

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene



Faculté d'Electronique et Informatique
Département Télécommunications

Mémoire de MASTER

Domaine : Sciences et Technologie

Spécialité : Télécommunications

Option : Télécommunications Réseaux et Multimédia

THEME

**Inspection de conformité des cartes électroniques basée
sur la vision industrielle**

Proposé et dirigé par :

Mr OUZNADJI Said

Mme BOUTARFA Souhila

Soutenu le : 23 Juin 2018

Présenté par :

Mr ATTAR Mehenni

Devant le jury composé de :

Président : Mme BELHADJ AISSA

Examinateur : Mr DJAMAI

Promoteur : Mr OUZNADJI

Co-promoteur : Mme BOUTARFA

Promotion : 2017-2018

Sommaire

Remerciements	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Liste des symboles	
Introduction Générale	1
CHAPITRE I : Systèmes d'inspection par la vision industrielle	
I.1. Introduction	2
I.2. Contrôle qualité dans l'industrie.....	3
I.2.1. Définition	3
I.2.2. Avantages du contrôle qualité par vision	3
I.3. Vision industrielle	3
I.3.1. Principe	3
I.3.2. Types de visions industrielles	4
I.3.3. Evolution des systèmes de vision industrielle	5
I.3.4. Architecture d'un système de vision	6
I.4. Inspection des cartes électroniques par la vision industrielle.....	6
I.4.1. Introduction	6
I.4.2. Production des cartes électroniques	6
I.4.3. Evolution des technologies de production des PCB	7
I.4.4. Classification des défauts	8
I.5. Stratégie d'inspection optique	9
I.5.1. Introduction	9
I.5.2. Système d'inspection optique automatique AOI	10
I.6. Conclusion	11
CHAPITRE II : Conception et spécifications techniques	
II.1. Introduction	12
II.2. Présentation globale du système	13
II.3. Phase d'acquisition	14
II.3.1. Conception de la machine d'inspection.....	14
II.3.2. Gafcet du point de vue fonctionnel	15
II.3.3. Choix de la caméra	15
II.3.4. Choix de l'éclairage.....	15
II.4. Phase du prétraitement	16
II.4.1. Sélection de carte à inspecter.....	16

Sommaire

II.4.2. L'alignement de l'image.....	16
II.4.2.1 Processus d'alignement de l'image.....	17
II.4.2.2 Logigramme	17
II.5. Phase d'analyse	20
II.5.1. Détection de défauts	20
II.5.1.1. Logigramme	20
II.5.1.2. Binarisation	21
a. Segmentation par seuillage d'OTSU.....	21
b. Segmentation par seuillage manuel	22
II.5.1.3. Différence d'image	22
II.5.1.4. Filtrage morphologique.....	23
II.5.2. Détection et classification des composants électroniques	23
II.5.2.1 Logigramme	25
II.5.2.2 Séparation des deux régions de l'image du PCB	26
II.5.2.3. Lissage gaussien.....	27
II.5.2.4. Détection de contours	28
a. Algorithme de détection de contour.....	29
b. Différence de gaussienne	29
II.5.2.5. Détection des composants électroniques par convolution	30
a. Logigramme	31
b. Principe	32
II.5.2.6. Classification des composants détectés	34
a. Détection de couleur	34
b. Logigramme.....	35
II.5.2.7. Création de la base de données	36
II.5.2.8. Identification des composants défectueux	36
II.6. Phase d'interprétation.....	36
II.6.1. Environnement de développement	36
II.6.2. Présentation de l'interface graphique	37
II.7. Conclusion.....	38
CHAPITRE III : Evaluation des résultats	
III.1. Introduction	39
III.2. Déroulement du travail expérimental.....	40
III.2.1. Correction de rotation.....	40
III.2.2. Binarisation	41
III.2.2.1. Seuillage globale fixe	41
III.2.2.2. Seuillage automatique OTSU	42

Sommaire

III.2.3. Différence d'image.....	42
III.2.4. Filtrage morphologique	43
III.2.5. Identification des composants électroniques par convolution.....	44
III.2.5.1. Séparation de l'avant plan de l'arrière plan.....	44
III.2.5.2. Lissage gaussien	45
III.2.5.3. Détection de contours	47
III.2.5.4. Détection des composants par convolution	48
III.2.5.5. Classification des composants	51
III.3. Essais du logiciel d'aide à la décision.....	53
III.4. Etude de performance	54
III.5. Conclusion	55
Conclusion générale	56
Références bibliographiques	57
Annexes.....	59

Introduction générale

L'inspection optique automatique (AOI) est un processus de contrôle qualité. Il évalue la qualité des produits manufacturés à l'aide d'informations visuelles. Parmi plusieurs utilisations, l'une est l'inspection de PCB (Printed Circuits Boards) après une séquence d'assemblage, c'est-à-dire l'impression de pâte, le placement de composants et la soudure.

