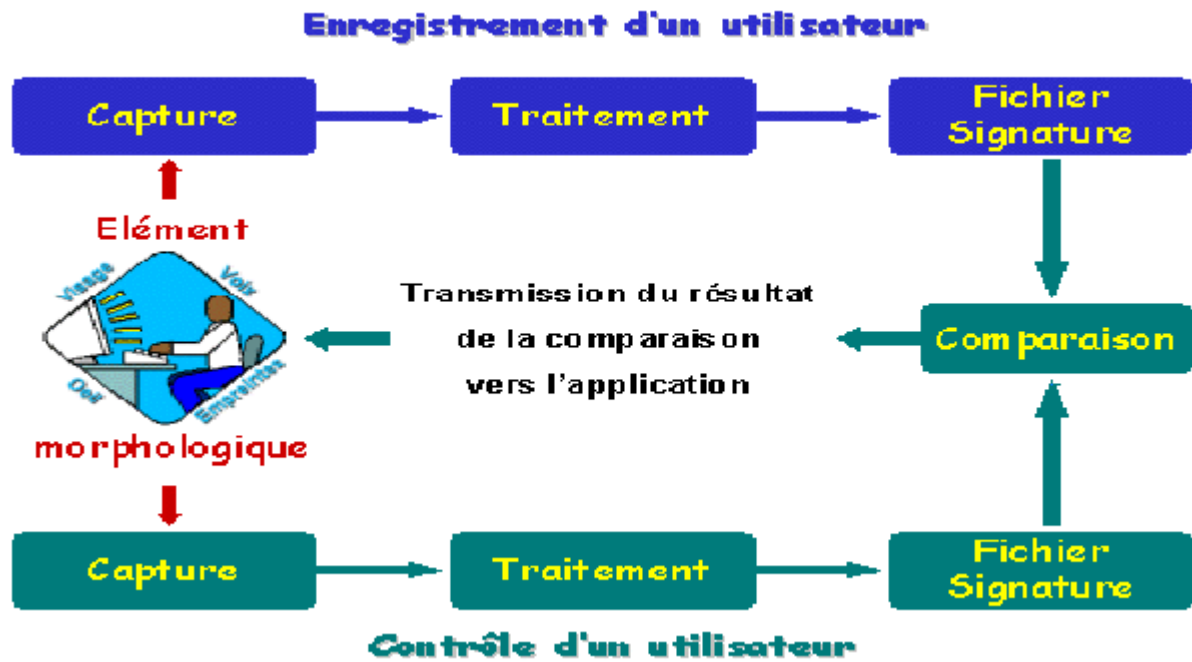


Figure : Les différents modules d'un système biométrique

3.1 Module de capture :

A chaque modalité biométrique est associé un mode de capteur. Ainsi, si on veut traiter la signature dynamique, on va utiliser une tablette à digitaliser ou une interface tactile.

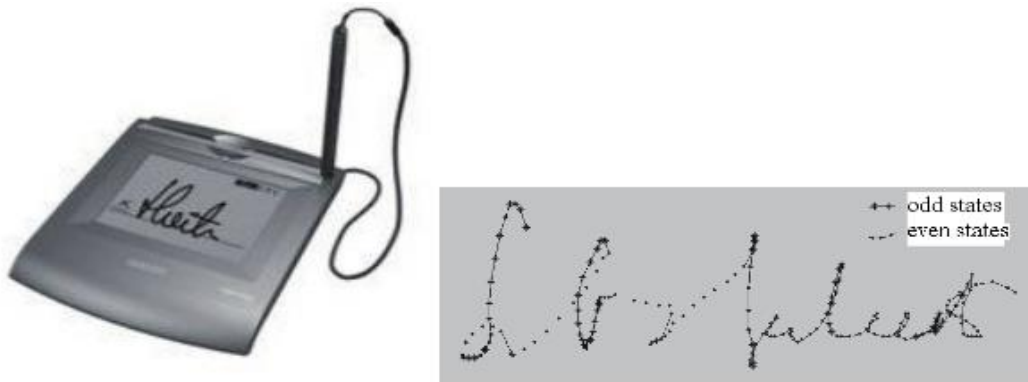


Figure : Acquisition de signatures dynamiques

Pour récupérer une image de l'œil afin de procéder à la vérification par l'iris, on utilise des capteurs infrarouges, placés relativement proche de l'œil et à une distance fixe, pour rendre la texture de l'iris bien visible.

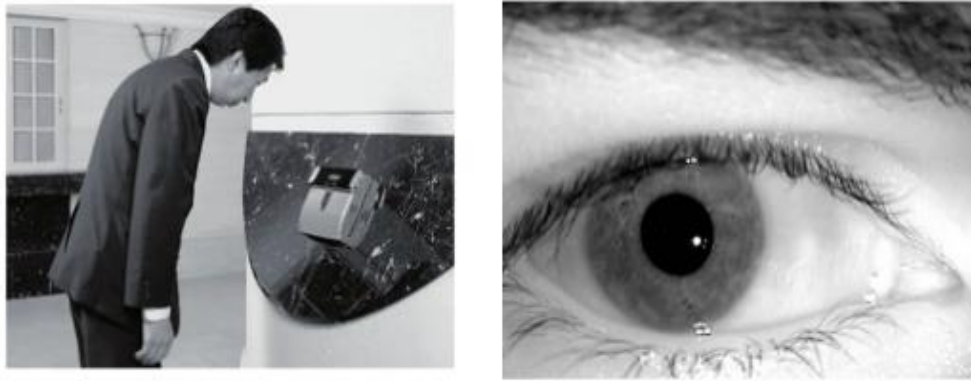


Figure : *Capteur d'iris et images résultantes*

Concernant les empreintes digitales, plusieurs types de capteurs sont présents sur le marché. Ils diffèrent par leur taille, leur technologie.

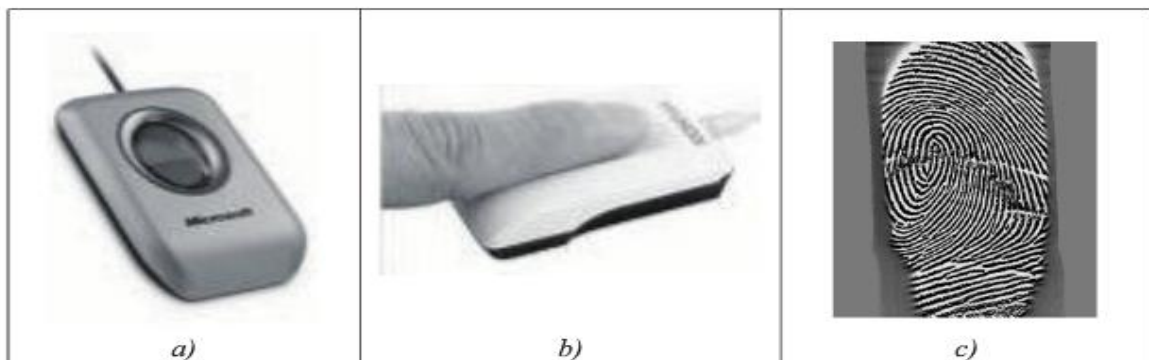
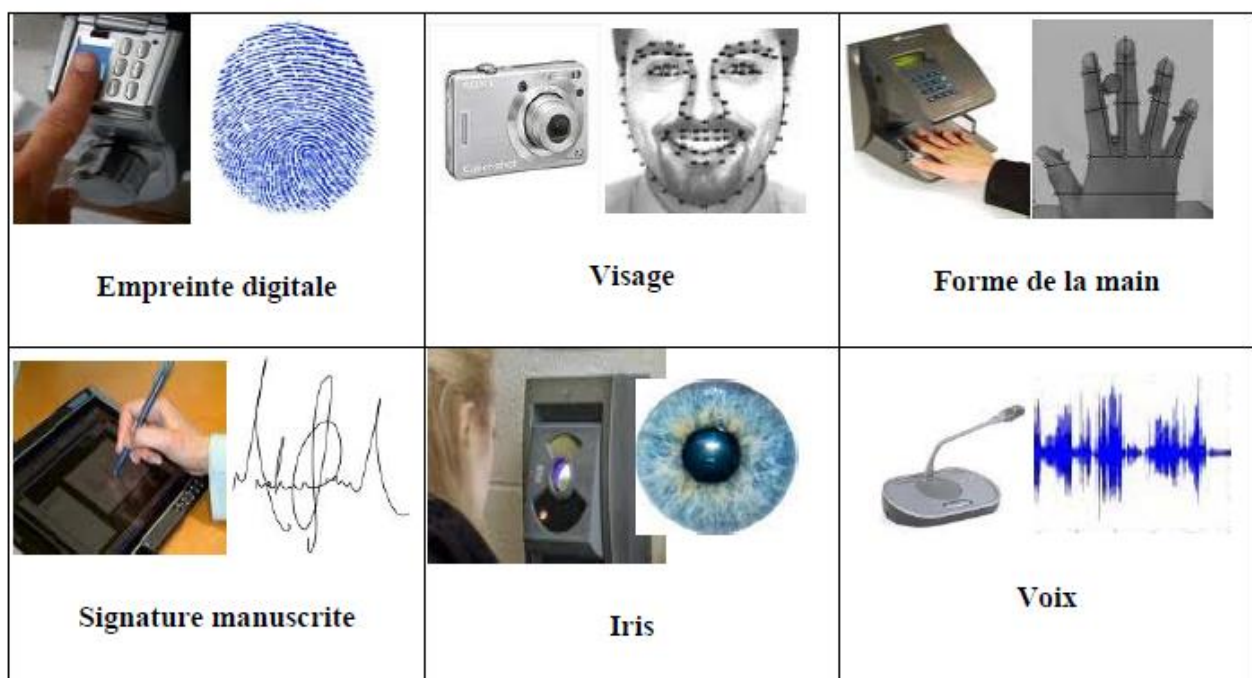


Figure : *Capteurs d'empreintes digitales (a, b) et signal correspondant (c)*



3.2 Le traitement (de l'image aux gabarits) :

La deuxième phase consiste à extraire de chaque image un ensemble de vecteurs de caractéristiques, appelé *gabarit* (*features*). L'objectif est d'obtenir une représentation comprimée de la forme considérée. La représentation peut correspondre à un ensemble des points bien choisis dans l'image (les minuties) dans le cas des empreintes digitales, ou à une simple suite de 0 et de 1 dans le cas de l'iris.



Figure : *A gauche, minuties extraites d'une image d'empreintes digitale.
A droite, code binaire d'iris*

3.3 Création d'une signature :

C'est de créer un modèle numérique afin de représenter la donnée biométrique acquise. Ce modèle, appelé aussi signature, sera conservé sur un support portable (puce ou autre) ou dans une base de données.

3.4 La comparaison :

La décision du système biométrique repose sur le résultat d'une comparaison entre une forme de référence et une forme de test. Pour cela, on utilise une mesure de similarité calculée comme une distance entre les 2 vecteurs de caractéristiques (gabarits) associés aux formes à comparer.

Comme mesures de similarité, on peut utiliser des distances entre vecteurs de taille identiques (par exemple : distances euclidiennes, de Mahalanobis, de Hamming, ...etc) ou des distances élastiques si les vecteurs à comparer n'ont pas la même taille, comme c'est le cas pour des signatures dynamiques ou des signaux de parole.

4. Modes de fonctionnement

Un système biométrique a deux modes d'opération :

- L'identification d'un individu où le système détermine qui est la personne dont les données biométriques sont fournies en entrée. Le système compare ces données biométriques à celles de tous les utilisateurs enregistrés dans le système et détermine l'identité de la personne proclamée.
- L'authentification (ou vérification), où l'identité de la personne est connue au préalable. Il s'agit de s'assurer que la personne authentifiée est bien celle qu'elle prétend être. Dans ce cas, les données biométriques fournies aux systèmes sont comparées uniquement avec celle de la personne proclamée.

En résumé, l'identification est la réponse à la question : qui est la personne possédant les données biométriques en entrée du système ? Tandis que, l'authentification est la réponse à la question : est-ce que cette personne est X ?

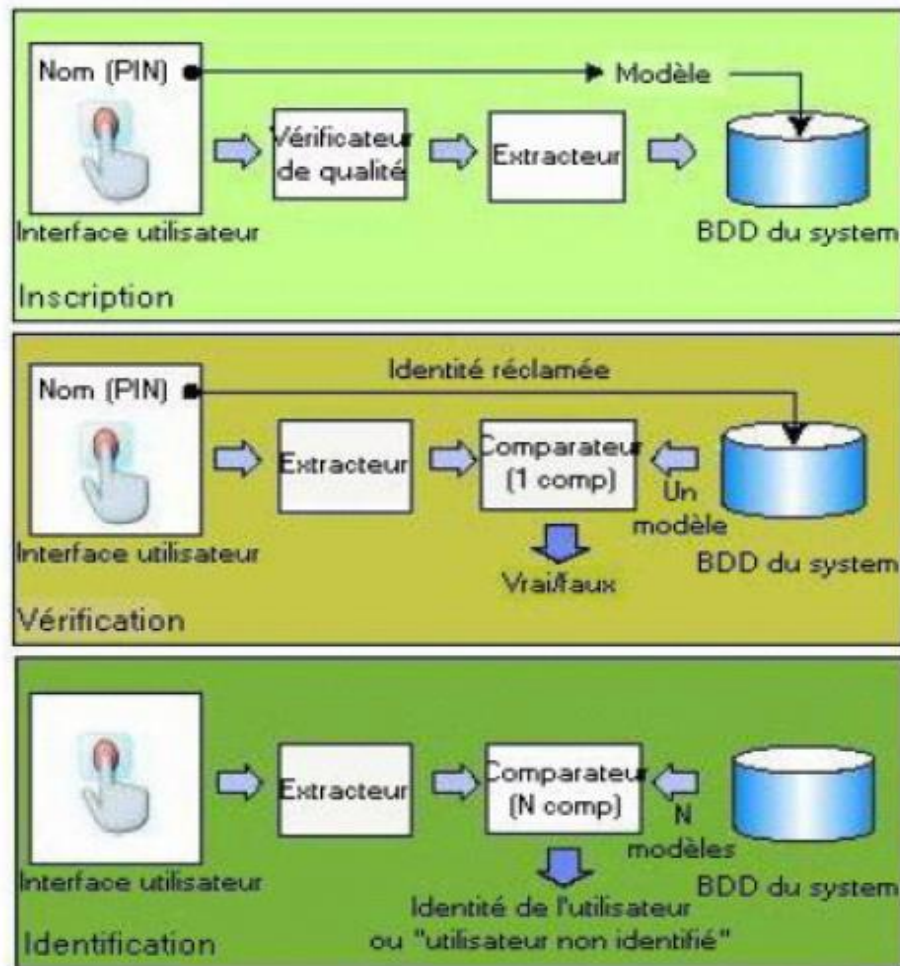


Figure : Structures de systèmes de vérification et d'identification

5. Performance du système biométrique

La performance d'un système biométrique peut se mesurer principalement à l'aide de 3 critères : *sa précision, son efficacité (temps exécution)* et *le volume de données* qui doit être stocké. Pour le premier aspect, la performance du système se mesure donc par 3 types de taux d'erreur :

TFA (FAR) : Taux de Faute d'Acceptation, tel que la confusion des caractéristiques biométriques de 2 personnes différentes pour être de la même personne.

TFR (FRR) : Taux de Faute de Rejet, tel que la confusion des caractéristiques biométriques de la même personne pour être de 2 personnes différentes.

TEE : Taux d'Egale Erreur, donne un point sur lequel : **TFA = TFR**

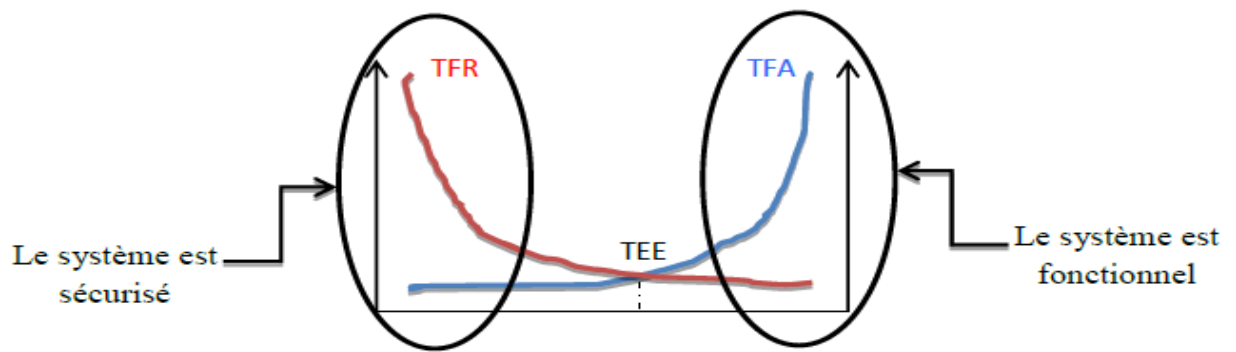


Figure 2 : Relation entre TFA et TFR

6. Comparaison entre les modalités biométriques

Chaque modalité présente des avantages et des inconvénients. Toutefois, le choix d'une modalité particulière dépend d'un certain nombre de paramètres comme : le type de l'application visée, le coût envisagé pour le système, les performances (précision) attendues du système, l'acceptation de la modalité par l'utilisateur, la simplicité d'utilisation, etc.

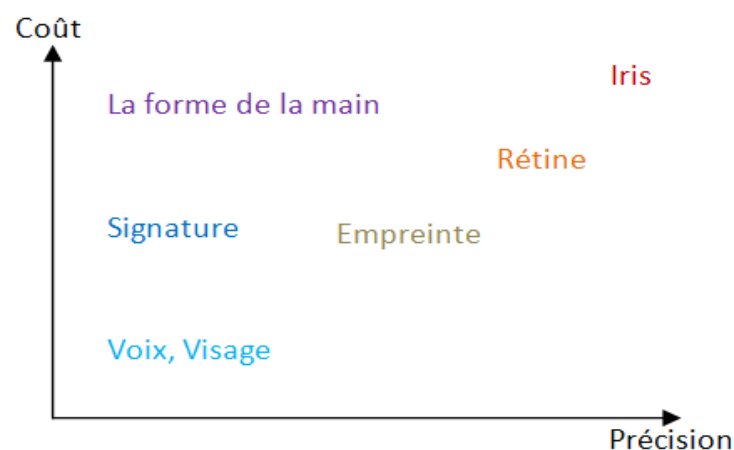


Figure : Classement des modalités biométriques selon le coût et la précision

Dans le tableau ci-après, en plus de la précision, les modalités sont comparées par rapport à leur simplicité d'utilisation et leur acceptation par l'utilisateur.

Type	Modalité	Précision	Simplicité d'utilisation	Acceptation par l'utilisateur
morphologique	Empreinte	haute	moyenne	basse
	Iris	haute	moyenne	moyenne
	Rétine	haute	basse	basse
	visage	basse	haute	haute
	Voix	moyenne	haute	haute
	Géométrie de la main	moyenne	haute	moyenne
comportementale	Frappe au clavier	basse	haute	moyenne
	Démarche	basse	moyenne	moyenne
	signature	moyenne	moyenne	haute

L'acceptation par l'utilisateur est liée à sa familiarisation avec la modalité. La signature par exemple est une pratique quotidienne, c'est pourquoi elle est la plus acceptée.

D'autre part, l'empreinte n'est pas acceptée car les gens pensent qu'elle est toujours liée aux criminels et refusent ainsi de donner leur empreinte. Pour la rétine, les gens hésitent à l'utiliser à cause du laser qui traverse l'œil et qui peut causer des problèmes de santé.