De nos jours, le montage en surface CMS est la technologie principale de production des cartes électroniques. Il peut être facilement automatisé. L'utilisation répandue de SMT (Surface Mount Technology) dans l'assemblage des PCB a entraîné une réduction de la taille des composants et une augmentation de la densité des composants. Parallèlement à cela, le processus de production de PCB est lourd et complexe et les lignes de production ont un très haut taux de productivité, ceci a entraîné des défauts sur les cartes tel qu'un composant manquant, manque de soudure, manque de trous...etc d'où la nécessité d'avoir un processus d'inspection et de contrôle performant au niveau de ces lignes de production.

Le principal avantage de ces systèmes est leur capacité à détecter les défauts plus tôt et non seulement après que le produit ait été assemblé. Ajouter à cela, ils améliorent la précision de l'inspection et l'efficacité de la détection. Les systèmes AOI peuvent être utilisés afin d'inspecter la qualité à chaque étape du processus de fabrication de la carte électronique. En conséquence, il existe de réels avantages financiers en utilisant de tels systèmes.

L'objectif des méthodes proposées dans ce projet consiste à détecter les défauts des cartes électroniques assemblées en série qui influent sur leur rendement. Cela peut être atteint par des programmes informatiques utilisant des techniques de traitement d'images : la segmentation, la corrélation, la convolution, le filtrage, détection de contours, détection de couleur...etc.

Ce document est répartit en trois chapitres :

- Chapitre I : Systèmes d'inspection par la vision industrielle.
- Chapitre II : Conception et spécifications techniques.
- Chapitre III: Evaluation des résultats

01

Systèmes d'inspection par la vision industrielle

I.1. Introduction

Dans l'industrie, le contrôle qualité fait appel à des techniques scientifiques afin d'améliorer la productivité et la qualité des produits. Dans ce contexte, nous intéressons à un aspect du contrôle qualité des cartes électroniques par la vision industrielle.

Les fabricants de cartes électroniques font face à l'exigence sans cesse croissante de réduire leurs coûts, d'améliorer la qualité de leurs produits et de raccourcir leurs délais de mise sur le marché. Ces impératifs imposent de bien maîtriser les processus de fabrication et donc d'avoir une stratégie de contrôle de qualité bien adaptée.

Au cours des dernières décennies, la fabrication en grande série de circuits imprimés assemblés a enregistré une évolution rapide. Le design des PCB gagne en complexité, il est de plus en plus difficile de placer les points de tests : les joints de soudure sont en effet de plus en plus rapprochés, les composants électroniques sont aussi de plus en plus petits.

Il est donc essentiel d'automatiser chaque étape du processus d'inspection afin de répondre au niveau de qualité de production globale désirée.

I.2. Contrôle qualité dans l'industrie

I.2.1. Définition

Le contrôle qualité fait référence à toutes les activités réalisées par les fabricants dans le but de déterminer, avec des moyens appropriés, si le produit contrôlé répond ou non à ses spécifications et aux exigences préétablies et incluant une décision d'acceptation, de rejet ou de retouche [1]. Un contrôle de qualité est défini par un certain nombre de paramètres : [2]

- La fréquence de contrôle : systématique, par prélèvement.
- Le type de contrôle : non destructif, destructif.
- La méthode de contrôle : par mesure, par comparaison, par appréciation (Contrôle visuel par exemple).
- Les moyens de contrôle à utiliser : appareil de mesure, référentiel.
- L'entité qui réalise le contrôle : personnel de fabrication, machine de vision.

I.2.2. Avantages du contrôle qualité par vision [3]

- Souple d'emploi et permet une très grande variété d'utilisation.
- Permet de réaliser simultanément plusieurs mesures, éventuellement de nature différente.
- Permet des mesures sans contact et non destructives, avec une vitesse et une précision appréciables.
- Permet de rendre objectives certaines mesures et de garantir ainsi la répétabilité de l'apparence des objets (constance de la couleur, de la forme, ...).
- Permet de remplacer des opérateurs humains dans des tâches fastidieuses qui requièrent attention et concentration.

I.3. La vision industrielle

I.3.1. Principe

La vision industrielle consiste à prendre une image ou plusieurs images de l'objet à inspecter. Les images sont capturées grâce à une ou plusieurs caméras, ensuite les images sont numérisées pour être utilisables par un logiciel d'aide à la décision dédié au contrôle considéré. Le traitement de l'image ayant été réalisé, une décision est prise par rapport à des critères prédéfinis et une action est effectuée [4]

I.3.2. Types de visions industrielles

Il existe plusieurs types de visions [URL1] :

- **Vision 2D**

Appelée la vision « classique », la vision dans un plan est la plus répandue sur le marché aujourd'hui. Les caméras utilisées dans l'inspection effectuent des analyses matricielles ou linéaires.

- **Vision 3D**

Les systèmes de vision industrielle 3D comprennent généralement plusieurs caméras, ou bien un ou plusieurs capteurs de déplacement laser. Le principe peut être résumé comme suit :

Un faisceau laser est projeté sur l'objet à contrôler, une caméra matricielle placée à environ 45° par rapport au plan (laser; objet) prend une photo de la trace laser sur l'objet. Des calculs géométriques basés sur le principe de triangulation permettent de modéliser l'objet considéré en 3D.

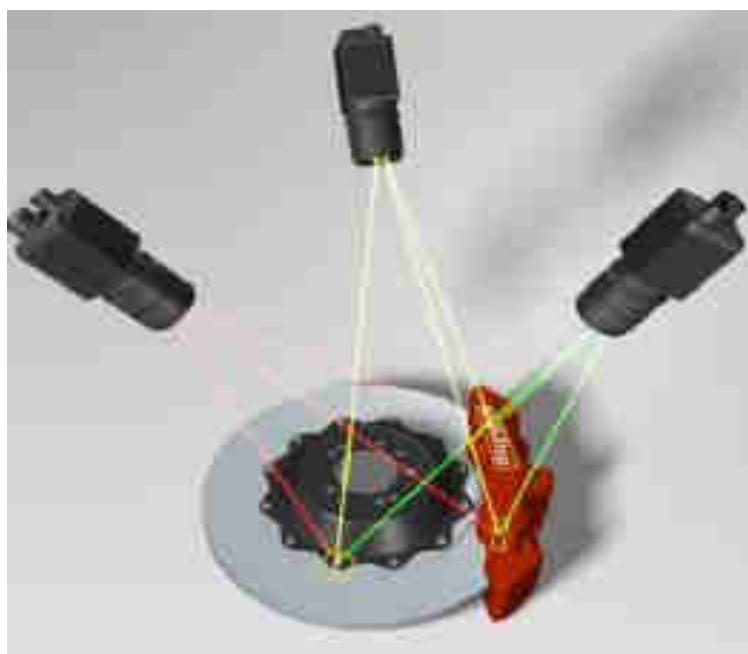


Figure I.1 : système de vision 3D employant plusieurs caméras

- **Vision par rayon X**

Parfois il est nécessaire d'effectuer un contrôle non destructif d'un produit c'est pour ça qu'on utilise une machine de vision intégrant des rayons X.

- **Vision thermique**

Basée sur la détection des zones de défaut (paroi plus mince...) issue de la différence de températures des zones d'un objet. Ces zones ne peuvent pas être détectées avec une caméra classique.

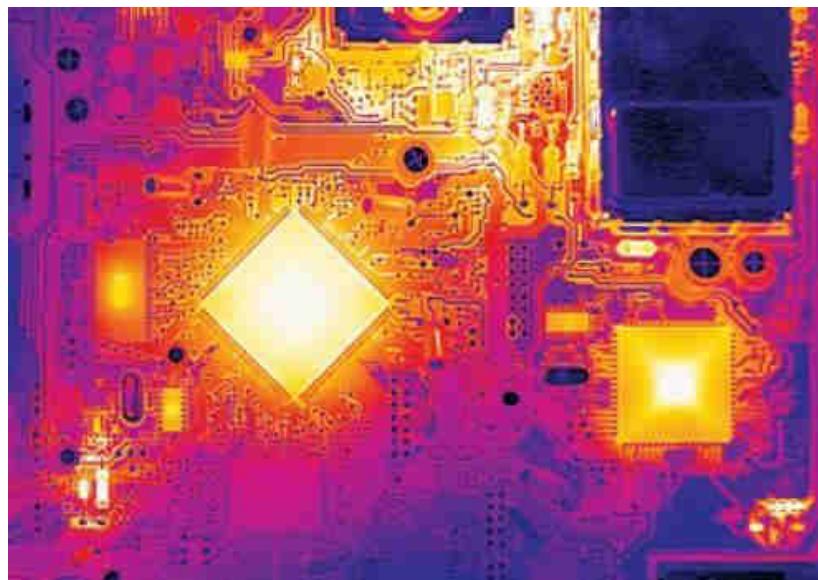


Figure I.2 : Carte électronique capturée par une caméra thermique

I.3.3. Evolution des systèmes de vision industrielle

Dans l'environnement industriel, la mise en place d'un système de vision commence par une série de choix [URL2] :

- la définition du système optique (objectifs, caméra, carte d'acquisition) : permet d'optimiser la résolution de la caméra à la taille de l'objet à inspecter.
- la définition de l'éclairage : permet de réduire les prétraitements logiciels.
- la définition des algorithmes les mieux adaptés pour l'inspection : permet d'améliorer la précision.
- la définition du mode de communication du système de vision : permet de bâtir un réseau plus ou moins complexe, en fonction des tâches attendues.

Fondamentalement, la vision industrielle comporte donc deux séquences, l'une est l'acquisition de l'image, l'autre est le traitement de cette image par un logiciel.