7. Vulnérabilité des systèmes biométriques

Chaque type de système biométrique a ses propres vulnérabilités potentielles qui doivent être prises en considération lors de l'analyse de vulnérabilité. La figure ci-dessous illustre le flux d'information générale dans un système biométrique et identifie les points d'attaque potentiels.

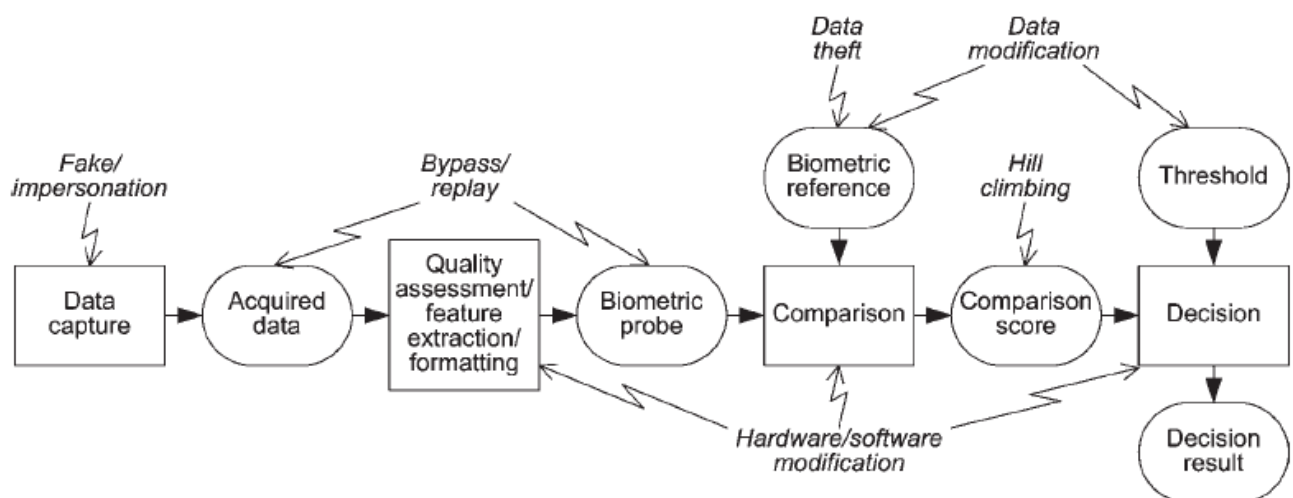


Figure : exemples des points d'attaque dans un système biométrique

8. Applications de la biométrie

On distinguera 5 groupes importants d'utilisation de différentes techniques biométriques :

- a) **Service public** : utilisée surtout pour le contrôle automatique des entrées et sorties d'un territoire, le contrôle des flux d'immigrations, dans les aéroports, les cartes d'identité nationales, les permis de conduire, la sécurité sociale, le contrôle des passeports, le déboursement des allocations, la gestion des dossiers médicaux. On notera surtout l'utilisation de techniques telles que : l'iris, l'empreinte digitale, les traits de visage.
- b) **Application de la loi** : la biométrie permet de faciliter certaines opérations comme l'authentification d'identité de criminels par reconnaissance automatique de leurs empreintes. On trouve aussi le suivi des prisonniers à domicile assuré par des systèmes de vérification de la voix dans certains états des Etats Unis.
- c) **Transaction commerciale et bancaire** : utilisé aussi dans des opérations de commerce électronique visant à renforcer l'achat d'un bien ou d'un service, distributeurs automatiques d'argent, les cartes de crédit.
- d) **Accès physique et logique** : on parle de contrôle d'accès physique lorsqu'on cherche à sécuriser l'accès à un lieu (entrée d'un bâtiment), alors que le contrôle d'accès logique concerne l'accès informatique à un terminal, serveur, l'accès à Internet, réseau informatique ou de télécommunication (ex : ordinateur, téléphone mobile, flash disque, base de données privée).
- e) **Les applications de la médecine légale** : telles que l'identification des corps, l'investigation criminelle, l'identification terroriste, la détermination de parentalité et la disparition des enfants.

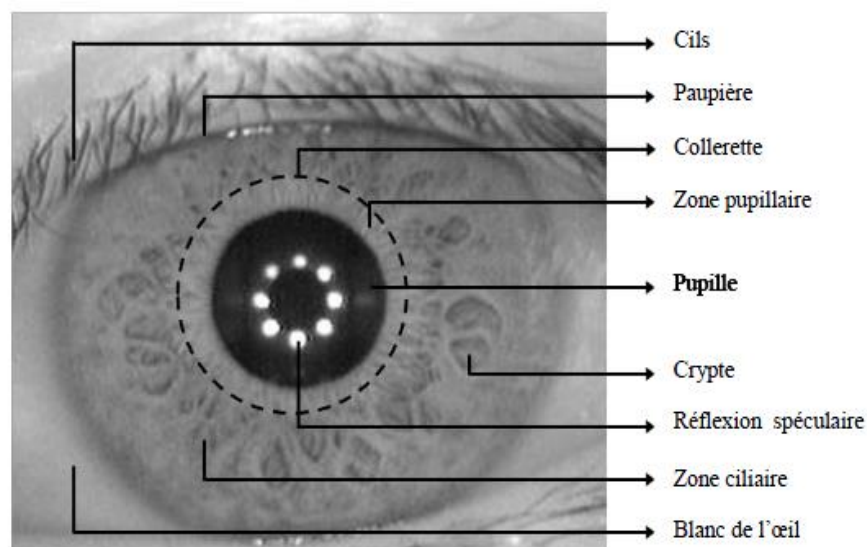
Chapitre II : Introduction à la biométrie de l'iris

1. Systèmes biométriques par iris

1.1 Généralité

L'utilisation de l'iris pour l'identification d'une personne a été proposée à l'origine en 1936 par l'ophtalmologue *Frank Burch*. Dans les années 1980, l'idée réapparut à travers certaines productions cinématographiques. En 1987, les deux ophtalmologistes (*Aran Safir* et *Leonard Flom*) et un universitaire (*John Daugman*) ont fait breveter cette idée et en 1989 ils ont demandé à *John Daugman* d'essayer de créer des algorithmes pour l'identification par l'iris. Ces algorithmes basés sur la méthode des ondes de Gabo ont été brevetés par *Daugman* en 1994 et c'est la même année que le produit de ces recherches est commercialisé avec l'apparition sur le marché du premier lecteur d'iris.

L'iris est une membrane colorée visible de l'extérieur, située entre le blanc de l'œil et la pupille, il est composé d'une multitude de tubes très fins qui s'entrecroisent, procurant à l'iris une forme particulière et unique qui ne varie que très peu au cours d'une vie.



1.2 Acquisition de l'iris

La capture de l'iris se fait à l'aide d'une caméra qui va dans un premier temps positionner l'iris par rapport à l'ensemble de l'œil. Ensuite, elle scanne l'image de l'iris pour en analyser les points caractéristiques (analyse notamment la position, la longueur et le relief des tubes qui composent l'iris). L'image est captée en noir et blanc et la couleur de l'œil n'est pas prise en compte dans l'analyse, ce qui annule les biais causés par les changements de couleur de l'iris chez certaines personnes.

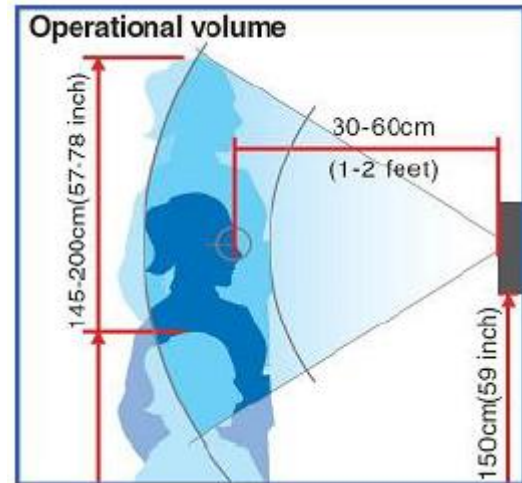


Figure : la position que doit avoir le capteur par rapport à la personne

Certains cas de fraudeurs utilisant des photographies d'iris pour déjouer la caméra ont été relevés. Pour enrayer le problème, il est répandu sur le marché que les dispositifs d'*iris-scan* soient doublés d'une fonction visant à authentifier la validité d'un œil humain. Ainsi, en plus de scanner l'iris, la caméra envoie une lumière et analyse la réaction de dilatation et de rétraction de la pupille.



- Si on adopte un dispositif d'illumination en lumière visible sans condition particulière, on constatera qu'avec l'image acquise aucun traitement de reconnaissance n'est possible.

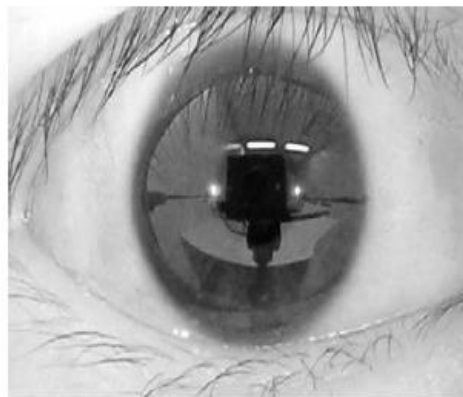


Figure : Image acquise en lumière visible conditions normales d'acquisition

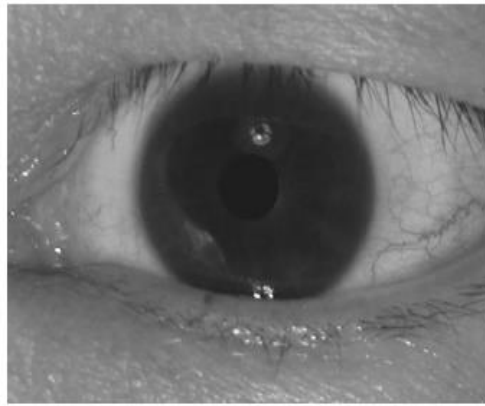


Figure : Image acquise en lumière visible avec l'utilisation d'un flash et d'une lampe de bureau

Pour pallier à tous ces problèmes, les industriels de la reconnaissance par l'iris ont opté pour l'utilisation d'une ou plusieurs sources infrarouge comme illumination puissante. En effet, l'infrarouge possède 2 avantages majeurs sur la lumière visible :
En premier lieu, sa longueur d'onde fait de lui un faisceau invisible à l'œil humain, et en second lieu, l'infrarouge possède un pouvoir de pénétration sur la cornée largement plus grand que celui de la lumière visible ainsi de récupérer une richesse de texture de l'iris surtout ceux de couleur sombre.

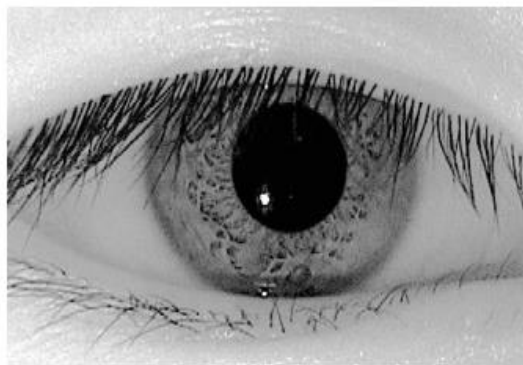


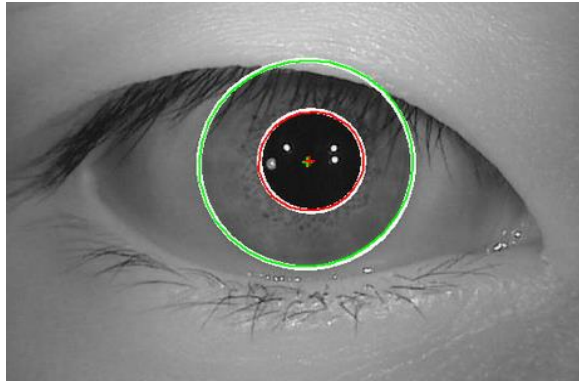
Figure : Image acquise en infrarouge

1.3 Architecture d'un système d'iris

Une fois l'image de l'iris acquise, un système d'iris peut être composé de plusieurs modules comprenant :

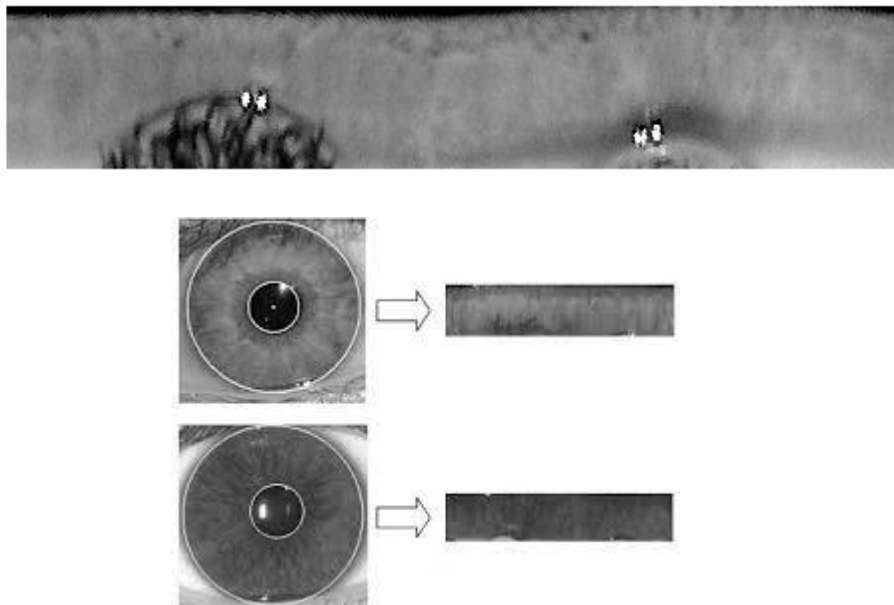
1.3.1 La segmentation de l'iris

L'image de l'œil qui est acquise ne comporte pas uniquement l'information de l'iris. Il est alors nécessaire de segmenter et isoler cette information du reste de l'image. Ce qui revient à isoler l'iris du blanc de l'œil et des paupières, ainsi qu'à détecter la pupille à l'intérieur du disque de l'iris et déterminer le centre de la pupille.



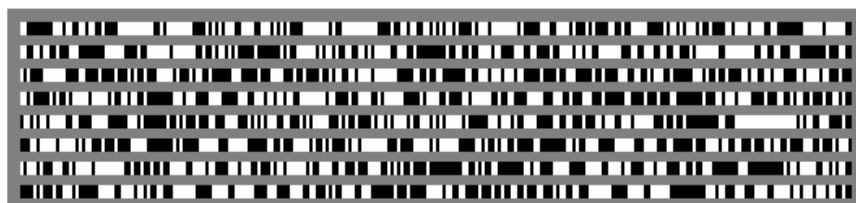
1.3.2 La normalisation de l'iris

L'iris segmenté peut être un iris complet ou une fraction d'iris, de petite taille ou de grande taille, qui veut dire que la taille du disque de l'iris n'est pas toujours constante. La normalisation est une opération qui garantit la même dimensionnalité de tous les iris, elle consiste à transformer le disque irrégulier de l'iris en une image rectangulaire de taille constante. Il y a deux approches principales pour la normalisation de l'iris, normalisation dans *l'espace cartésien* ou normalisation dans *l'espace polaire*.



1.3.3 L'encodage (extraction du gabarit)

Cette étape consiste à extraire de l'iris les caractéristiques les plus discriminantes et les plus pertinentes, nécessaires et utiles pour son identification. Des filtres de type passe-bande, des ondelettes, et d'autres outils peuvent ainsi être utilisés. Le résultat obtenu peut être gardé dans des valeurs réelles ou peut être quantifié en valeurs discrètes. Le processus de l'encodage de l'iris résulte finalement en un profil d'iris représentant sa signature. Ce profil est unique pour chaque iris, insensible aux variations de dimensions ou aux rotations créées lors de l'acquisition de l'iris et sera utilisé ensuite pour sa mise en correspondance.



1.3.4 La mise en correspondance

Cette dernière étape consiste à comparer les gabarits d'iris entre eux pour la prise de décision. Si la mesure de similarité $S(A,B)$ entre deux gabarits A et B d'iris comparés est inférieure à un certain seuil, cela signifie que les deux gabarits comparés appartiennent au même iris. Le cas contraire survient quand les deux gabarits comparés appartiennent à des iris différents.

si $S(A,B) \leq T$, A et B correspondent au même iris
si $S(A,B) > T$, A et B correspondent à deux iris différents

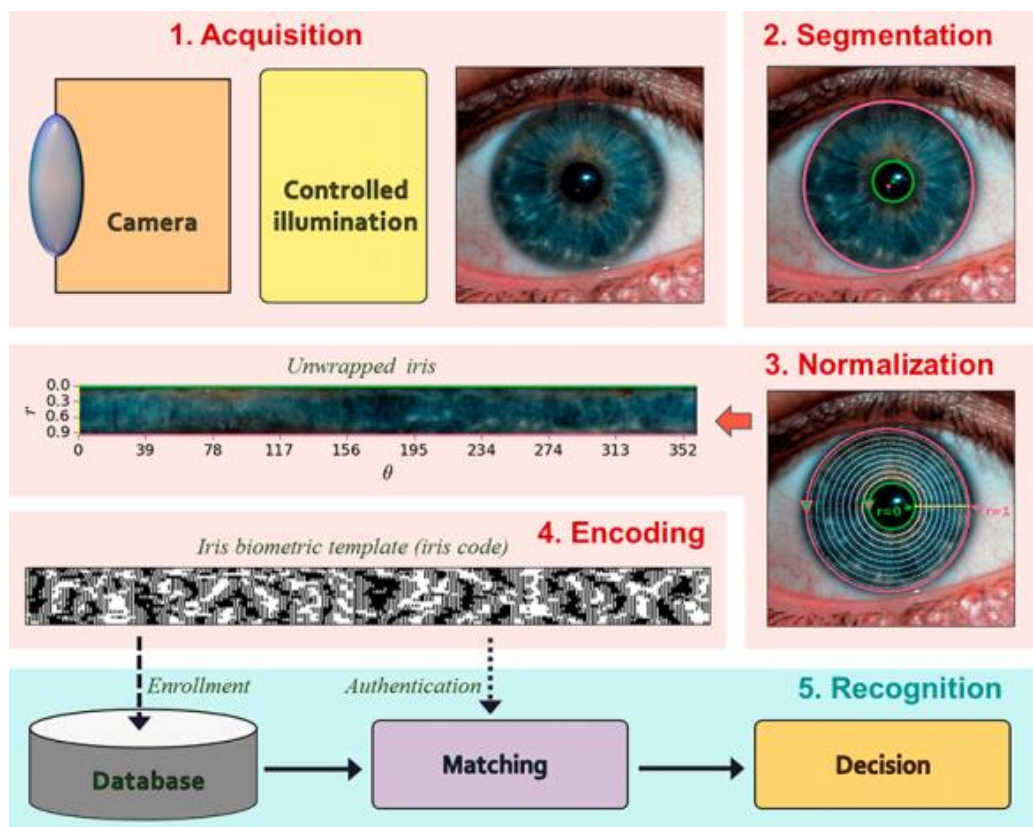
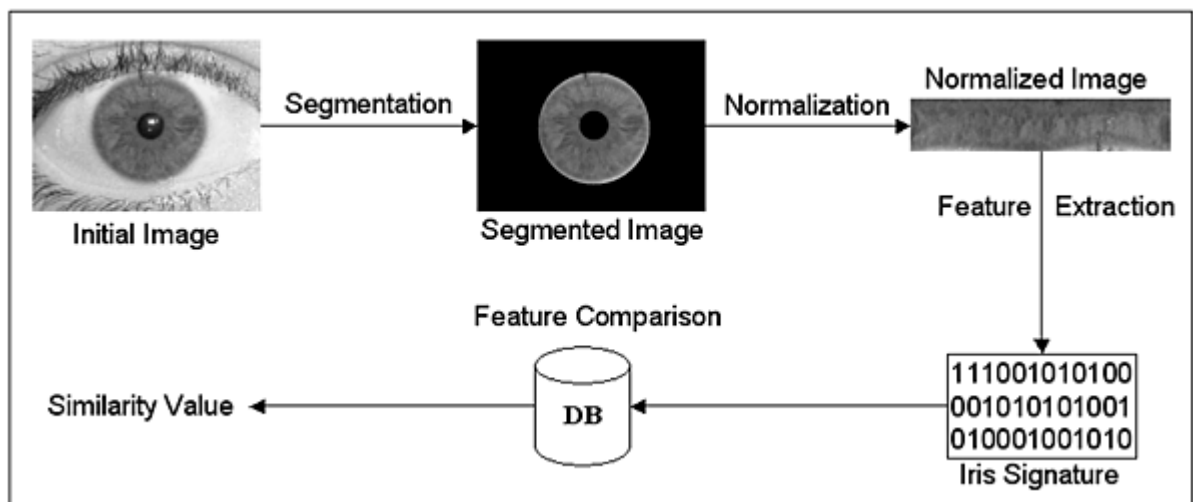


Figure : Diagramme des différentes étapes d'un système de reconnaissance d'iris.

2. Méthodes de reconnaissance par l'iris

2.1 La méthode Daugman

2.1.1 Normalisation de l'iris : méthode pseudo-polaire

Daugman segmente l'iris en approximant ses frontières par des contours circulaires en utilisant l'opérateur intégral-différentiel. L'iris est défini par le disque limité par le cercle approximant la pupille et le cercle approximant la frontière extérieure de l'iris. Les cils et les paupières qui couvrent cette région sont également exclus.

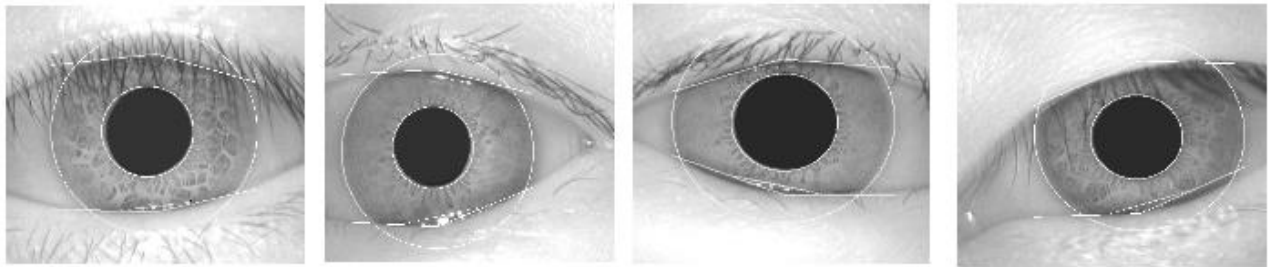


Figure 1. Résultats de la segmentation des images d'iris présentant différents contrastes, formes, bruits ...

A cause de la variabilité de la surface de l'iris, *Daugman* propose de transformer tout iris segmenté en un modèle de taille fixe. Il choisit de convertir l'image de l'iris segmenté qui se trouve dans un repère cartésien vers un repère polaire défini par (r, θ) . Dans le nouveau repère, l'iris est échantillonné pour avoir une forme rectangulaire comme l'indique la figure suivante :

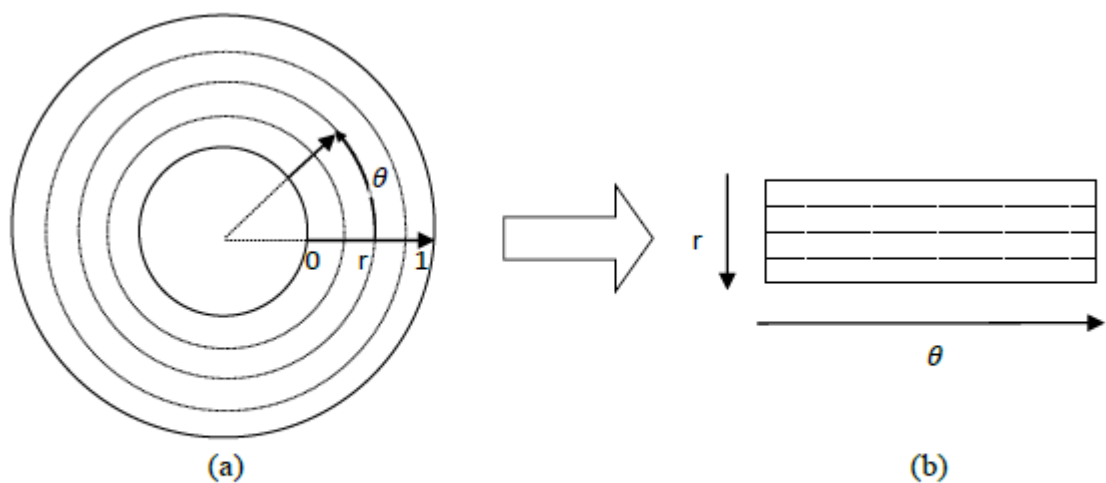


Fig. 2 : Modèle de normalisation de Daugman ; l'image de l'iris segmenté (a) est projetée vers un repère polaire défini par (r, θ) pour avoir une forme rectangulaire (b).

- Des cercles ayant un rayon r , qui varie entre le rayon de la frontière interne et celui de la frontière externe de l'iris sont utilisés afin de choisir, selon la résolution angulaire, un certain nombre d'échantillons sur chaque cercle (figure (b)). Le nombre de cercle utilisé pour l'échantillonnage est défini par la résolution radiale. Les résolutions radiale et angulaire déterminent la taille de l'iris normalisé (généralement la taille choisie est de 80×512 pixels).

- Si on suppose que l'intensité de l'image de l'iris segmenté dans le repère cartésien initial est donnée en chaque pixel (x,y) par $I_c(x,y)$, l'intensité de l'image correspondante normalisée dans le repère polaire, $I_p(r,\theta)$, sera donnée par les équations suivantes :

$$I_p(r,\theta) = I_c(x(r,\theta), y(r,\theta))$$

$$x(r,\theta) = (1-r)x_i(\theta) + rx_e(\theta)$$

$$y(r,\theta) = (1-r)y_i(\theta) + ry_e(\theta)$$

Où $\{(x_i(\theta), y_i(\theta))\}$ et $\{(x_e(\theta), y_e(\theta))\}$ sont les coordonnées des cercles approximant les frontières interne et externe de l'iris respectivement à un angle θ variant entre 0 et 2π ; r est le rayon du cercle de l'échantillonnage, il varie entre 0 et 1.

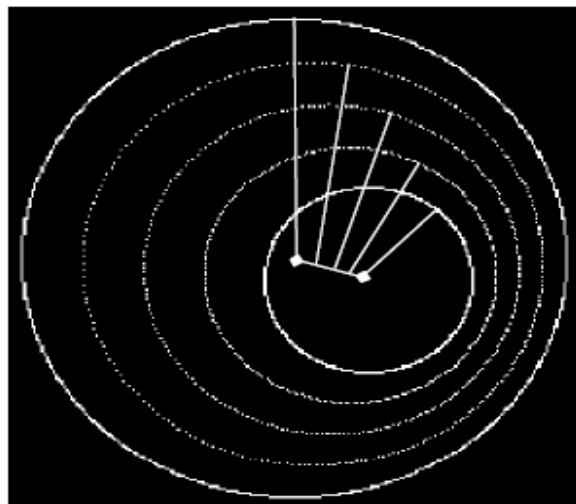


Fig. : Cercles d'échantillonnage de l'iris selon la méthode de normalisation de Daugman. Les deux losanges dans l'image désignent les centres des deux contours circulaires (tirets complets en blanc) approximant la frontière interne et de la frontière externe de l'iris respectivement (l'écart entre ces deux centres est exagéré afin clarifier la schématisation); les cercles marqués par des tirets pointillés représentent les cercles d'échantillonnage intermédiaires; le segment liant les deux losanges définit la position occupée par les centres des cercles d'échantillonnage.

- Pour l'identification des zones de bruit de l'iris, une matrice rectangulaire, appelée "masque", ayant les mêmes dimensions de l'iris normalisé est créé. Ce masque est une matrice binaire qui est nulle partout sauf dans les régions identifiées par la segmentation comme étant du bruit. La figure suivante représente une image d'iris segmentée, sa normalisation et le masque de bruit correspondant.

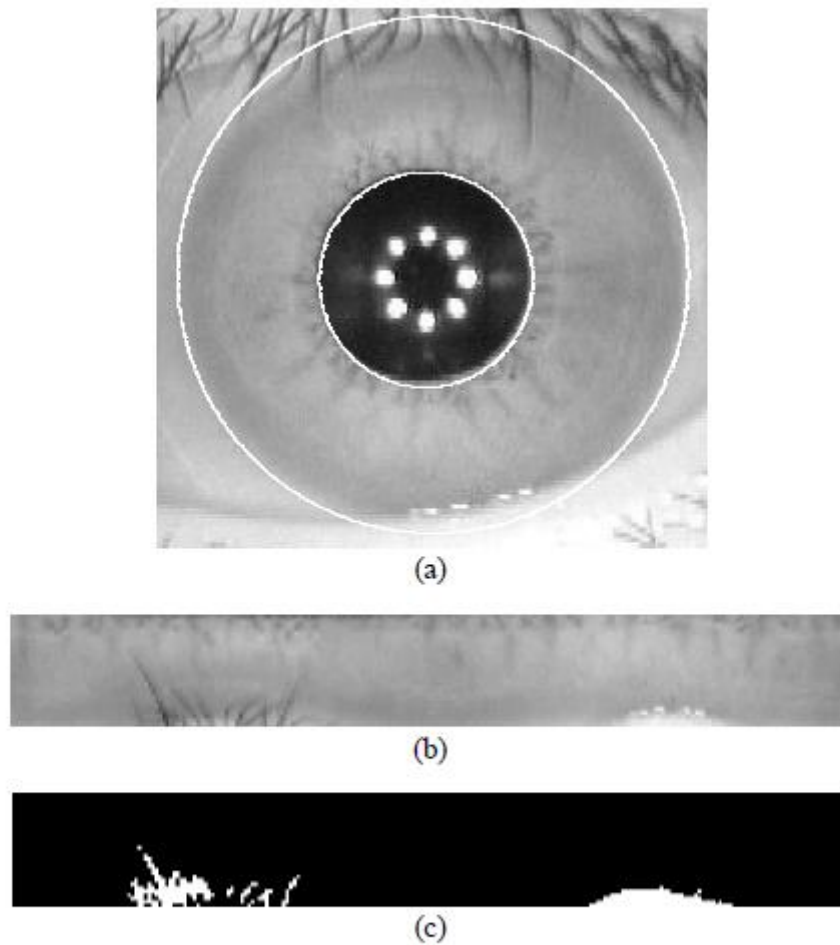


Fig. : Normalisation de Daugman d'un iris segmenté ; la figure (a) représente les deux cercles qui approximent les deux frontières de l'iris ; la figure (b) est l'iris normalisé; la figure (c) représente le masque de bruit associé ; les pixels en blanc dans ce masque indiquent des zones de bruit.

2.1.2 Extraction des caractéristiques : utilisation du filtre de Gabor

L'information biométrique de l'iris réside dans sa texture. Comme une texture est considérée comme contenue dans une gamme étroite de fréquences et d'orientations, elle peut être détectée en appliquant plusieurs filtres passe-bande réglés sur différentes fréquences et orientations. Les filtres de Gabor qui sont des filtres orientés sont donc indiqués pour ce type d'analyse.

Leur forme est donnée par l'équation ci-dessous :

$$\int \int_{\rho \phi} e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} e^{-(r_0 - \rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} I(\rho, \phi) \rho d\rho d\phi$$

Où $I(\rho, \phi)$ représente l'image en coordonnées polaires. α et β les paramètres des dimensions de la fenêtre d'analyse de Gabor, ω la fréquence de l'ondelette de Gabor. Enfin r_0 et θ_0 représentent les coordonnées des points d'analyse de l'ondelette de Gabor.

L'opération de codage consiste à assigner 1 au code si le coefficient est positif et 0 si le coefficient de Gabor est négatif. Cette opération est réitérée plusieurs fois, autour de plusieurs points d'analyse, suivant plusieurs résolutions et orientations des filtres de Gabor jusqu'à ce que l'on obtienne un code de taille 256 octets ou 2048 bits.

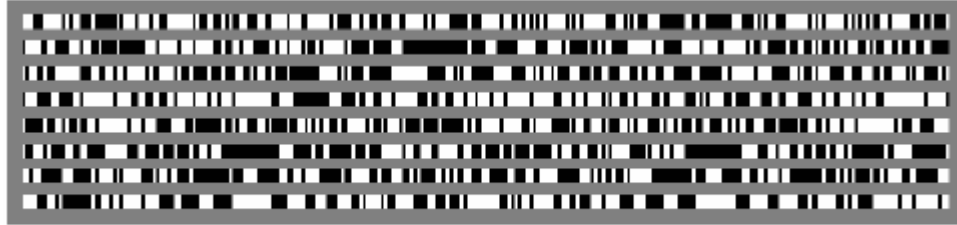


Figure : Exemples d'iriscode générés par la méthode Daugman

2.1.3 Calcul de Score : la distance de Hamming

La comparaison de deux iris revient à comparer leurs vecteurs signature au moyen du calcul de la distance de Hamming qui est donnée par la formule suivante :

$$HD_{\text{raw}} = \frac{\|(\text{codeA} \otimes \text{codeB}) \cap \text{maskA} \cap \text{maskB}\|}{\|\text{maskA} \cap \text{maskB}\|}.$$

Où codeA et codeB sont deux codes calculés à partir de deux images d'iris par le procédé précédemment décrit et maskA et maskB représentent leurs masques associés.

Plus la distance de Hamming est faible, plus les deux codes se ressemblent. Une distance 0 correspond à une parfaite correspondance entre les deux images alors que deux images de personnes différentes auront une distance de Hamming proche de 0.5.

Daugman propose alors une méthode de normalisation de la distance de Hamming pour tenir compte du nombre de bits qui interviennent dans le calcul de la distance. La nouvelle distance de Hamming normalisée est alors calculée selon la formule suivante :

$$HD_{\text{norm}} = 0.5 - (0.5 - HD_{\text{raw}}) \sqrt{\frac{n}{911}}.$$

Où n représente le nombre de bits valides, HD_{raw} la distance de Hamming précédemment définie.

2.2 La méthode Wildes

Wildes a été le premier et l'unique jusqu'à ce jour à proposer une méthode alternative et complètement différente de celle de *Daugman*. Les différences se situent dans toutes les phases de traitement incluant : la capture de l'iris, la segmentation, la normalisation et la reconnaissance.

2.2.1 La segmentation

En segmentation, *Wildes* a été le premier à implémenter la transformée de Hough pour détecter l'iris avec des contours circulaire et elliptique. La transformée de Hough est une technique bien connue pour sa capacité de détecter les formes géométriques simples dans une image telle que les lignes, les cercles, etc.

En considérant les images d'iris, *Wildes* constate que la frontière externe de l'iris peut être dans la plupart des images couverte (partiellement) par les paupières (supérieures ou inférieures) ce qui n'est pas le cas de la frontière interne. Sachant que les paupières sont habituellement horizontalement alignées, une image de contour calculée par un gradient horizontal favoriserait la détection des paupières. Alors qu'une image de contour calculée par un gradient vertical favoriserait la détection de la frontière externe de l'iris comme le montre la figure suivante :

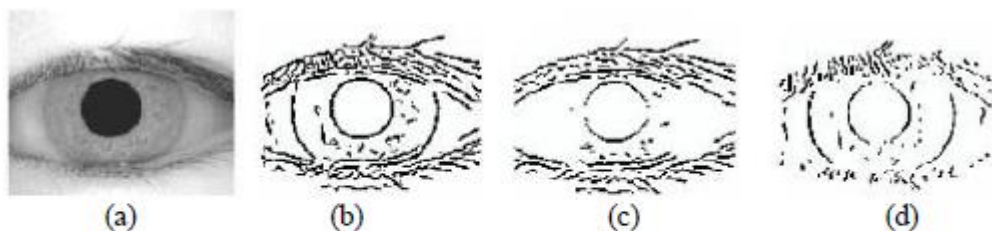


Fig. : (a) Image de l'iris ; (b) image de contour créée par un gradient horizontal et vertical ; (c) image de contour créée par un gradient horizontal uniquement ; (d) image de contour créée par un gradient vertical uniquement.

Pour cette raison *Wildes* applique la transformée de Hough sur une image de contour issue d'un gradient vertical pour la détection de la frontière externe et sur une image de contour issue d'un gradient vertical et horizontal pour la détection de la frontière interne, et sur une image de contour issue d'un gradient horizontal pour la détection de la paupière.

2.2.2 La normalisation

Wildes normalise l'image de l'iris pour avoir la taille d'un modèle référence. Ni la forme de l'iris segmenté ni le repère de l'image n'est changé. L'iris segmenté reste toujours, dans le repère cartésien, sous la forme d'un anneau défini par deux cercles approximant les frontières internes et externes de l'iris. Dans ce système *Wildes* cherche à compenser, en même temps, les variations de taille et de rotation de l'iris. Des opérations de mise à l'échelle et de rotation de l'iris segmenté sont ainsi utilisées.

Dans cette méthode, l'iris est conservé dans son format original. Les régions de l'iris exclus sont masquées en les forçant à 0 (noir). Par cette stratégie, *Wildes* n'utilise pas de masque associé à chaque image pour délimiter les zones de bruit.

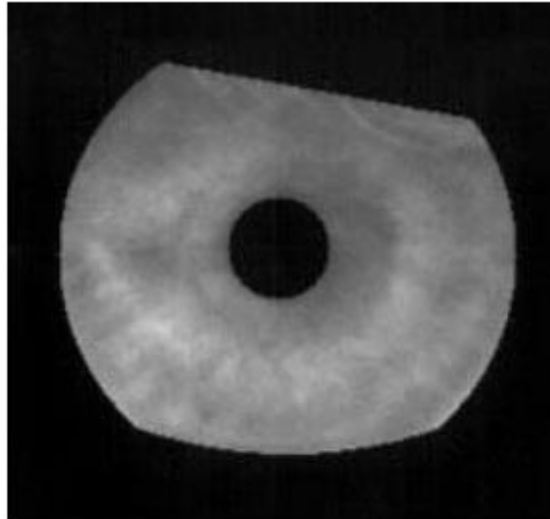


Fig. : Image d'iris segmentée et normalisée selon la méthode de Wildes ; dans cette méthode les zones de bruit de l'iris sont directement mises à 0 (noir).

2.3 L'approche IriTech : l'utilisation de l'ondelette de Haar

La société *Iritech* est l'un des rares concurrents de la société Iridian à avoir proposé une solution alternative à la méthode Daugman. L'approche utilise l'ondelette de Haar comme un moyen d'analyse mutli-résolution. 1024 coefficients de Haar sont calculés sur différentes zones de l'iris comme indiqué sur la figure suivante. Les coefficients sont comparés entre eux en calculant une différence entre les coefficients des hautes fréquences et ceux des basses fréquences qui n'ont pas été générés par des paupières ou des cils.