I.3.4. Architecture d'un système de vision

Un système de vision peut se présenter sous forme de plusieurs architectures matérielles. La première comprend un PC : le système de vision est alors composé d'une caméra, d'un câble, d'une carte d'acquisition, d'un programme informatique. Le second type est un système embarqué, l'interprétation des images est effectuée dans une caméra « intelligente » qui embarque toute la puissance de calcul indispensable. Cette réunion dans un même boîtier de la partie acquisition et de celle du traitement d'image tend à diminuer les coûts, l'encombrement et le temps de transmission.

I.4. Inspection des cartes électroniques par la vision industrielle

I.4.1. Introduction

Dans le cadre de ce projet, nous intéressons au développement d'un logiciel d'inspection de conformité des cartes électroniques par la vision industrielle, la vérification va se faire par rapport à une carte référence « de calibration », pour arriver à développer ce logiciel, nous nous intéressons à certains points que nous expliquerons par la suite.

I.4.2. Production des circuits imprimés

Il existe plusieurs techniques pour le processus de fabrication des cartes électroniques, le traitement de production principal est résumé sur le schéma suivant [URL3] :

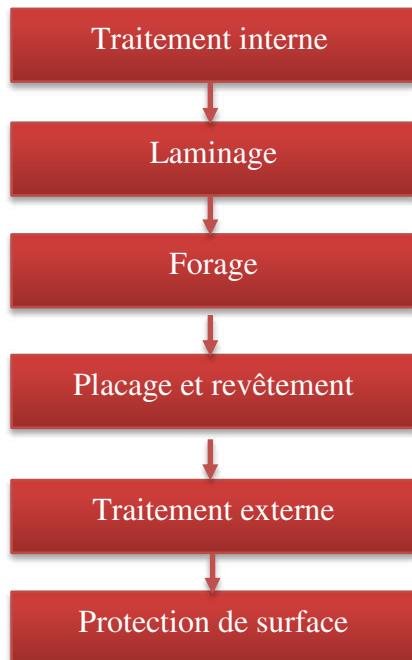


Figure I.3 : Schéma explicatif du processus de production de cartes électroniques

I.4.3. Evolution des technologies de production des circuits imprimés

Les cartes de circuits électroniques produites en masse doivent être fabriquées de manière hautement mécanisée pour assurer le coût de fabrication le plus bas. Les composants électroniques traditionnels au plomb ne se prêtent pas à cette approche. Bien qu'une certaine mécanisation ait été possible, les conducteurs de composants devaient être préformés. De même, lorsque les conducteurs étaient insérés dans des cartes, des problèmes étaient souvent rencontrés, car les câbles ne s'adaptaient souvent pas correctement, ce qui ralentissait considérablement les cadences de production. [URL4]



Figure I.4 : PCB avec des composants traditionnels

Ces jours-ci, tout le matériel électronique de masse produit est fabriqué en utilisant la technologie de montage en surface CMS. Les composants électroniques sont plus petits, offrent souvent un meilleur niveau de performance et peuvent être utilisés avec une machine automatique de sélection et de placement qui, dans de nombreux cas, éliminent le besoin d'une intervention manuelle dans le processus d'assemblage.

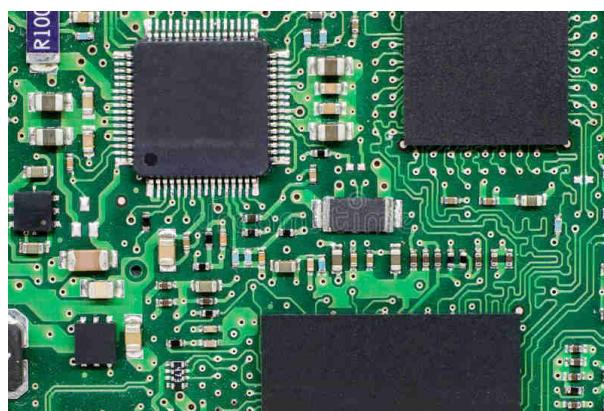


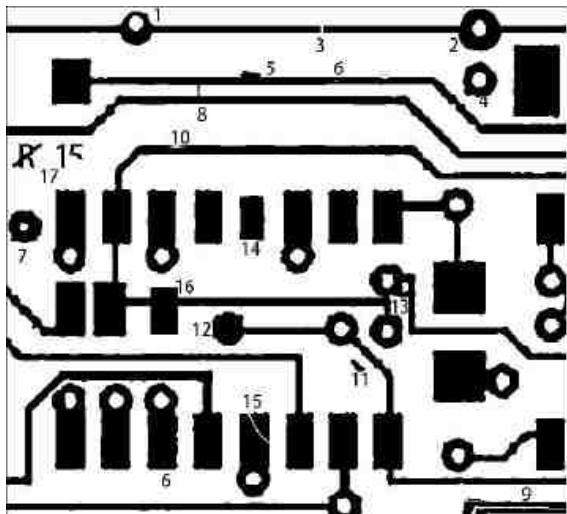
Figure I.5 : PCB avec des composants montés en surface

I.4.4. Classification des défauts

Chaque étape du processus de fabrication peut introduire des défauts dans la carte. Ces derniers peuvent causer des dysfonctionnements dans l'action demandée.