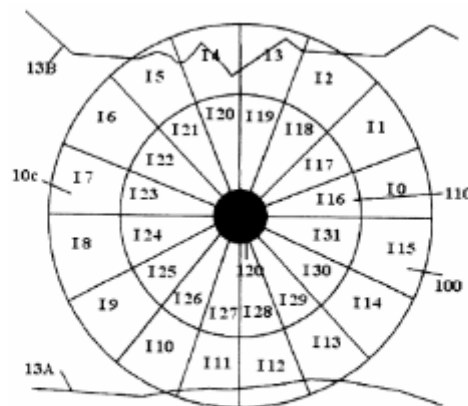


Figure Le découpage de l'iris en secteurs par Iritech

2.4 La méthode Masek

Le système *Masek* est un système 'Open Source' de reconnaissance des personnes par l'iris. Le système inclue un module de segmentation basé sur la transformée de Hough qui permet de localiser la pupille, l'iris, les paupières et les cils. Le système est composé aussi d'un module de normalisation

basé sur la méthode de normalisation pseudo polaire. Un troisième module du système est celui de l'extraction des caractéristiques où un filtrage 1D de Log-Gabor est effectué. En dernier lieu, la distance de Hamming est employée pour la prise de décision.

3. Segmentation de l'iris

Il existe plusieurs classes pour la segmentation des frontières de l'iris :

3.1 Détection par des contours circulaires

Les méthodes de cette classe consistent à détecter les frontières de l'iris en utilisant des techniques qui construisent des formes circulaire comme la méthode de référence de Daugman (qui utilise l'opérateur intégrro-différentiel), et la méthode de Wildes (qui utilise la transformée de Hough).

- La mesure de l'opérateur intégrro-différentiel (Integro-Differentiel Operator) de Daugman ou IDO est définie par l'expression suivante, et qui cherche les meilleurs cercles pour les frontières interne et externe de l'iris :

$$\max_{r,x_0,y_0} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_0,y_0} \frac{I(x,y)}{2\pi r} ds \right|$$

où $I(x,y)$ est l'image de l'œil, r le rayon du cercle que l'on est en train de chercher et $G_\sigma(r)$ est une fonction gaussienne de lissage, (x_0,y_0) est le centre de l'image.

L'opérateur est utilisé deux fois, une pour la frontière interne et l'autre pour la frontière externe.

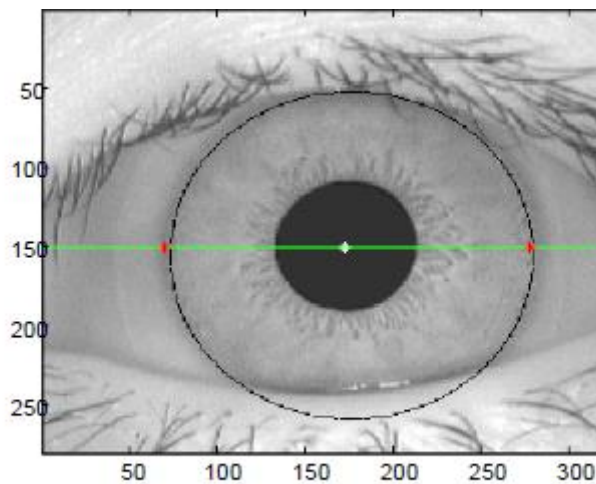


Figure 1 : Segmentation de l'Iris par la méthode intégrro-différentielle.

- l'opérateur intégrro-différentiel de Daugman est très sensible aux bruits dans le cas de la classe 49 de la figure suivante (les cils ont gâché la détection de contour).

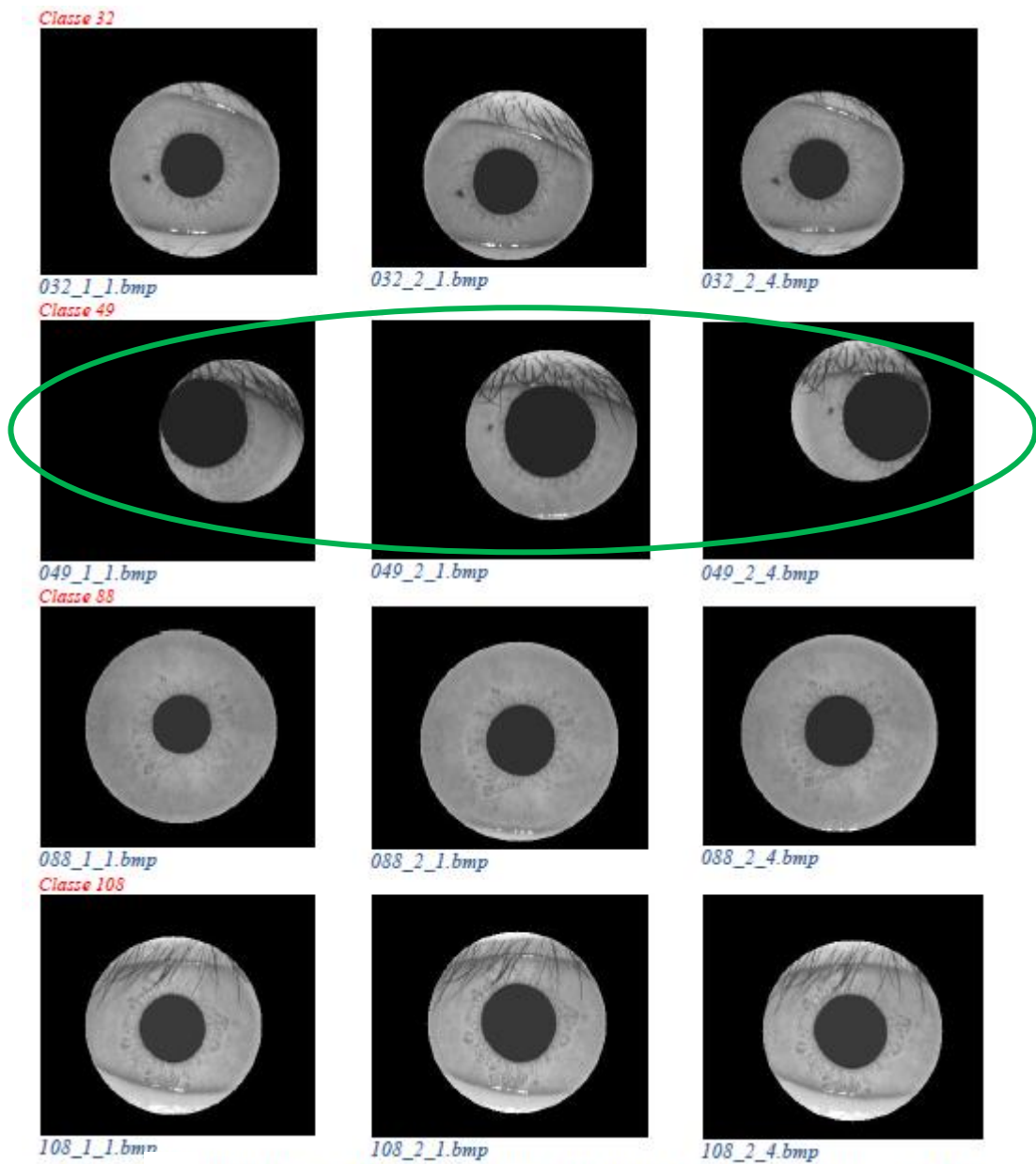


Figure 1 : Application d'IDO sur quelques échantillons de la base de données CASIA-IrisV1

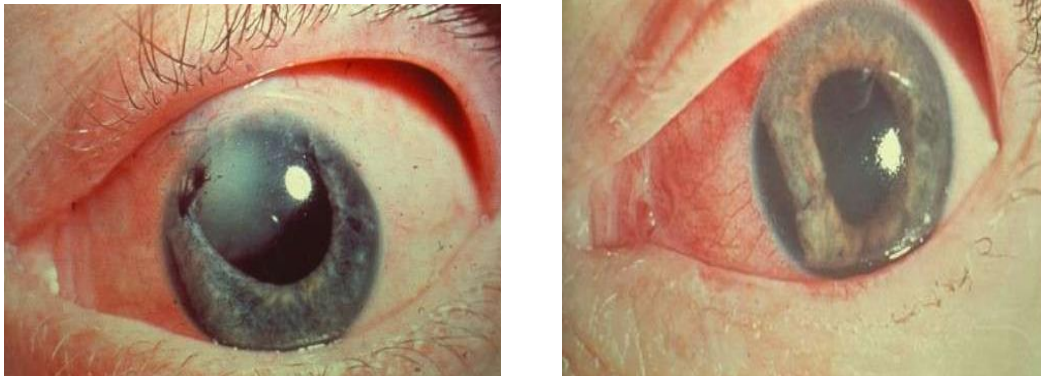
3.2 Détection par des contours elliptiques

Une deuxième catégorie de méthodes de détection des frontières de l'iris se base sur une approximation des frontières par des contours elliptiques. On trouve la Méthode de Zuo et Natalia, de Camus et Wildes, de Ryan et al, Chez Bonney et al.

3.3 Détection par des contours de formes libres

Les méthodes de la classe précédente utilisent tous une modélisation des frontières de l'iris par des formes géométriques. En fait, l'iris est souvent caché par les paupières, ainsi, la pupille peut subir des déformations temporaires qui affectent sa frontière. Cette dernière ne peut plus être approximée par un cercle parfait. Pour ces raisons, d'autres chercheurs ont utilisés des méthodes de segmentation qui ne font pas l'hypothèse d'une forme prédéfinie de contours.

Parmi les méthodes employées, on trouve les contours actifs et les méthodes à base de calcul statistique.



- Les contours actifs ou déformables sont les plus connus et de plus en plus utilisés pour détecter le contour d'objet. Il se comporte comme un élastique qui se positionne selon les gradients de l'image.

Parmi ces méthodes, on trouve :

- **Méthode de Daugman actualisée :**

Daugman a proposé une nouvelle méthode pour segmenter l'iris. Il utilise un contour actif basé sur le développement discret en séries de Fourier pour décrire, d'une manière plus précise, les contours de l'iris. Il a choisi $M=17$ pour décrire la frontière de la pupille et une valeur $M=5$ pour décrire la frontière externe de l'iris où M est l'ensemble de coefficients discret de Fourier.

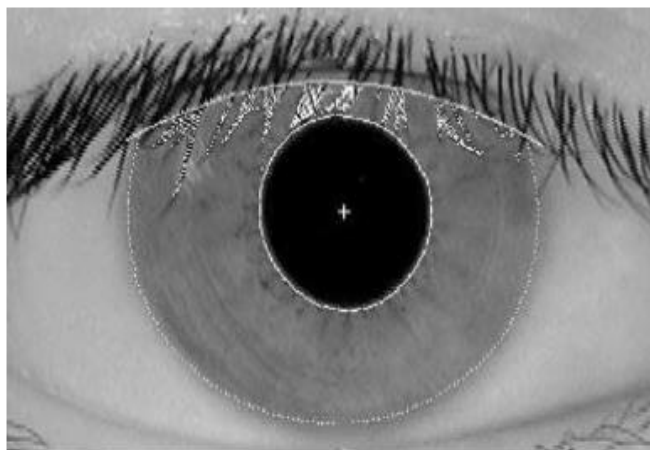


Fig. : Segmentation de l'iris par la méthode de Daugman en utilisant des contours actifs basés sur les coefficients du fourrier ; les cils isolés sont marqués par une couleur blanche.

- **Méthode de Shah et Ross**

Shah and Ross détectent la frontière de la pupille en l'approximant par un contour circulaire ; alors qu'ils détectent la frontière externe de l'iris d'une manière précise en utilisant les contours actifs géodésiques.

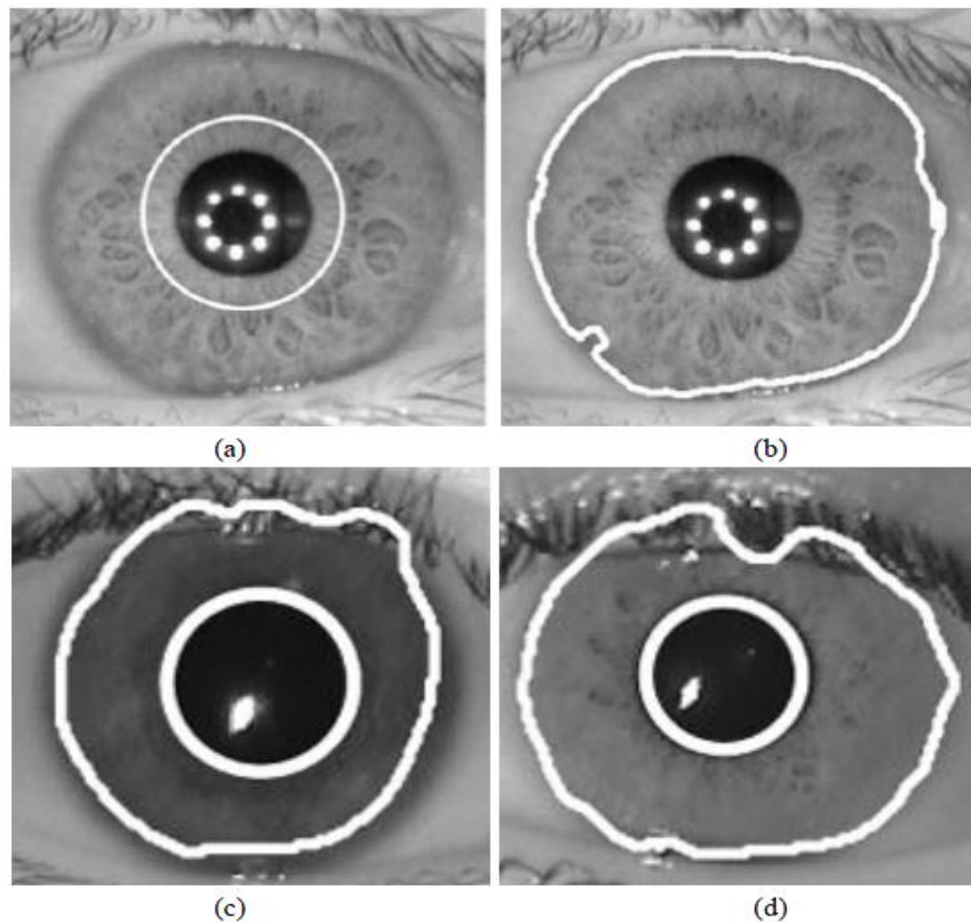
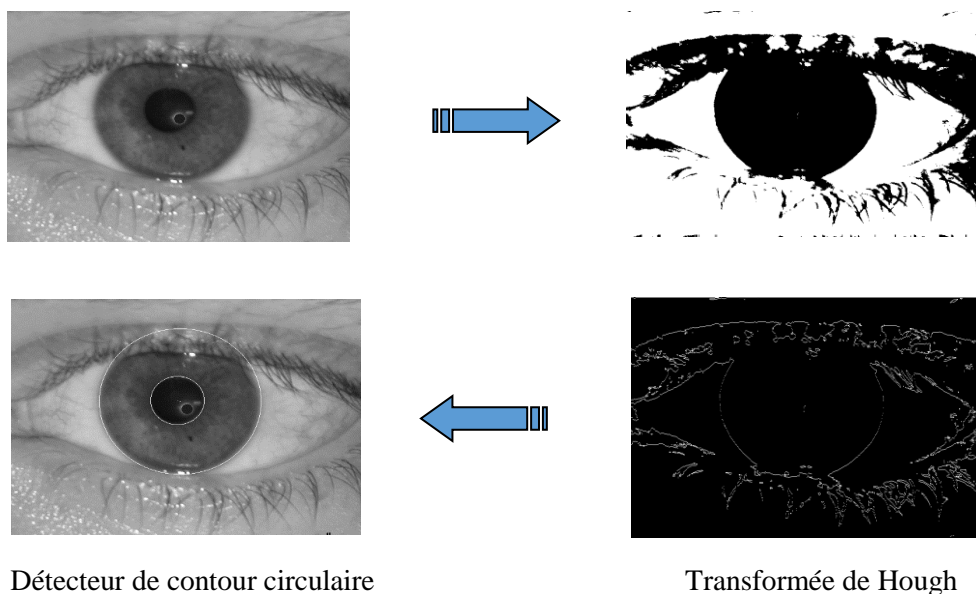


Fig. 2.10: Segmentation de la frontière externe de l'iris en utilisant le contour actif géodésique; (a) contour initial ; (b) contour final de la frontière externe détectée ; (c) et (d) montrent la segmentation de deux images d'iris couvertes partiellement par la paupière supérieure.

3.4 Détection par méthode hybride

Les méthodes de cette classe consistent à combiner l'utilisation de la méthode de segmentation de Daugman et celle de Wildes. La méthode hybride s'effectue comme suit :
 Binarisation de l'image + transformée de Hough pour la détection de l'iris + l'opérateur intégral-différentiel pour la détection de la pupille.



Détecteur de contour circulaire

Transformée de Hough

4. Normalisation de l'iris

Il existe plusieurs méthodes pour normaliser l'image segmentée de l'iris où la première méthode proposée c'était de Daugman, vue précédemment, ensuite cette méthode a été reprise avec de nombreuses variantes.

4.1 Méthode de Shamsi et Rasouli

Shamsi et Rasouli expliquent que l'inconvénient de la méthode de normalisation de Daugman est d'utiliser une résolution d'échantillonnage angulaire fixe, le fait que le périmètre des cercles virtuels proches de la pupille est inférieur à celui des cercles proches de la frontière externe de l'iris.

Pour résoudre ce problème, les auteurs proposent d'adapter la normalisation en choisissant une résolution angulaire, qui varie avec r .

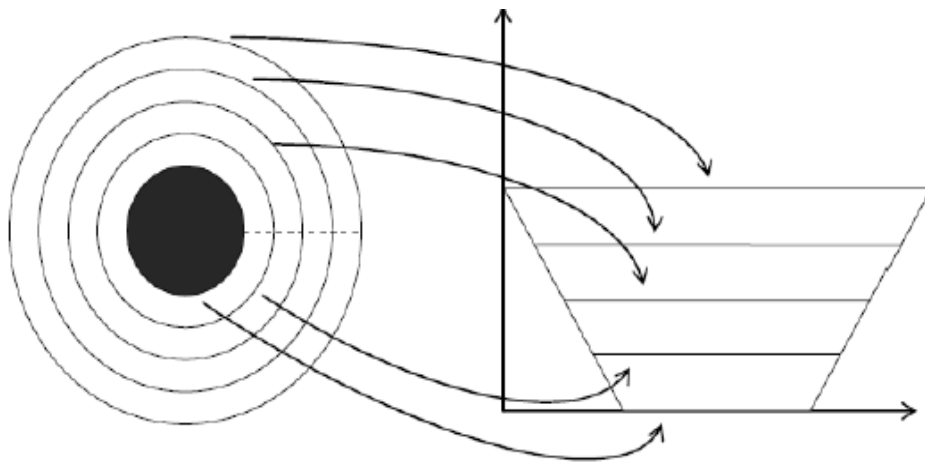


Fig. 4.1 : Normalisation de l'iris selon la méthode de Shamsi et Rasouli ; l'iris segmenté est projeté de l'espace cartésien vers un espace pseudo-polaire dont la résolution d'échantillonnage angulaire augmente avec la distance à la pupille.

4.2 Méthode de Yuan et Shi

En se basant sur les travaux de *Wyatt*, l'iris est supposé être formé de fibres qui dirigent son mouvement. Lors d'une dilatation ou de contraction de la pupille, le mouvement des fibres dirige le changement de surface de l'iris.

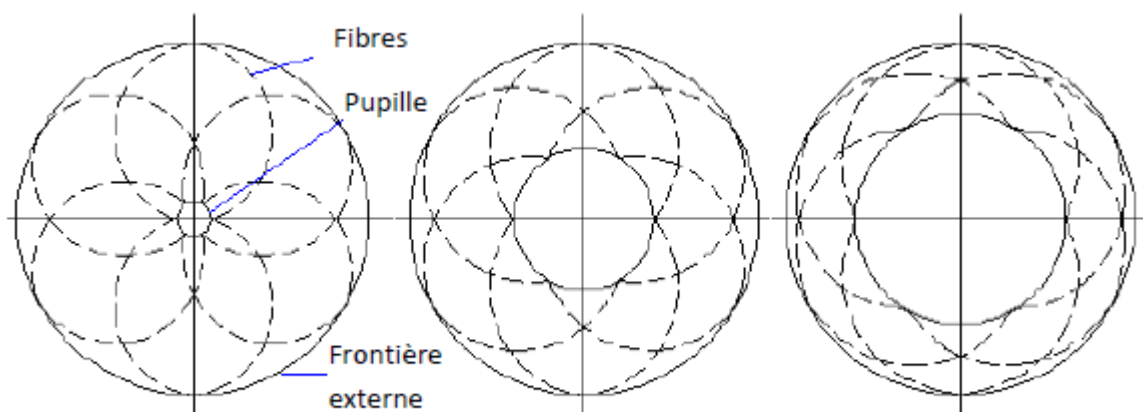


Fig. 4.2 : Schématisation des fibres qui gèrent le mouvement de l'iris.

Pour normaliser l'iris, ils proposent l'utilisation d'un modèle non-linéaire qui compense les variations de taille de l'iris combiné avec une transformation en coordonnées polaires.

Pour simplifier le calcul, *Yuan et Shi* supposent que lors d'un mouvement des fibres, les points qui se trouvent sur les fibres changent seulement dans une direction radiale, ignorant ainsi le mouvement angulaire (figure suivante). Pour un arc de fibre initial (PI), les points considérés sur cette fibre, A, B et C se déplacent, due à une dilatation de la pupille, selon une direction radiale pour avoir leurs nouvelles positions A', B' et C' lorsque la fibre s'est dilatée pour rejoindre l'arc ($P'I$). Plus le nombre des segments qui croisent les fibres est grand, meilleur est l'échantillonnage de l'iris.

Finalement, une fois la variation de taille compensée, l'iris sera représenté en coordonnées polaires comme précédemment.

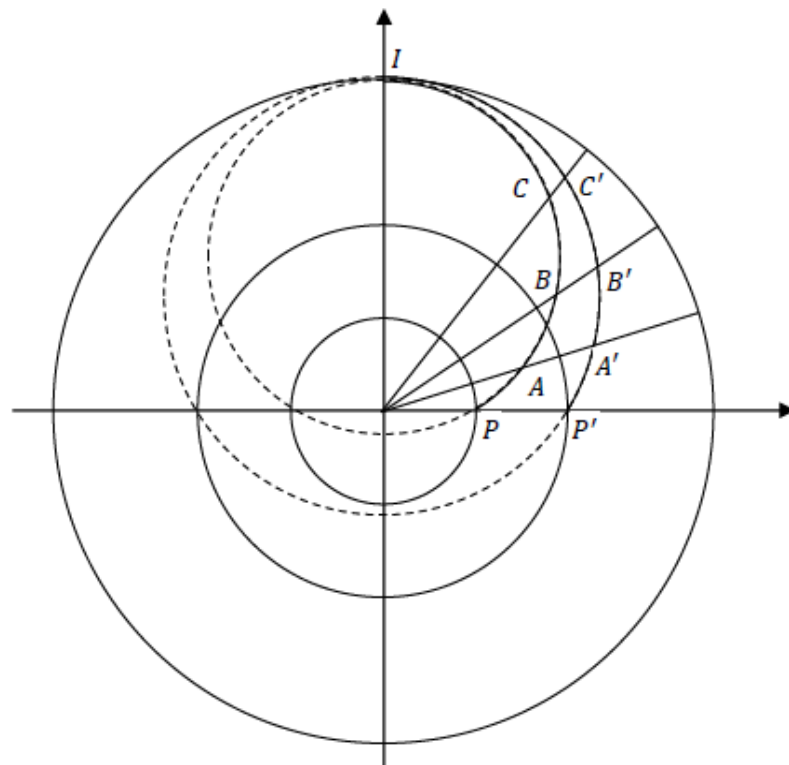


Fig. : Echantillonnage de l'iris, selon un modèle non linéaire, suite à une dilatation de la pupille ; un arc de fibre (PI) de l'iris initial correspond à un nouveau arc de fibre ($P'I$) une fois la pupille est dilatée ; les points de fibres A, B et C de l'arc (PI) correspondront à leurs nouvelles positions A', B' et C' de l'arc ($P'I$).

4.3 Méthode de Daugman actualisé

En 2007, Daugman a développé des méthodes de segmentation de l'iris en utilisant un contour actif. Pour développer la normalisation des iris segmentés par un contour en forme libre, le même principe d'échantillonnage et de projection de l'iris dans un espace pseudo-polaire est conservé. L'iris est toujours normalisé en une matrice rectangulaire et le modèle compense toujours la taille de l'iris.

4.4 Méthode de Han et al.

Pour *Han et al*, l'iris segmenté en approximant deux cercles concentriques, est linéairement redimensionné pour avoir des dimensions standard fixes (figure suivante (a)). Ensuite le plus grand carré inscrit dans la frontière externe de l'iris est choisi pour extraire la région d'intérêt de l'iris, vu qu'ils arguent que les régions de l'iris proches de la pupille sont plus riches en texture que celles proches du blanc de l'œil. C'est lui qui sera utilisé plus tard pour la reconnaissance (figure suivante (b)).

Puis la région de la pupille qui contient du bruit est remplie avec l'information utile contenue dans le carré. En représentant par $I(r, \theta)$ l'intensité de l'image recadrée de l'iris segmenté en pixel de position (r, θ) dans un plan polaire centré au centre du cercle approximant la frontière de la pupille et R_p le rayon de la pupille.

Les intensités des pixels à l'intérieur de la pupille seront remplacées selon l'équation suivante :

$$I(r, \theta) = \begin{cases} I(r + R_p, \theta) & 0 < r < R_p/2 \\ I(2R_p - r, \theta) & R_p/2 < r < R_p \end{cases}$$

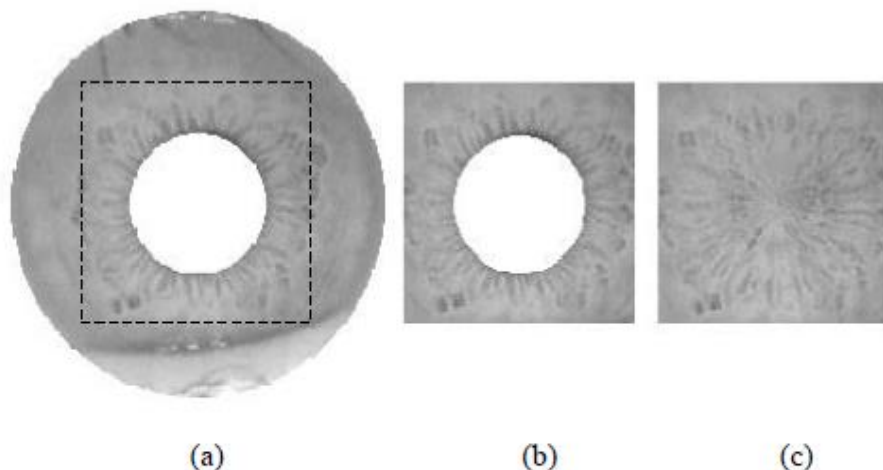
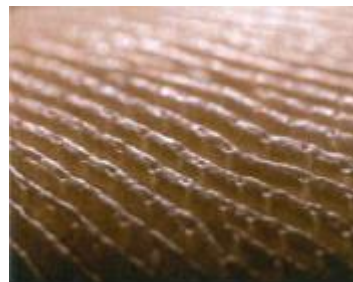
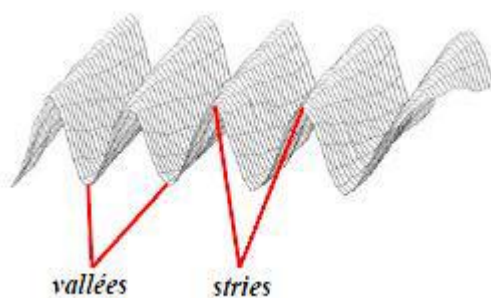


Fig. 1 : Normalisation de l'iris selon la méthode de Han et al. ; (a) l'iris est premièrement segmenté et redimensionné pour avoir une taille fixe ; (b) région d'intérêt de l'iris : le plus grand carré inscrit à l'intérieur de l'iris; (c) finalement les valeurs d'intensité non informative de la pupille sont remplacées par celles des régions voisines.

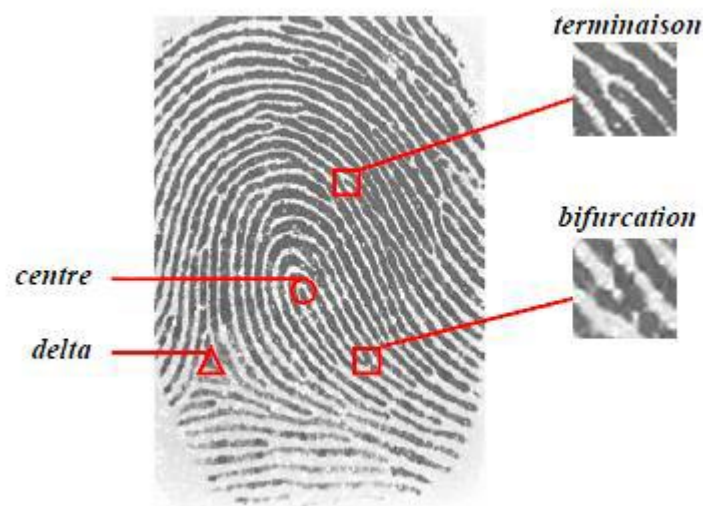
Chapitre III : La biométrie d'empreinte digitale : identification et authentification des individus

1. Définition

Une empreinte digitale se compose de beaucoup des rides appelées **crêtes** (stries) et d'espace entre les crêtes appelés **vallées**. Les caractéristiques d'empreintes digitales sont les minuties qui sont les points anormaux sur les rides.



- Chaque empreinte possède un ensemble des points singuliers globaux (*les centres ou noyaux et les deltas*) et locaux (*les minuties*). Les centres correspondent à des lieux de convergences des stries tandis que les deltas correspondent à des lieux de divergences.
- 2 types de minuties sont les plus utilisés, ce sont l'**arrêt de ride (terminaison)** et la **bifurcation**.



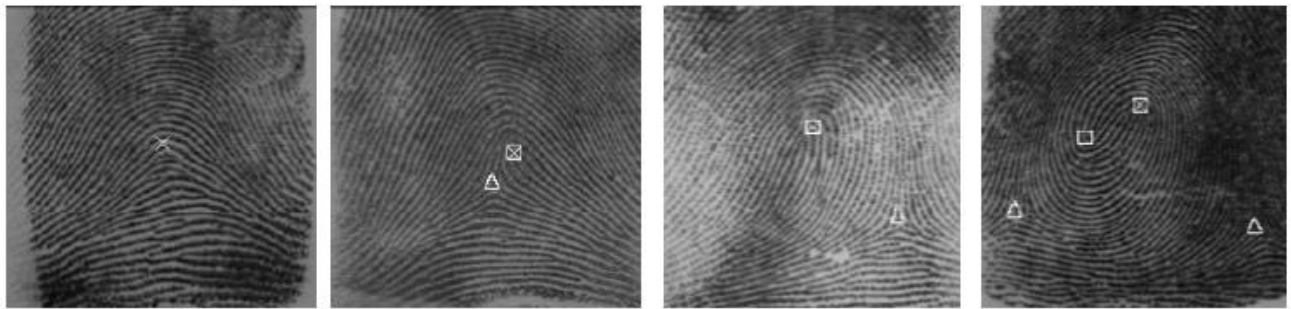
- La position et le nombre de centres et de deltas permettent de classer les empreintes en catégorie. On distingue principalement 3 grandes familles selon *Gelton* :

- * **Arches** ou tentes (regroupe 5% des doigts humains)

- * **Boucles à droite** ou **boucles à gauche** (regroupe 65% des doigts humains)

* *Spires* ou tourbillons (regroupe 30% des doigts humains)

Il y a deux spirales qui sont des doubles boucles imbriquées, et elles sont assez rares.



Arche

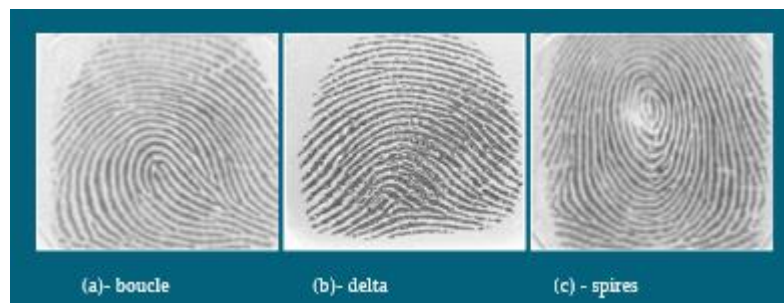
Boucle à droite

Boucle à gauche

Spires

- Pour rendre la reconnaissance d'empreinte très efficace, on procède à la classification de notre base de donnée en sous classes selon les types des empreintes existants.

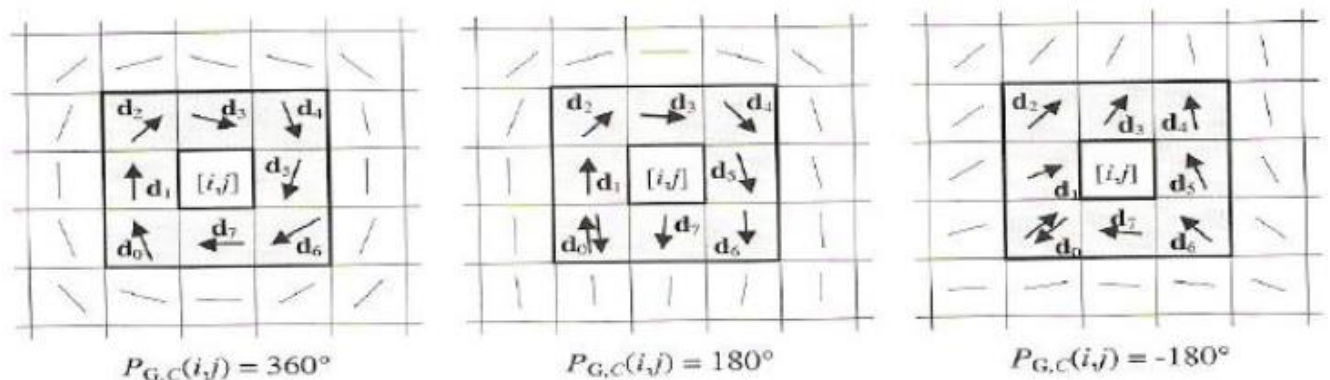
Les stries adoptent certaines formes distinctes. Ces formes s'appellent des régions caractéristiques ou régions singulières ; elles sont classées en trois grandes catégories : **boucle**, **delta** et **spires** ou tourbillon. Les régions singulières sont utilisées dans la classification des empreintes digitales.



- L'idée de la classification consiste à détecter les caractéristiques globales (les régions singulières) d'une empreinte digitale, l'un des algorithmes les plus pratiques c'est l'algorithme de *l'index de Poincaré* proposé par *Kawagoe et Tojo*. Son principe est le suivant :

Soit un pixel $[i,j]$ de la matrice D ; l'index de Poincaré $P_{G,C}(i,j)$ est calculé par la formule suivante :

$$P_{G,C}(i,j) = \sum_{k=0}^7 \text{angle} \left(d_k, d_{(k+1) \bmod 8} \right).$$



Alors :

1. Si $P_{G,C} = 0^\circ$, $[i,j]$ ne se trouve pas dans une région singulière
2. Si $P_{G,C} = 360^\circ$, $[i,j]$ se trouve dans une région singulière en spire (centre)
3. Si $P_{G,C} = 180^\circ$, $[i,j]$ se trouve dans une région singulière en boucle
4. Si $P_{G,C} = -180^\circ$, $[i,j]$ se trouve dans une région singulière delta

La classification Galton-Henry stipule que :

- Une empreinte \in {la classe arche} si elle ne contient ni boucle ni delta comme régions singulières ;
- Une empreinte \in {la classe boucle} si elle contient une boucle et un delta, les boucles qui entrent et ressortent du côté gauche sont dites des boucles à gauche tandis que celles qui rentrent et ressortent du côté droit sont dites des boucles à droite ;
- Une empreinte \in {la classe spires} si elle contient deux régions singulières boucles et deux régions deltas.

2. Conception du système de reconnaissance des empreintes digitales

Un système de reconnaissance des empreintes digitales est un système automatique de reconnaissance de formes qui se compose des étapes suivantes :

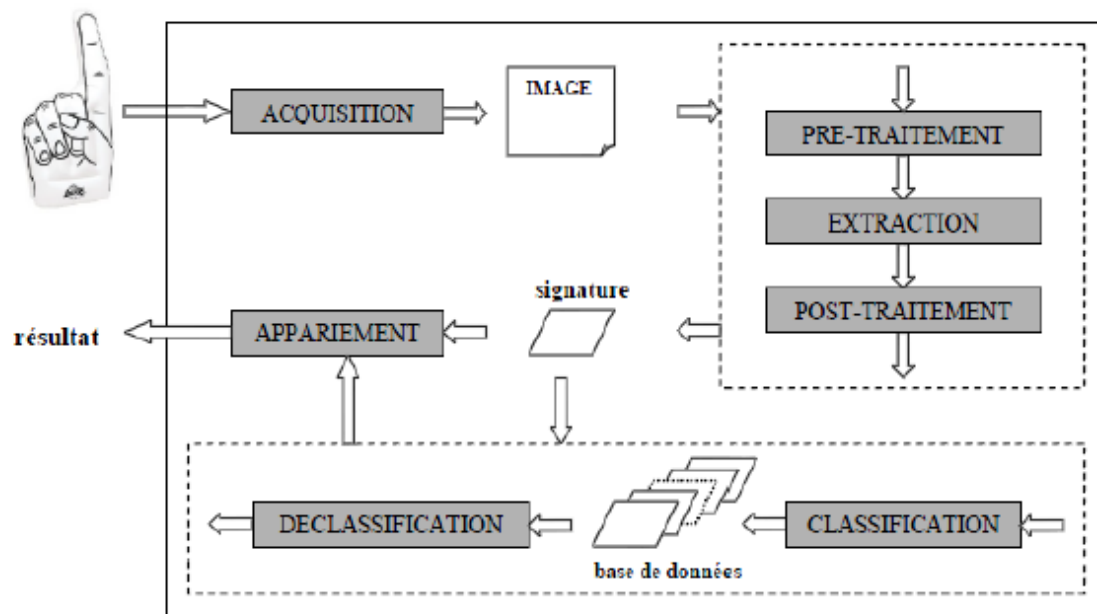


Figure : Architecture générale d'un système complet de reconnaissance d'empreintes

2.1 L'acquisition de l'image d'empreinte

Il existe 2 méthodes pour l'acquisition d'une image d'empreinte digitale :

→ **L'acquisition indirecte** : où il existe 2 méthodes :

*** L'empreinte acquise par encre :**

Après l'avoir enduit l'encre, le doigt est imprimé sur un bout de papier. Ce papier passe ensuite au scanner standard pour être numérisé.



*** les empreintes latentes :**

Elles sont formées suite à une légère trace laissée sur un objet due à la sécrétion constante de la sueur. Elles sont prises à l'aide d'une poudre spéciale.



→ **L'acquisition directe** : ce sont les capteurs, où on peut citer :

Les capteurs optiques (les plus répandus, dont le principe de fonctionnement est le même que celui du scanner ainsi ses prix acceptables), les capteurs thermiques, les capteurs à ultrasons qui sont assez chers, les capteurs intégrés au silicium.