Suivant la gravité des défauts, nous pouvons les classer en deux types qui sont les défauts essentiels et les défauts potentiels. Les défauts essentiels peuvent entraîner l'indisponibilité complète de la carte. Les défauts potentiels peuvent provoquer une défaillance du circuit imprimé lors d'une utilisation normale.

La figure I.6 présente une carte avec plusieurs défauts. [5]



- 1- Circuit ouvert
- 2- Manque de fil
- 3- Bavure de métal
- 4- Trou d'épingle
- 5- Trou trop petit
- 6- Court-circuit
- 7- Le fil est trop proche
- 8- Morsure
- 9- Mauvaise corrosion
- 10- Manque de trou
- 11- Fil de cuivre supplémentaire
- 12- Corrosion excessive
- 13- Rayure
- 14- Abri
- 15- Défauts de la lettre

Figure I.6: PCB avec plusieurs défauts avant placement des composants

Les défauts présentés ci-dessus concernent le circuit imprimé avant placement des composants. Il existe aussi des défauts après placement des composants, à savoir, le manque d'un ou plusieurs composants, composants inversés, composants mal placés et composants défectueux. La figure ci-dessous présente une carte sans et avec composant manquant.

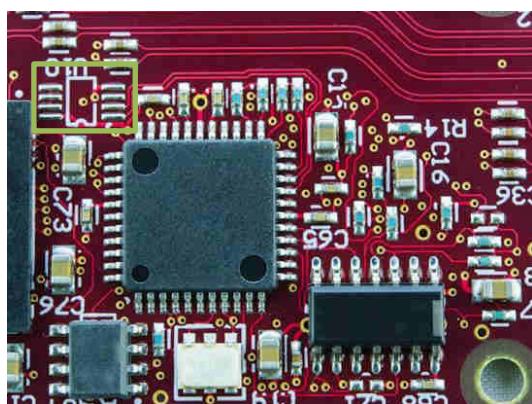


Figure I.7: Cartes électronique avec un composant manquant

Le tableau suivant montre la classification des différents défauts :

Tableau I.1 : Classification des défauts

Les défauts essentiels	Les défauts potentiels
Circuit ouvert	Corrosion excessive
Court-circuit	Mauvaise corrosion
Composant manquant	Morsure
Composant erroné	Défauts de lettre
Composant inversé	
Composant défectueux	

- **Court-circuit**

Lors de la fixation des composants électroniques, des gouttes d'éteint peuvent se précipiter aléatoirement et relier entre deux pistes. Cela peut causer des courts-circuits.

- **Circuit ouvert**

Il est dû à un manque d'éteint sur une piste causant une ouverture sur cette dernière.

- **Composant manquant**

Le composant peut tomber de la carte au cours du glissement dans la ligne de montage.

- **Composant inversé**

Il peut y avoir plusieurs causes, à savoir, certains composants sont très petits,...etc.

I.5. Stratégie d'inspection optique

I.5.1. Introduction

Les stratégies de tests des cartes électroniques par la vision industrielle prennent en compte différents outils, généralement dans l'industrie nous trouvons les machines d'inspection optique automatique (AOI, Automation Optical Inspection).

I.5.2. Système d'inspection optique automatique

Le système d'inspection optique automatique peut récolter des milliers de points de données (pixels) en une fraction de seconde. Ces points de données sont utilisés pour l'inspection visuelle.



Figure I.8 : machine d'inspection optique automatique

Le système d'inspection optique automatique va scanner la surface du circuit imprimé. Ce dernier est éclairé par plusieurs faibles lumières et analysé par un scanner ou par plusieurs caméras de haute définition. Cela permet le contrôle de toutes les parties du circuit imprimé même celles potentiellement cachées par d'autres composants.

Chaque fabricant de machines automatiques d'inspection optique utilise des systèmes d'inspection différents utilisant des algorithmes et des techniques d'éclairage qui varient.

Les méthodes communes dans le développement de ces systèmes d'inspection optique automatique sont toutes basées sur le traitement d'image, qui peuvent être classées en trois catégories qui sont :

- Les tests basés sur la valeur standard (modèle de référence)
- Détection non standard
- Méthode d'essai hybride

Le test basé sur la valeur standard comprend un test de comparaison d'image basé sur un modèle de calibration. La détection non standard inclut le traitement morphologique et l'analyse des limites qui est un traitement et une analyse d'image non linéaire. Quant au dernier, le test hybride est l'utilisation intégrée des deux méthodes précédentes. [URL5]

I.6. Conclusion

Depuis les années 80, les outils de contrôle de qualité des cartes électroniques par la vision industrielle n'ont pas cessé d'évoluer avec l'évolution des circuits imprimés et la complexité de leur design.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les défauts les plus courants dans les circuits imprimés et les outils de tests existants. Le chapitre suivant traitera les différentes étapes de conception et du développement du logiciel d'aide à la décision.