2.2 Pré-traitement

Pour améliorer la qualité des images d'empreintes digitales, on fait un pré-traitement qui se compose de lissage, d'amélioration de contraste, de filtrage.

2.3 Extraction des caractéristiques

L'ensemble des minuties est extrait à partir de l'image filtrée. Pour cela nous étudierons 2 méthodes :

- La méthode classique consiste à extraire les minuties sur un squelette binaire de l'image filtrée
- La méthode directe consiste à extraire les minuties directement sur l'image filtrée

2.3.1 La méthode classique

Le processus classique entier d'un algorithme d'extraction de minuties est montré dans la figure suivante, il est proposé par *Jain et Al* :

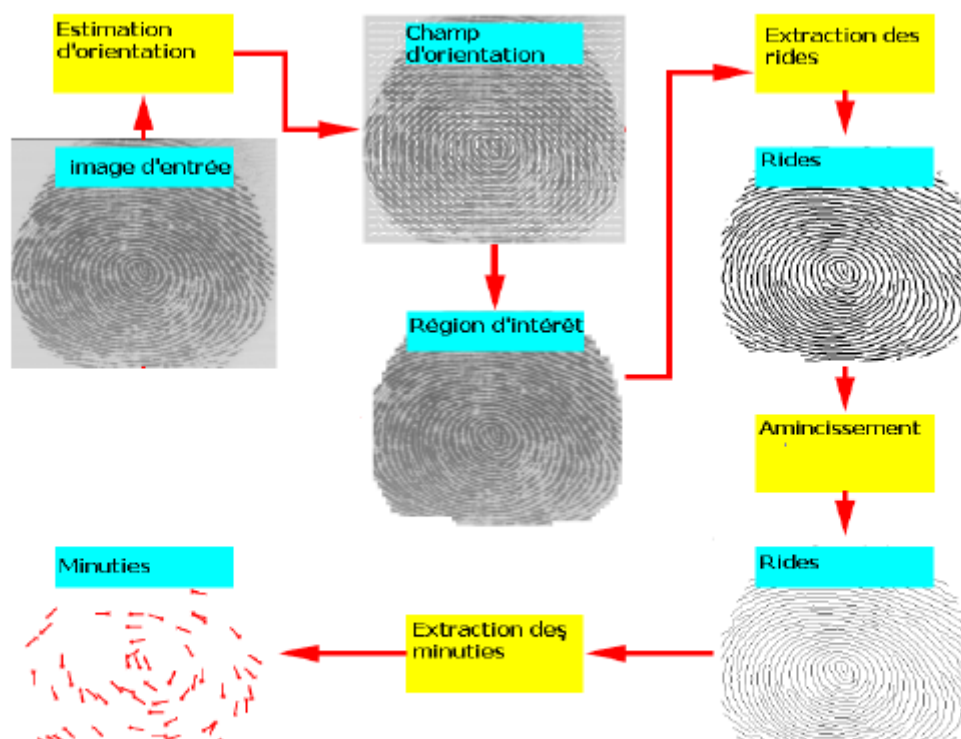


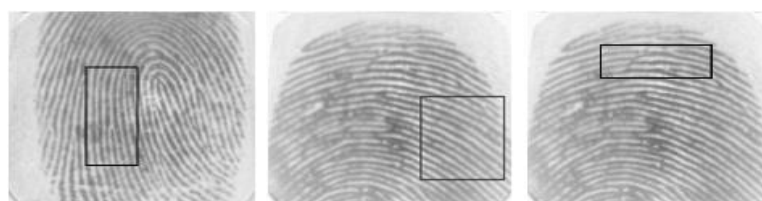
Figure : Organigramme de l'algorithme d'extraction des minuties proposé par Jain et al

a) Estimation de champ d'orientation :

Elle consiste à avoir une estimation de l'orientation des lignes d'une d'empreinte digitale sur une petite zone de l'image. Cette estimation est reprise dans une matrice notée D , appelée **image directionnelle** ou **orientation de l'empreinte digitale**.

La case (i,j) de D contient la valeur de l'angle $\theta_{i,j}$ entre l'axe horizontal et l'orientation des lignes de l'empreinte dans le voisinage du pixel $[i,j]$.

La manière la plus simple à calculer D consiste à calculer le gradient aux différents points de l'image originale E de l'empreinte.



Parmi les algorithmes pour faire ce calcul, y a la méthode de **Anil Jain et al** qui consiste à diviser l'image en plusieurs fenêtres de taille $W \times W$. Pour tous pixels dans chaque fenêtre, on calcule les gradients G_x et G_y , puis on calcule l'orientation locale de ce pixel par les formules :

$$V_x(i,j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} (2G_x(u,v)G_y(u,v))$$

$$V_y(i,j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} (G_x^2(u,v) - G_y^2(u,v))$$

$$\theta(i,j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{V_x(i,j)}{V_y(i,j)} \right)$$

Y a aussi l'algorithme de **Sobel** qui est très utilisé. Son principe est le suivant :

Il calcule le gradient de l'intensité en chaque pixel par rapport à x et y comme suit :

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * E \quad \text{et} \quad G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * E$$

Puis l'angle du gradient qui nous donne l'orientation de lignes de l'empreinte au voisinage d'un pixel $[x_i, y_j]$ est donné par :

$$\theta_{i,j} = \arctan (G_x[x_i, y_j] \div G_y[x_i, y_j])$$

b) Segmentation :

Après avoir estimé le champ d'orientation de l'image d'empreinte digitale, un algorithme de segmentation qui est basé sur le niveau de certitude du champ d'orientation est employé pour localiser la région d'intérêt dans l'image.

Le niveau de certitude du champ d'orientation au pixel (i,j) est défini comme suit :

$$CL(i,j) = \sqrt{\frac{1}{W^2} \frac{V_x^2(i,j) + V_y^2(i,j)}{V_e(i,j)}}$$

$$\text{Tel que : } V_e(i,j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} (G_x^2(u,v) + G_y^2(u,v))$$

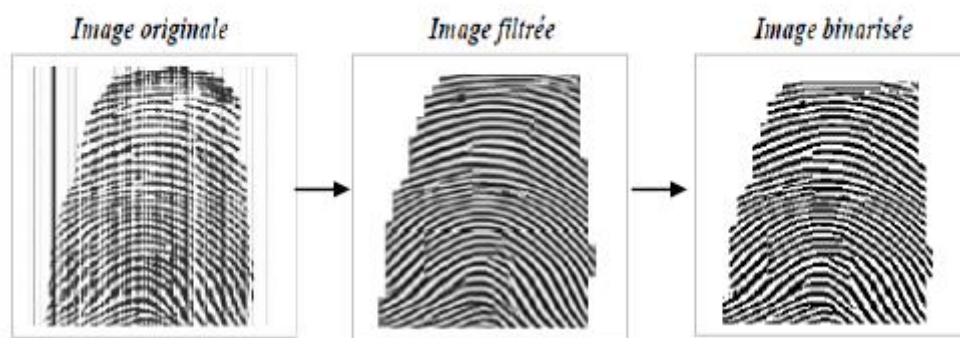
Si : $CL(i,j) < \text{le seuil } T \implies$ le pixel est marqué comme pixel de fond

Si : $CL(i,j) > \text{le seuil } T \implies$ le pixel est marqué comme un pixel de la région d'intérêt

c) La détection de rides (binarisation) :

Consiste à transformer l'image de 256 niveaux de gris en image binaire où les pixels noirs correspondent aux crêtes et les pixels blancs aux vallées. La technique la plus utilisée consiste à se fixer un seuil d'intensité T , puis parcourir la matrice de pixels de l'image en se basant sur la procédure suivante :

$$I_T(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{si } I(x,y) > T \\ 0 & \text{si } I(x,y) \leq T \end{cases}$$



d) La squelettisation (amincissement) :

Pour chaque pixel p_0 on considère son voisinage immédiat de 8 pixels $\{p_i, i \in [1..8]\}$. Pour l'algorithme de squelettisation on considère les définitions suivantes :

1. P_0 est un point frontière *Nord* si $P_2 = 0$
2. P_0 est un point frontière *Est* si $P_4 = 0$
3. P_0 est un point frontière *Sud* si $P_6 = 0$
4. P_0 est un point frontière *Ouest* si $P_8 = 0$
5. P_0 est un point *8-terminal* si un seul de ses voisins est noir ($\exists i \in [1..8], p_i = 1$), il s'agit d'une minutie de type terminaison
6. P_0 est un point *8-isolé* si aucun de ses voisins n'est noir ($\forall i \in [1..8], p_i = 0$)
7. P_0 est un point *8-simple* si la connexité de ses 8 voisins n'est pas altérée quand on le transforme en pixel blanc

P_1	P_2	P_3
P_8	P	P_4
P_7	P_6	P_5

La squelettisation consiste à répéter les opérations d'érosion suivantes jusqu'à ce que plus aucun pixel ne soit changé :

- **Etape 1** : tous les pixels noirs vérifiant (1) et (7) et ne vérifiant pas (5) et (6) sont changés en pixels blancs (érosion des points frontières Nord)
- **Etape 2** : tous les pixels noirs vérifiant (2) et (7) et ne vérifiant pas (5) et (6) sont changés en pixels blancs (érosion des points frontières Est)

- **Etape 3** : tous les pixels noirs vérifiant (3) et (7) et ne vérifiant pas (5) et (6) sont changés en pixels blancs (érosion des points frontières Sud)
- **Etape 4** : tous les pixels noirs vérifiant (4) et (7) et ne vérifiant pas (5) et (6) sont changés en pixels blancs (érosion des points frontières Ouest)



e) La détection des minuties :

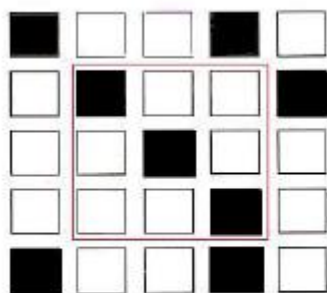
Une fois l'image est amincie, on procède à la détection des minuties par la technique du *crossing number*, initiée par Arcelli.

Le *crossing number* $cn(p)$ d'un pixel p se calcule par la formule suivante :

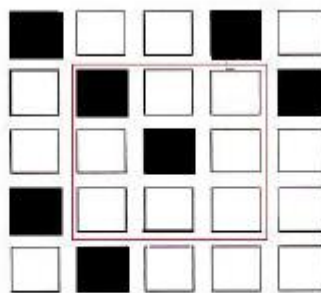
$$cn(p) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^8 \left| \text{val}(p_{i \bmod 8}) - \text{val}(p_{i-1}) \right|$$

p_0, p_1, \dots, p_7 sont les 8 pixels au voisinage de p et $\text{val}(p) \in \{0,1\}$ (car image binarisée). Alors, un pixel p dont $\text{val}(p) = 1$:

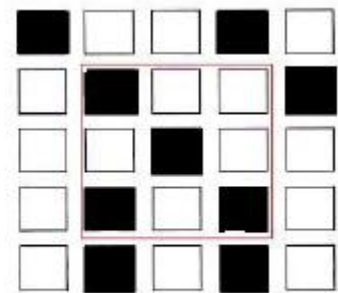
- * correspond à une terminaison si $cn(p) = 1$;
- * correspond à un point d'une ligne de l'empreinte si $cn(p) = 2$;
- * correspond à une bifurcation si $cn(p) \geq 3$.



a) $cn(p) = 2$



b) $cn(p) = 1$



c) $cn(p) = 3$

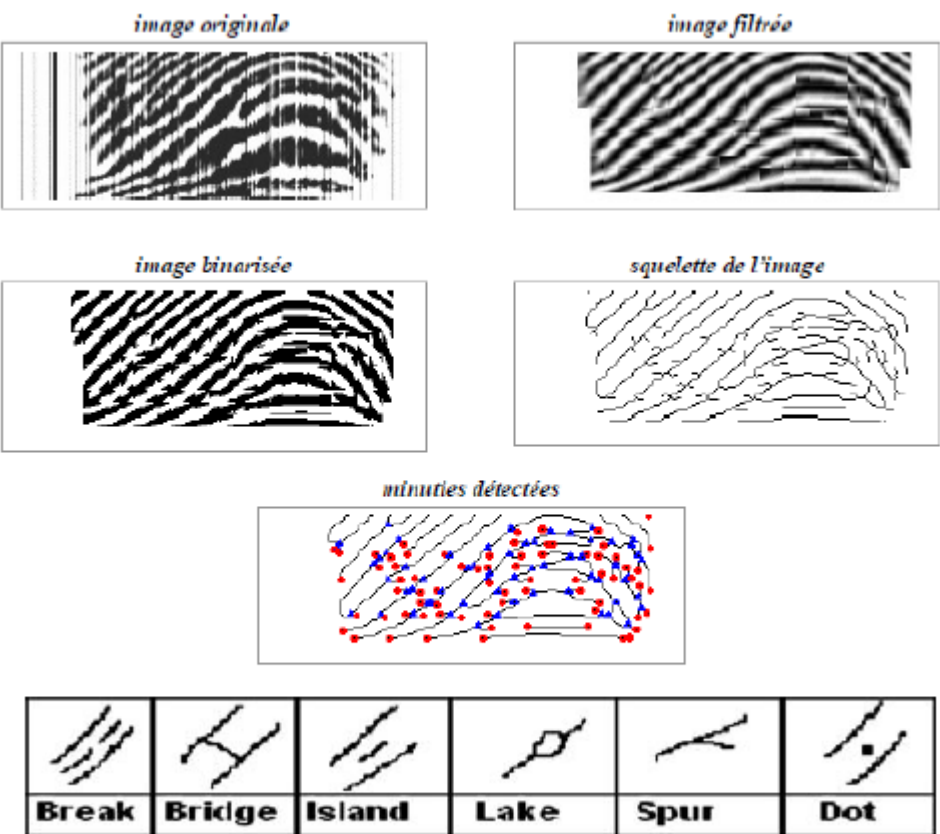
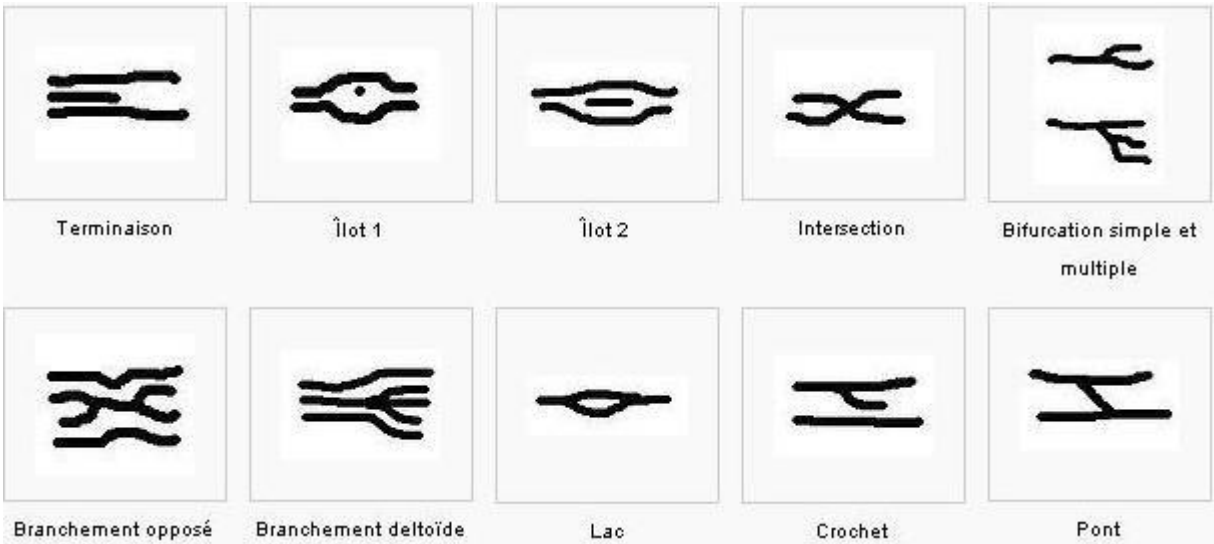


Figure : Exemple de détection de fausses minuties

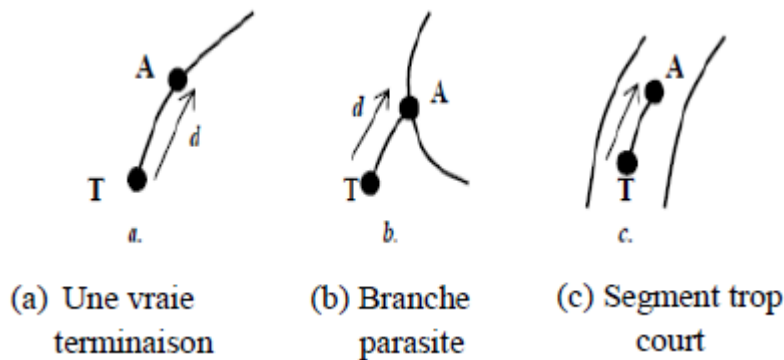


2.4 Post-traitement :

L'étape d'extraction de minuties est souvent suivie par un post traitement qui essaye d'éliminer les fausses minuties.

→ Pour éliminer les fausses terminaisons, on suit les règles suivantes :

- 1- S'il existe un bloc adjacent au bloc contenant la terminaison $T(x_T, y_T)$ et appartenant au bord de l'image, alors T est une fausse minutie et on l'élimine.
- 2- Pour les terminaisons restantes T , on parcourt la strie qui lui est associée sur une distance maximum K_1 , jusqu'à atteindre le point A ($d = \widehat{TA} \leq K_1$).



→ Pour éliminer les fausses bifurcations, on suit les règles suivantes :

On parcourt les 3 stries qui sont associées à la bifurcation B sur une distance maximum de K_1 , jusqu'à atteindre 3 point A_1 , A_2 et A_3 .

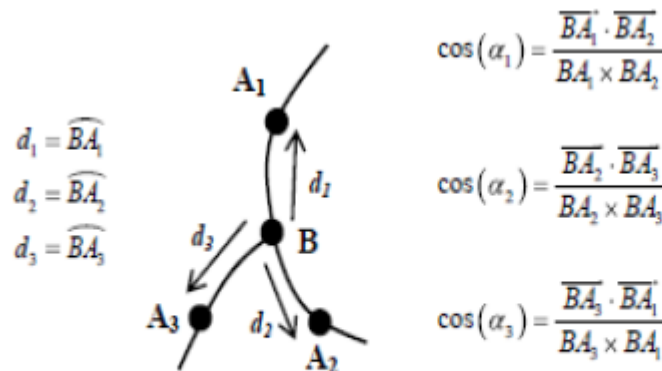


Figure 2.4 : Définitions associées à une bifurcation lors de la phase de validation

- 1- Si $d_1 < k_1$, $d_2 < k_1$ et $d_3 < k_1$: la zone circulaire de centre B et de rayon k_1 contient au moins 4 minuties. On considère alors que nous sommes dans une zone très bruitée et que B est une fausse bifurcation.
- 2- Si $CN(A_1)=1$ ou $CN(A_2)=1$ ou $CN(A_3)=1$: au moins une des stries mène à une terminaison. On est dans le cas d'une branche parasite, le point B et les terminaisons atteintes ne sont pas validés.

- 3- Si $A_1 = A_2$ ou $A_2 = A_3$ ou $A_3 = A_1$: deux des stries mènent au même point. On est dans le cas d'un lac, le point B et la bifurcation atteinte ne sont pas validés.
- 4- Si nous avons 2 des stries qui mènent à 2 bifurcation A_1 et A_2 ($CN(A_1)=3$ et $CN(A_2)=3$). Dans ce cas on calcule la différence angulaire α_1 ainsi que la distance $\|A_1 A_2\|$ entre les deux bifurcations rencontrées. Si $|\cos(\alpha_1)| > \cos \frac{\pi}{4}$ et $\|A_1 A_2\| \leq \lambda$ alors on est dans le cas d'un triangle et on considère que B est une vraie bifurcation tandis que A_1 et A_2 sont des fausses.
- 5- Une seule des stries mène à une bifurcation A_1 ($CN(A_1)=3$). On calcule les différences angulaires α_2 et α_3 ainsi que la distance entre A_1 et B . Si $|\cos(\alpha_2)| < \cos \frac{\pi}{4}$, $|\cos(\alpha_3)| < \cos \frac{\pi}{4}$ et $\|BA_1\| \leq \lambda$ alors on est dans le cas d'un pont et A_1 et B sont considérées comme de fausses minuties.

2.3.2 La méthode directe

Peu d'approches d'extraction de minuties suivant ce schéma ont été proposées :

- *M.T.Leung* et al introduisent un réseau de neurones pour la détection des minuties.
- Une autre approche plus directe a été proposée par *Maio* et *Maltoni*. Cette approche traque les crêtes en localisant les maxima locaux par un suivi de lignes le long du flot directionnel des crêtes pour détecter les minuties :

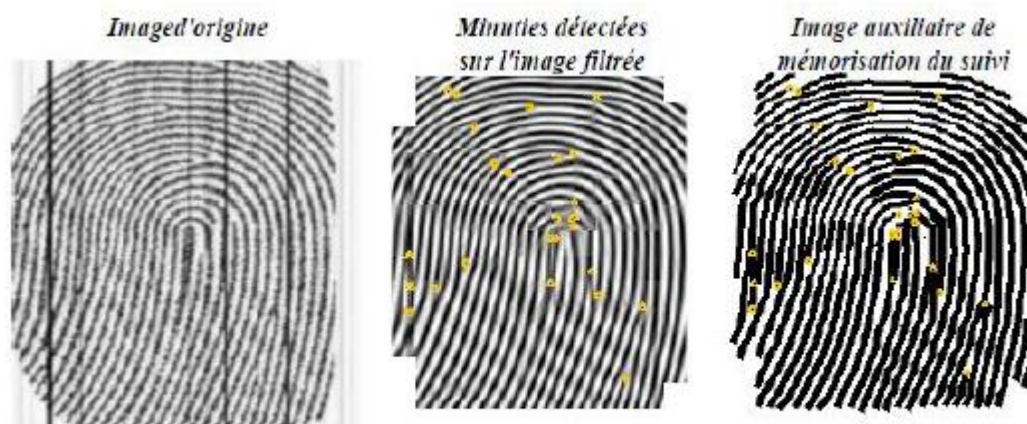


Figure : Détection des minuties par le suivi des stries de l'image filtrée

2.5 Le fichier signature (gabarie) :

Le fichier signature correspond à l'information utile minimum contenue dans l'image qui est nécessaire à la reconnaissance et qu'il s'agit de la liste des minuties détectées.

- Pour chaque minutie détectée et validée on extrait 3 caractéristiques :

- Le type de minutie : *bifurcation* ou *terminaison* (1 bit).
- La position de la minutie dans l'image : *coordonnées (x,y)* (2 octets).
- La direction du bloc local associé à la strie : θ (2 octets)

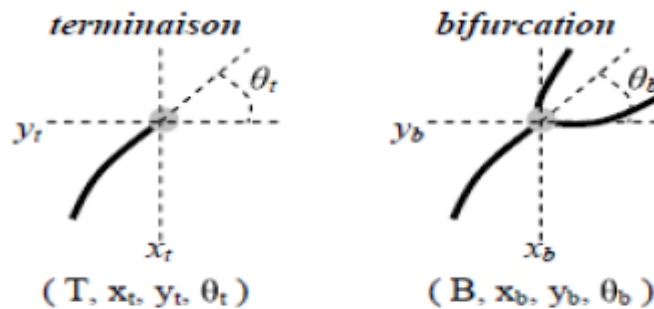


Figure : Les caractéristiques extraites d'une minutie

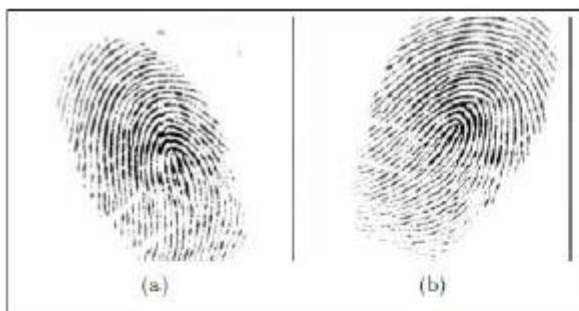
- Ensuite, les caractéristiques de chaque minutie seront reprises dans un vecteur. Donc, notre fichier comporte N vecteur de minutie comme suit :

$$S = \{M_i = (x_i, y_i, \theta_i, t_i) \mid i \in [1..N]\} \quad \|S\| = N$$

- Le fichier signature a une taille < 0.5 ko ce qui est un gain de mémoire par rapport à la taille d'image de 256 pixels (64 ko) et il sera sauvegardé dans une base de donnée.

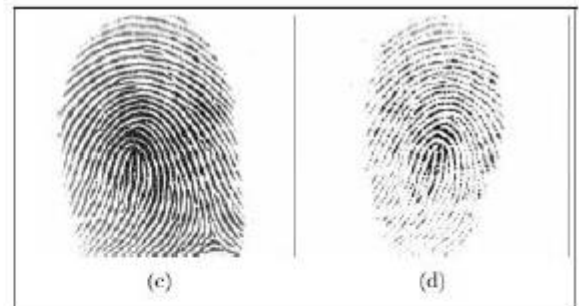
3. La phase de reconnaissance de l'empreinte digitale (fingerprints matching)

Le problème de la phase de comparaison c'est qu'une même empreinte peut avoir plusieurs images à causes de plusieurs raisons :



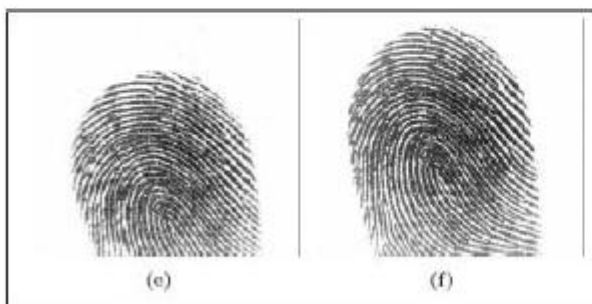
le doigt était
penché à gauche
sur le lecteur

le doigt était
penché à droite



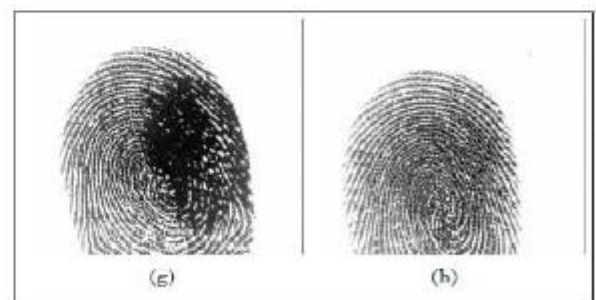
le doigt a été plus
pressé

le doigt a été très
légèrement pressé



une partie du doigt
n'a pas été apposée
sur le lecteur

le doigt a été
correctement apposé
sur le lecteur



le doigt était sale

le doigt était propre

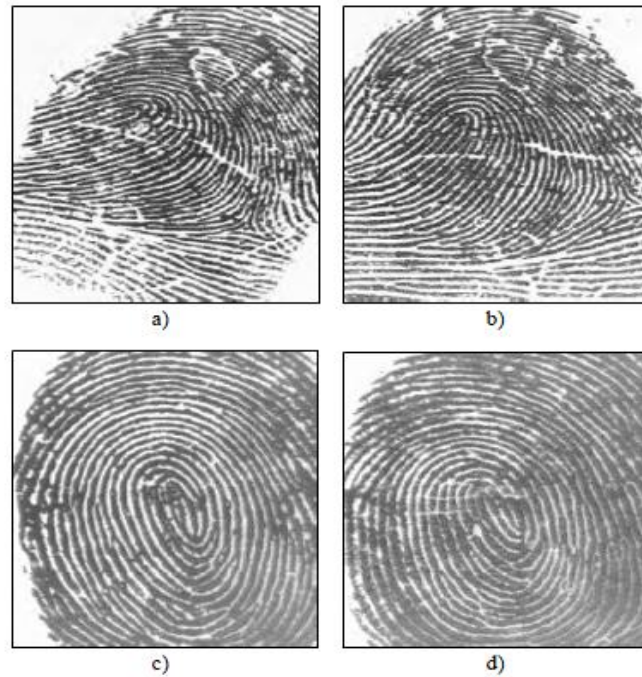
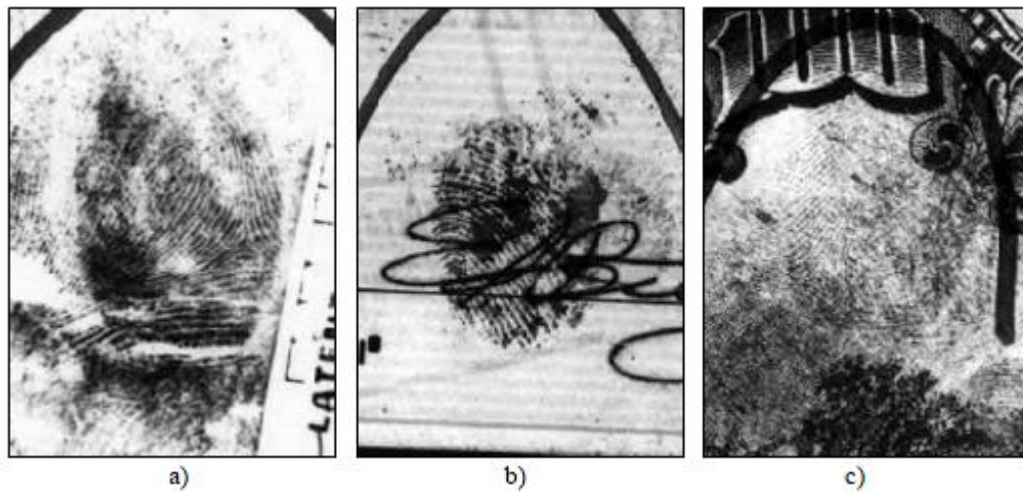


Figure : Difficulté de matching d’empreinte digitale. Images d'empreintes digitales en a) et b) apparaissent différentes à un œil non averti, mais ils ont pris du même doigt. Images d'empreintes digitales dans c) et d) apparaissent similaires à un œil non averti, mais ils sont de différents doigts



Les différentes approches de comparaison des empreintes digitales sont classées en trois grandes familles :

- **Assortiment basé sur la corrélation** : elle consiste à comparer les matrices de pixels des images de 2 empreintes, et calculer la corrélation de ses pixels
- **Assortiment basé sur les rides** : dans cette approche, on utilise des caractéristiques extraites des rides (orientation, texture, forme de ride, ...) pour comparer les 2 empreintes

- **Assortiment basé sur minuties** : c'est l'approche la plus utilisée dans la littérature, elle se base sur des minuties qui sont extraites à partir des 2 empreintes digitales à comparer.

L'assortiment basé sur minuties généralement appelée le “*matching de minuties*”, consiste à comparer les minuties de deux empreintes en les plaçant dans le plan bidimensionnel et à trouver les paires de minuties qui ont le même emplacement et la même orientation.

- On représente l'empreinte à identifier par **I**, et l'empreinte de la base de données par **T**.

On peut donc voir les deux empreintes à comparer **I** et **T** comme des vecteurs de minuties **m** :

$$\begin{aligned} \mathbf{T} &= \{m_1, m_2, \dots, m_m\} & \text{où} & & m_i &= \{x_i, y_i, \theta_i\} & i &= 1..m, \\ \mathbf{I} &= \{m'_1, m'_2, \dots, m'_n\} & & & m'_j &= \{x'_j, y'_j, \theta'_j\} & j &= 1..n. \end{aligned}$$

Où m et n sont respectivement le nombre de minuties de **T** et **I**.

- On considère qu'il y a un “match” entre une minutie m_i de **T** et une minutie m'_j de **I** si :

$$\begin{aligned} &sd(m'_j, m_i) = \sqrt{(x'_j - x_i)^2 + (y'_j - y_i)^2} \leq r_o \\ \text{et} &dd(m'_j, m_i) = \min(|\theta'_j - \theta_i|, 360 - |\theta'_j - \theta_i|) \leq \theta_o. \end{aligned}$$

Tel que : sd c'est la distance

dd c'est la différence

r_o et θ_o ce sont la tolérance et la tolérance angulaire respectivement

- Chaque minutie m'_j de **I** est donc comparée à toutes les minuties de **T** pour trouver la plus semblable à m'_j . Ce processus peut prendre un temps considérable pour une base de données contenant des milliers de Templates.

Chapitre V : Introduction à la biométrie de la main

1. Définition

Il y a quelques années, une nouvelle branche de la technologie biométrique a été proposée selon laquelle les lignes et les points sont extraits de la paume de la main pour l'identification personnelle. Cette technique est basée sur l'empreinte palmaire.

La paume se réfère généralement à la surface intérieure de la main du poignet à la racine des doigts comme le montre la figure suivante. L'empreinte palmaire (ou palmprint en Anglais) est définie comme l'ensemble de modèles de la peau de la paume composée des caractéristiques physiques telles que les lignes, les points et les textures.

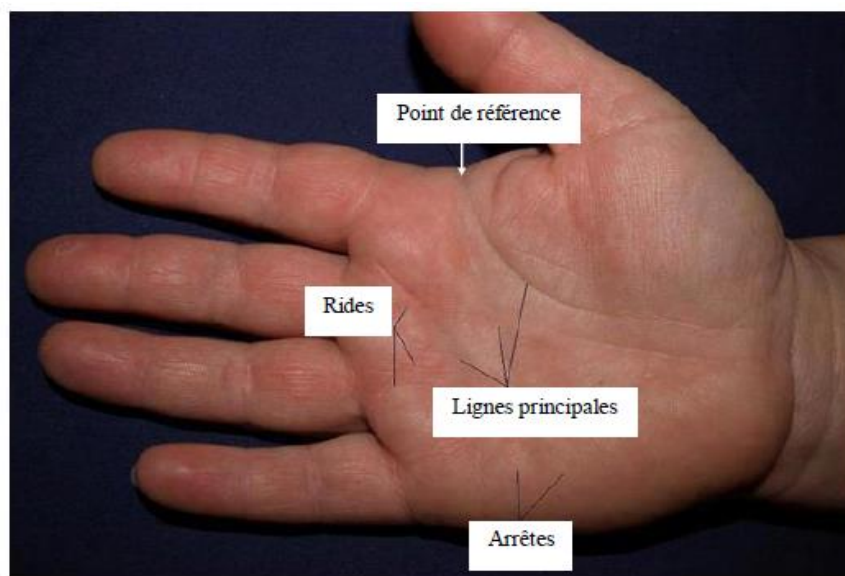


Figure : paume de la main

2. Caractéristiques du palmprint

On peut énumérer les caractéristiques du palmprint selon plusieurs points de vue :

2.1 Caractéristiques des lignes principales

L'emplacement et la forme des lignes principales constituent de très importantes caractéristiques. On distingue trois lignes principales produites en fléchissant la main et le poignet dans la paume. En faisant référence à la figure ci-dessous, les lignes sont appelées comme suit :

- (1) : la ligne de la vie
- (2) : la ligne de tête
- (3) : la ligne du cœur

Deux points de terminaison (a) et (b) sont ainsi obtenus par les lignes principales (1) et (3) qui se croisent des deux côtés de la paume. En raison de la stabilité des lignes principales, les points de terminaison ainsi que leur milieu (o) restent inchangés :

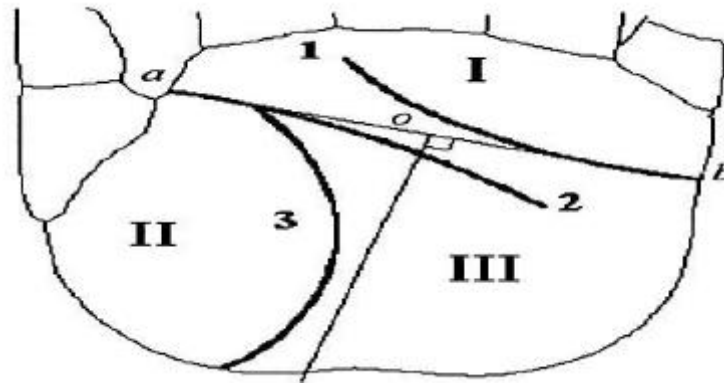


Figure : Caractéristiques des lignes principales du palmprint

D'un autre point de vue, la paume peut être divisée en trois régions comme illustré sur la figure ci-dessus :

- (I) : la région de la racine du doigt
- (II) : la région intérieure
- (III) : la région extérieure

2.2 Caractéristiques géométriques

Selon la forme de la paume on peut obtenir les caractéristiques géométriques correspondantes telles que la longueur et la largeur.

2.3 Caractéristiques des rides

Dans un palmprint, il existe de nombreux rides qui sont différents des lignes principales parce qu'ils sont plus minces et plus irréguliers.

2.4 Caractéristiques des minuties

Un palmprint est essentiellement composée de crêtes (appelées aussi arrêtes), donc les caractéristiques de minuties peuvent être utilisées comme une mesure importante.

3. Avantages du palmprint

L'utilisation des palmprints en biométrie représente un ensemble d'avantages que l'on peut résumer dans les points suivants :

- La paume a une plus grande surface que les empreintes digitales. Elle fournit également des fonctionnalités plus nombreuses. Ainsi, un capteur d'image de plus faible résolution peut être utilisé. Ceci rend beaucoup plus rapides les phases de prétraitement et d'extraction de caractéristiques.
- Peu de risque d'intrusion.
- Traitement d'image à basse résolution.

- Les caractéristiques des lignes de la paume sont stables et ne sont pas aussi faciles à endommager comme les empreintes digitales. Cependant, quand une résolution inférieure est utilisée ce problème ne surgit pas dans l'extraction de caractéristiques du palmprint.
- Le palmprint remédie aux problèmes liés à la non visibilité d'une empreinte digitale ou bien au coût élevé des appareils de capture des images de l'iris et de la rétine ou encore les faibles taux de reconnaissance des autres modalités biométriques.

4. Catégories d'identification par palmprint

Il existe 2 catégories principales d'identification par palmprint : l'identification hors ligne et l'identification en ligne que nous allons passer en revue.

4.1 L'identification hors ligne

Les recherches sur l'identification hors ligne par les palmprints utilisent les échantillons ancrés sur papier, ensuite transmis à l'ordinateur par un scanner numérique. Grâce à la haute résolution relative aux images hors ligne des palmprints (de résolution supérieure à 500 dpi, quelques techniques utilisées pour les empreintes digitales peuvent être utiles pour l'identification hors ligne des palmprints où les lignes et les points de données ou points singuliers peuvent être extraits.



Figure : Exemple d'image hors ligne du palmprint

4.2 L'identification en ligne

Pour l'identification en ligne des palmprints, les échantillons d'images sont directement obtenus par un appareil de capture de palmprint. Il est évident que l'identification en ligne par les palmprints est beaucoup plus appropriée pour les applications en temps réel, c'est pour cela que notre intérêt s'est porté sur ce type d'identification.