Chapitre

02

Conception et spécifications techniques

II. 1.Introduction

Au niveau des unités de production, le contrôle des cartes électroniques se fait manuellement. Ce processus nécessite de nombreux opérateurs à la ligne d'assemblage pour détecter les composants manquants et les éventuels défauts, mais avec le développement de PCB et aussi la production à grande échelle, dans plus de 50 processus de suivi, il y a un besoin urgent de libérer les gens du travail manuel.

L'alternatif c'est de faire appel à d'autres outils tels que les machines d'inspection optique automatique, cependant ces machines qui sont assez performantes coutent très chères d'où vient l'idée de concevoir un outil d'inspection et de contrôle de qualité.

Ce chapitre explique le fonctionnement du système d'inspection et les différentes techniques utilisées dans l'objectif principal d'atteindre les meilleures performances.

II. 2. Présentation globale du système d'inspection

Le système d'inspection par la vision industrielle se compose principalement de quatre phases, ces dernières se répartissent de la façon suivante :

Phase d'acquisition

Concerne l'extraction de l'image sous forme numérique. L'éclairage et les caméras sont nécessaires pour cette étape. Il s'agit d'une étape importante car, bien réalisée, l'acquisition permet de simplifier les étapes de traitement et d'analyse.

Phase du prétraitement

Regroupe un ensemble de techniques destinées à corriger les déformations géométriques avant d'entamer la phase suivante (phase de l'analyse).

Phase de l'analyse

Elle a pour but l'extraction de l'information caractéristique contenue dans l'image corrigée. Elle recourt à diverses techniques telles que celles de segmentation (seuillage), de filtrage (Filtrage morphologique, filtrage gaussien...etc.), ainsi que des opérations logiques (XOR) pour la détection de défauts.

Phase d'interprétation

Sur la base des caractéristiques extraites telles que celles des positions, types,...etc., la liste des défauts détectés lors de l'inspection est dégagée.

La figure II.1 représente une vue globale du système :

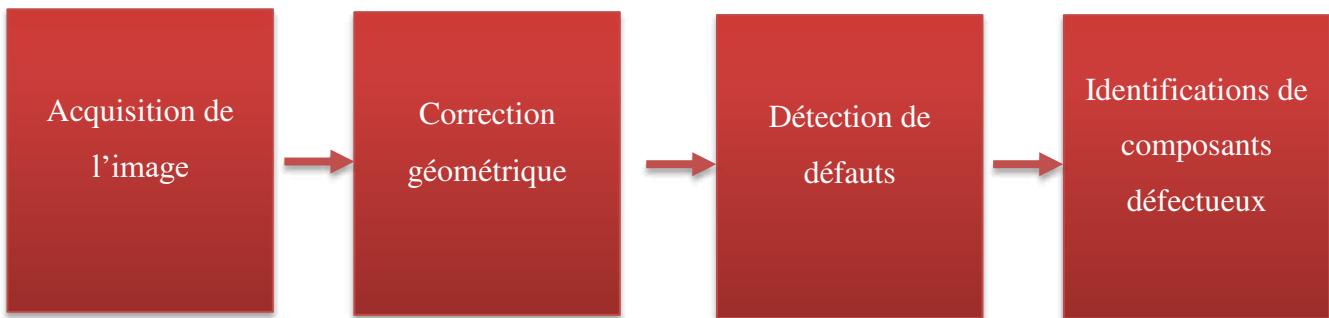


Figure II.1 Schéma explicatif du processus d'inspection des PCB

Les détails de chaque phase sont présentés dans les prochaines sections.

II. 3. Phase d'acquisition

Cette phase comprend les étapes suivantes :

II. 3.1. Conception de la machine d'inspection

La réalisation d'une machine d'inspection n'est pas assez simple et nécessite un intervalle de temps assez important et beaucoup d'investissements (caméras professionnelles de haute résolution, éclairage uniforme, tapis roulant, moteur...etc.). Dans ce cas le projet est limité à la conception du système, son fonctionnement ainsi que le développement d'un logiciel d'aide à la décision. Ce dernier assure certaines fonctionnalités d'inspection de conformité des cartes électroniques.