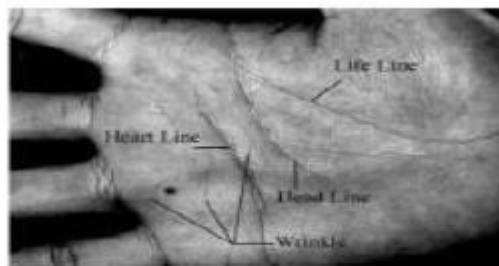


Figure : Exemple d'image en ligne du palmprint

5. Structure du système d'acquisition en ligne des images de palmprint

Pour accomplir une identification en ligne des palmprints, il faut utiliser un dispositif de capture particulier (la figure suivante) qui doit être très rapide dans l'acquisition en temps réel des palmprints.

Cette technologie ne reconnaît que les paumes vivantes, car les capteurs utilisés permettent d'identifier la chaleur ou une pulsation cardiaque, voire d'autres critères d'un élément vivant.

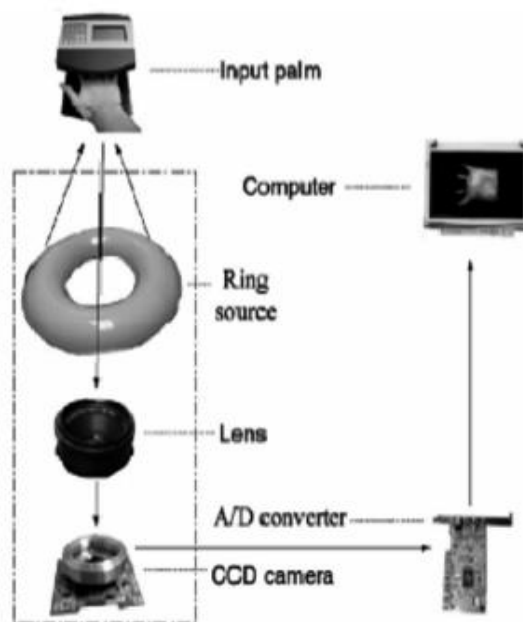


Figure : Dispositif de capture en ligne de palmprint

L'image recueillie par ce dispositif aura la forme suivante :

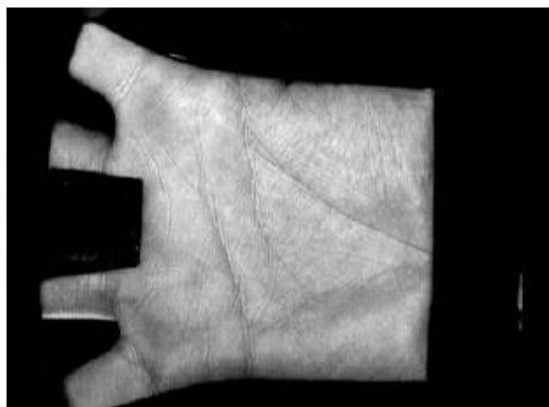
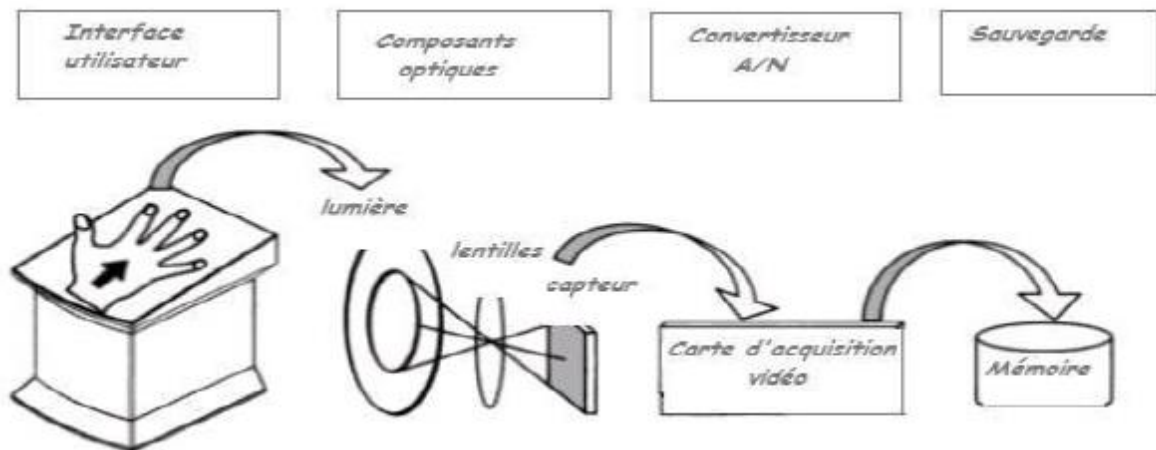


Figure : Image prise par le dispositif en ligne de capture de palmprints

Le système d'acquisition en ligne de palmprint est représenté sur la figure suivante. Il est constitué d'une interface d'utilisateur pour placer la paume, d'un ensemble de composants optiques qui opèrent ensemble pour obtenir les données de la paume, d'un convertisseur A-N qui converti le signal Analogique est en signal Numérique. Le signal numérisé est ensuite sauvegardé dans la mémoire du système. Le composant optique (source de lumière, lentilles, capteur) et le convertisseur A-N (carte d'acquisition vidéo) sont le cœur du système d'acquisition du palmprint.

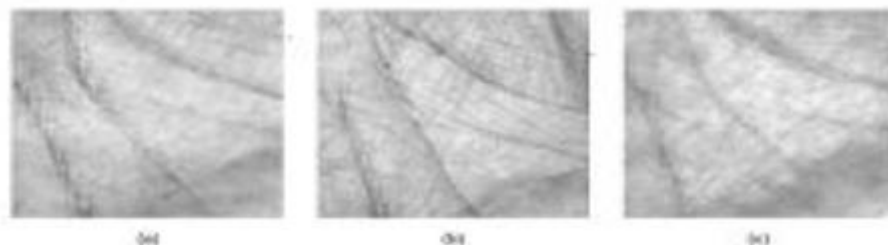


6. Approche d'identification en ligne par palmprint

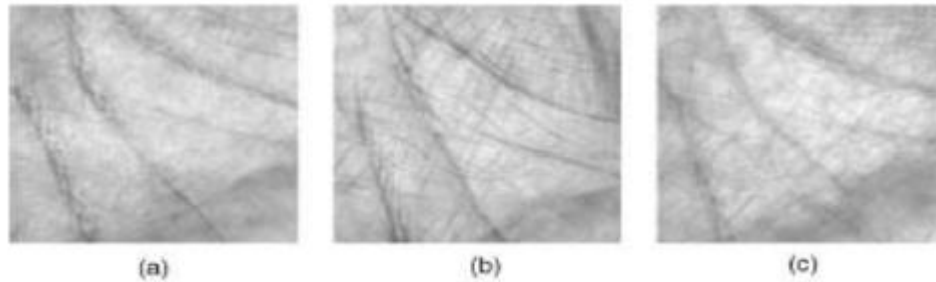
Les travaux de recherche conduits sur l'identification biométrique par palmprint suivent l'une des deux approches suivantes :

6.1 L'approche basée sur l'extraction des caractéristiques

L'extraction des caractéristiques est définie par un processus de conversion d'une image capturée, i.e. palmprint, en une unique, distinctive et compacte forme de telle sorte qu'on puisse la comparer avec un enregistrement de référence. Il est difficile d'obtenir un bon taux de reconnaissance en utilisant seulement les lignes principales à cause de leur ressemblance parmi différents individus. La figure suivante illustre ce phénomène en montrant les images de palmprints de trois individus ayant des lignes principales similaires.



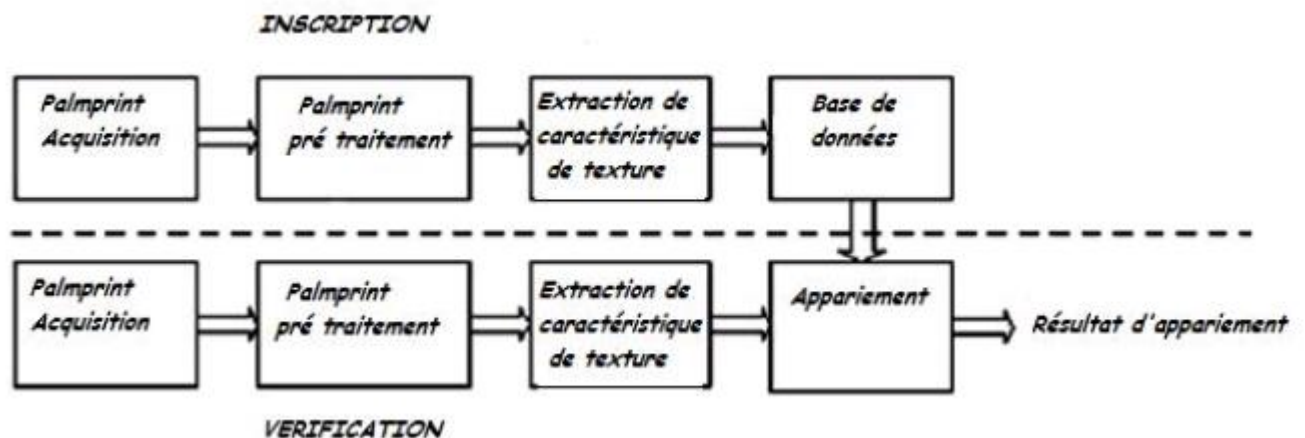
Un autre inconvénient de l'utilisation exclusive des lignes principales est le caractère flou que peut avoir quelques traits (les plis en particulier) lors de l'acquisition d'images de palmprint, comme le montre la figure suivante :



- L'une des solutions pour résoudre le problème engendré par l'utilisation exclusive des lignes principales est d'extraire les caractéristiques de texture des images de palmprints à basse résolution. Dans ce contexte plusieurs méthodes ont été utilisées, en particulier le codage de phase par le filtre de Gabor à deux dimensions. On retrouve aussi l'utilisation des ondelettes. D'autres chercheurs se sont basés sur les méthodes de projection telles que l'analyse par composante principale (Principle Component Analysis: PCA) et l'analyse des composantes indépendantes (Independent Component Analysis : ICA), ou encore le discriminant de Fisher et bien d'autres méthodes d'extraction des caractéristiques principales des palmprints.

- On résume les étapes dans un système à base d'extraction de caractéristiques comme suit :

- **Acquisition du palmprint** : L'image est capturée par un dispositif.
- **Pré traitement** : Traitement préalable à l'extraction des caractéristiques. Par exemple : calcul du centre de gravité.
- **Extraction des caractéristiques** : Certains filtres ou transformées comme le filtre de Gabor, ou transformée en ondelettes peuvent être appliqués pour extraire les informations.
- **Appariement (Matching)** : Une mesure de distances comme la distance Euclidienne ou le plus proche voisin peut être appliquée pour faire la correspondance de la similitude.
- **Base de données** : Elle est utilisée pour stocker les modèles obtenus dans la phase d'inscription.



6.2 L'approche basée sur la corrélation de phase (Phase Only Correlation : POC)

Cette approche utilise la phase de la transformée de Fourier discrète 2D pour établir l'appariement entre les images. Les avantages de cette approche se résument dans les points suivants :

- L'utilisation de l'information de la phase permet d'obtenir une reconnaissance robuste d'empreintes palmaires
- Réduit la taille des informations enregistrées par l'enregistrement des informations de phase
- Traite la distorsion non linéaire

- On considère deux images $g_1(n_1, n_2)$ et $g_2(n_1, n_2)$. La transformée de Fourier de g_1 et g_2 :

$$\begin{aligned} G_1(u, v) &= A(u, v)e^{j\phi(u, v)} \\ G_2(u, v) &= B(u, v)e^{j\theta(u, v)} \end{aligned}$$

Tels que :

- $A(u, v)$ dénote l'amplitude de g_1
- $B(u, v)$ dénote l'amplitude de g_2
- $\phi(u, v)$ dénote la phase de g_1
- $\theta(u, v)$ dénote la phase de g_2

Dans le domaine de Fourier, l'information relative aux caractéristiques des images est plus importante dans la phase que celle contenue dans l'amplitude.

Le spectre de phase croisée entre g_1 et g_2 est donné par :

$$Q_{g_1 g_2}(u, v) = e^{j(\phi(u, v) - \theta(u, v))}$$

La fonction de corrélation de phases (Phase Only Correlation : **POC**) entre deux images g_1 et g_2 est définie ainsi :

$$\begin{aligned} q_{g_1 g_2}(x, y) &= F^{-1} \left\{ \frac{G_1(u, v)G_2^*(u, v)}{|G_1(u, v)G_2^*(u, v)|} \right\} \\ &= F^{-1} \{ e^{j(\phi(u, v) - \theta(u, v))} \} \end{aligned}$$

Tels que :

- F^{-1} dénote la transformée de Fourier inverse
- G_2^* la conjuguée complexe de G_2

Quand deux images sont similaires, la fonction POC donne un pic aigu et distinct. Par contre si les deux images sont différentes, le pic diminue considérablement. Le haut du pic donne une bonne mesure de similarité pour les images.

7. Approche d'identification basée sur la POC

L'algorithme de cette approche se compose de 3 étapes : le prétraitement, l'extraction des caractéristiques et l'appariement (matching).

7.1 Prétraitement

Le but de cette étape est le calcul de la région d'intérêt (Region Of Interest : **ROI**) du palmprint :

- Calcul du centre de gravité du palmprint (c_1, c_2)
- Appliquer la fenêtre 2D Hanning sur le centre de gravité
- Extraire la région d'intérêt 100 x 100 pixels

a) Centre de gravité :

Le centre de gravité est exprimé par les formules suivantes :

Soit A_1, A_2, \dots, A_n , n points pondérés par les valeurs $\alpha, \beta, \dots, \gamma$, sachant que $\alpha + \beta + \dots + \gamma \neq 0$

$$X_c = \frac{(\alpha X_1 + \beta X_2 + \dots + \gamma X_n)}{(\alpha + \beta + \dots + \gamma)}$$

$$Y_c = \frac{(\alpha Y_1 + \beta Y_2 + \dots + \gamma Y_n)}{(\alpha + \beta + \dots + \gamma)}$$

Chaque point A_i de l'image a ses propres coordonnées (X, Y), qui représentent le numéro de la ligne et de la colonne respectivement, et la valeur de pondération qui représente la valeur d'intensité, qui est une valeur entre $[0, 255]$.

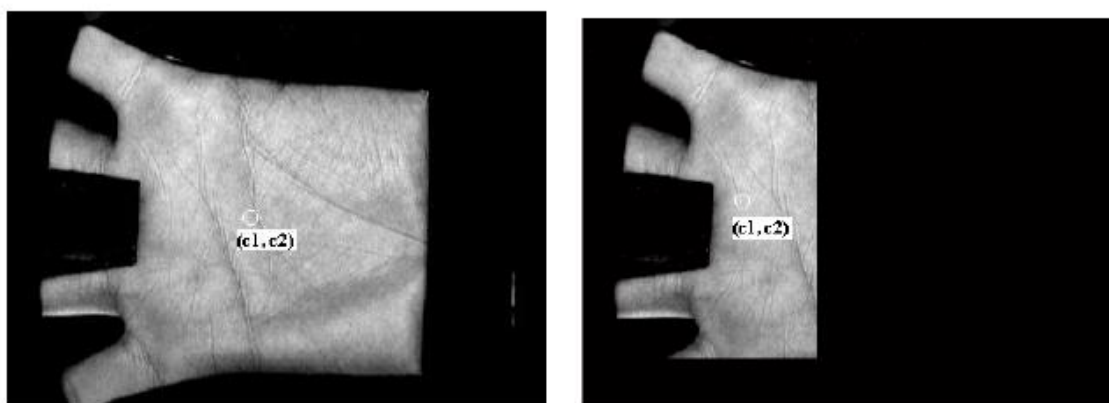


Figure : Le centre de gravité (c_1, c_2) pour deux images différentes

b) La fenêtre de Hanning :

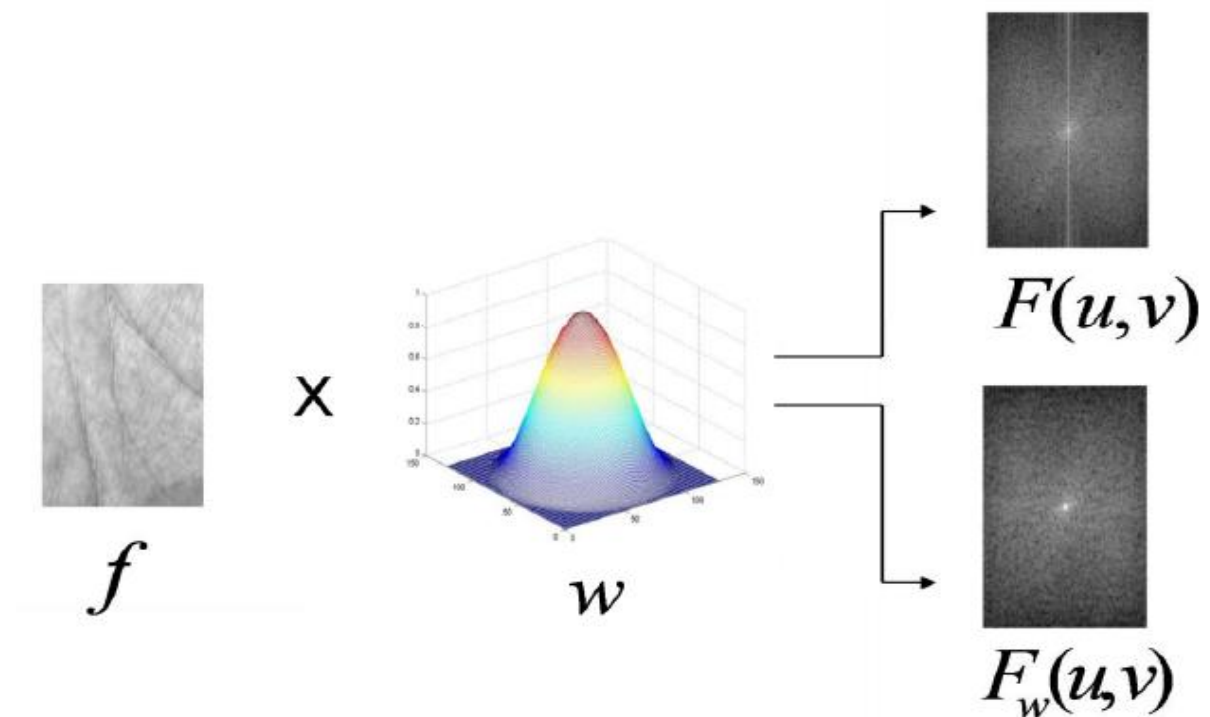
L'application de la fenêtre de Hanning sur le centre de gravité a pour objectif de :

- Aligner la rotation, le déplacement et la mise à l'échelle
- Réduire l'effet du fond de l'image

La formule générale de la fenêtre de Hanning 1D est donnée par la formule suivante :

$$w(x) = 0.5(1 - \cos(2\pi \frac{x}{N})), 0 \leq x \leq N$$

Pour avoir la fenêtre de Hanning 2D du centre de gravité (c_1, c_2), on applique la fenêtre de Hanning 1D sur c_1 , puis sur c_2 , et par la suite multiplier la première matrice obtenue et la transposée de la deuxième .



c) La région d'intérêt :

Après l'application de la fenêtre de Hanning sur l'image, on prend 50 pixels dans chaque sens, par la suite on va avoir une image de 100 x 100 pixels, ce qui représente notre région d'intérêt (ROI) comme le montre la figure suivante.



7.2 l'extraction des caractéristiques : vu précédemment.

7.3 L'appariement (Matching) :

L'appariement se base sur l'application de la POC sur la région d'intérêt de l'image du palmprint concernant la personne à identifier et l'image enregistrée. Le taux de similarité représente la valeur du plus haut pic représenté par POC.