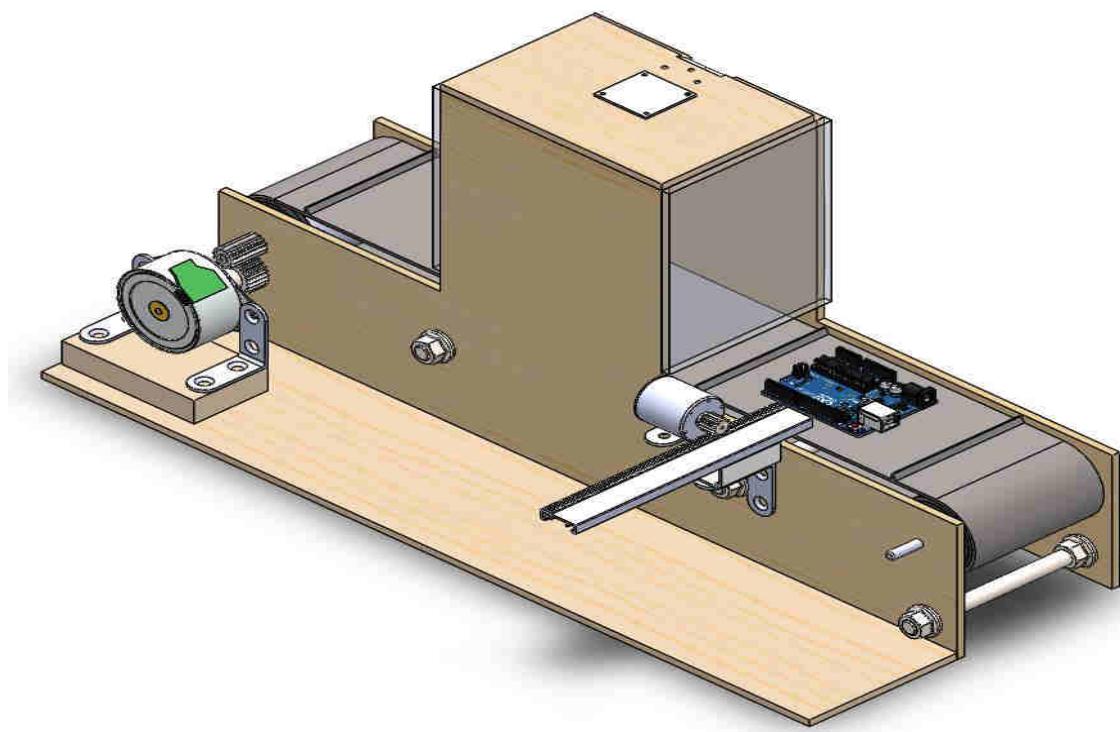


Figure II.2 : Aperçu de la machine d'inspection conçue

La conception de la machine d'inspection est réalisée sous Solidworks, cette dernière contient :

- Un convoyeur
- Un bloc d'éclairage : éclairage uniforme avec des LED blanches.
- Une caméra : connectée IP ou USB à un micro-ordinateur.
- Un vérin : rejet de la carte défectueuse.
- Un bloc d'alimentation.

II. 3.2. Graftet du point de vue fonctionnel

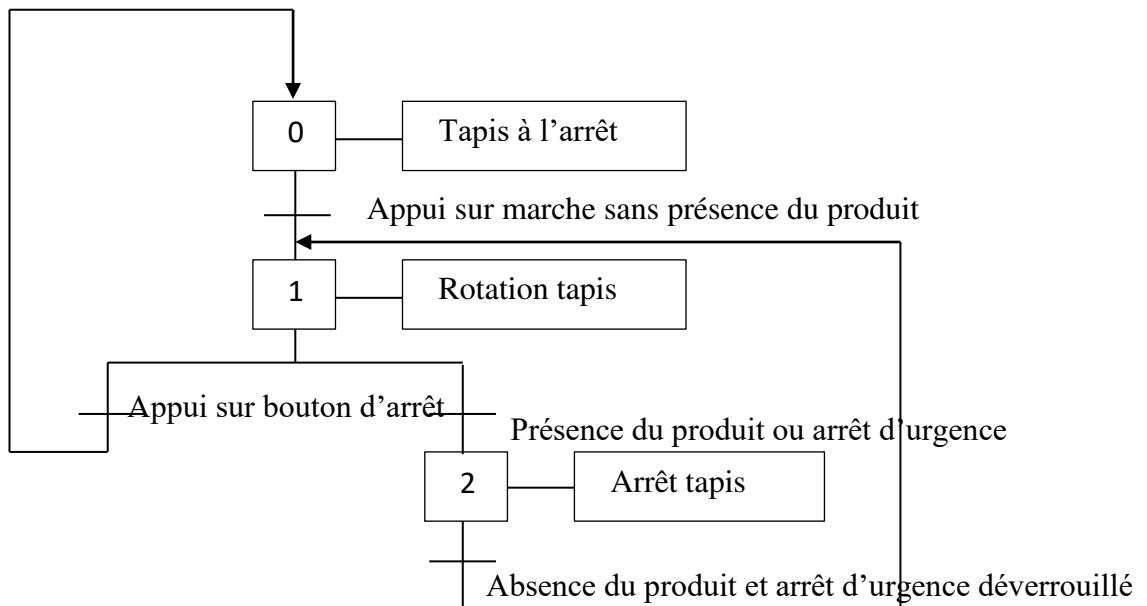


Figure II.3 : Graftet de fonctionnement du convoyeur

II. 3.3. Choix de la caméra

Le choix de la caméra se fait suivant le produit à inspecter, linéaire ou matricielle ?

Une caméra linéaire est constituée d'une seule rangée de capteurs. C'est le mouvement relatif de la scène par rapport à la caméra qui va reconstituer une image par balayage. Ces capteurs permettent d'atteindre des vitesses et des résolutions élevées, quant à une caméra matricielle, les pixels qui composent son capteur forment une matrice de taille $n \times m$. [URL6]

Pour le contrôle qualité des cartes électroniques, une caméra linéaire est recommandée.

II. 3.4. Choix de l'éclairage

L'éclairage est un élément déterminant dans un système de contrôle par la vision industrielle, l'image qui arrive au capteur de la caméra résulte de l'interaction de la lumière avec la scène observée. Pour minimiser les traitements logiciels, il est nécessaire d'obtenir un éclairage distribué de façon parfaitement uniforme et homogène.

Malheureusement, il est très difficile en pratique d'assurer cette uniformité, et la constance de l'intensité au cours du temps. De plus, des effets tels que les ombres portées, qui occultent une partie de la scène, ou les reflets, qui éblouissent le capteur, engendrent des défauts qui affectent l'analyse des images.

II.4. Phase du prétraitement

Les étapes de cette procédure sont les suivantes :

II. 4.1. Sélection de la carte à inspecter

L'algorithme d'inspection est basé sur un modèle de référence, il faut d'abord choisir le type de carte à inspecter avant de procéder aux étapes suivantes.

II. 4.2. L'alignement de l'image

Dans l'environnement de détection réel, nous ne pouvons pas être sûrs que les cartes électroniques sont toujours dans le même emplacement et la direction, de sorte que nous devons procéder à une correction géométrique aux images prises et les aligner dans le même angle que l'image standard pour faire la comparaison.

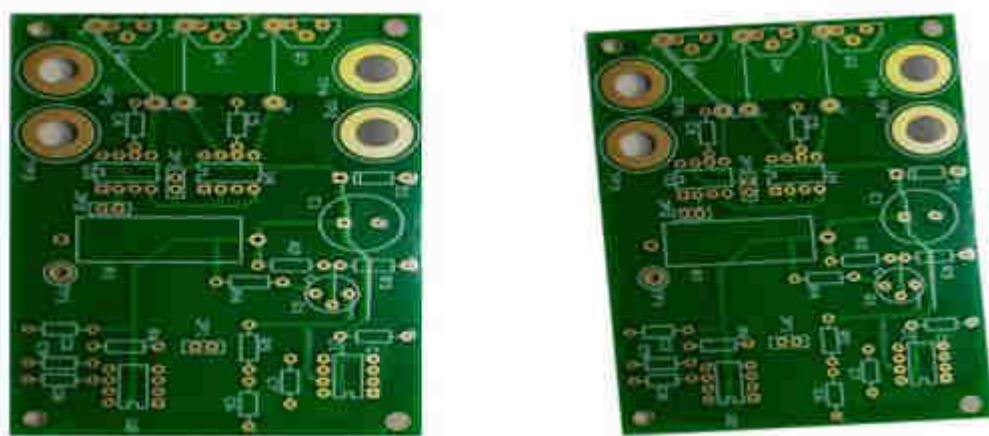


Figure II.4 : Image du PCB avec une certaine rotation

En vision par ordinateur et en traitement d'images, la détection de zone d'intérêt consiste à mettre en évidence des zones de cette image jugées « intéressantes » pour l'analyse, c'est-à-dire présentant des propriétés locales remarquables, de telles zones peuvent apparaître selon la méthode de détection utilisée, sous la forme de points, de courbes continues...etc.

Afin d'aligner l'image prise comme l'image standard, nous avons utilisé l'algorithme SURF (sous Matlab), cet algorithme est le plus puissant existant actuellement parmi les algorithmes de détection d'objets par détection de concordances de points.

Le taux de détection atteint 85% de réussite avec un bon paramétrage ainsi qu'il est reconnu pour sa rapidité de calcul [URL6]

II. 4.2.1. Processus d’alignement de l’image

Les étapes d’alignement de l’image sont montrées dans la figure II.5 :

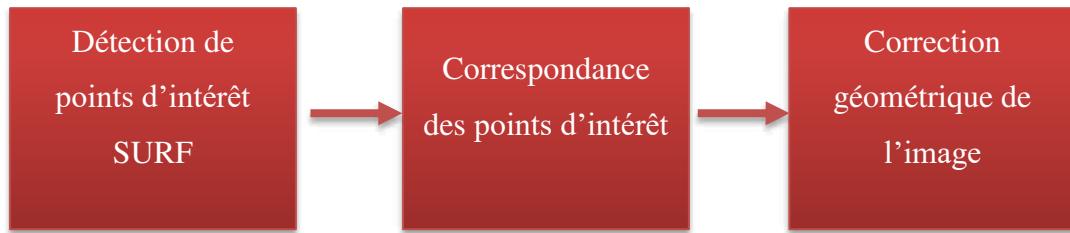


Figure II.5 : Schéma explicatif du processus d’alignement de l’image

II. 4.2.2. Logigramme

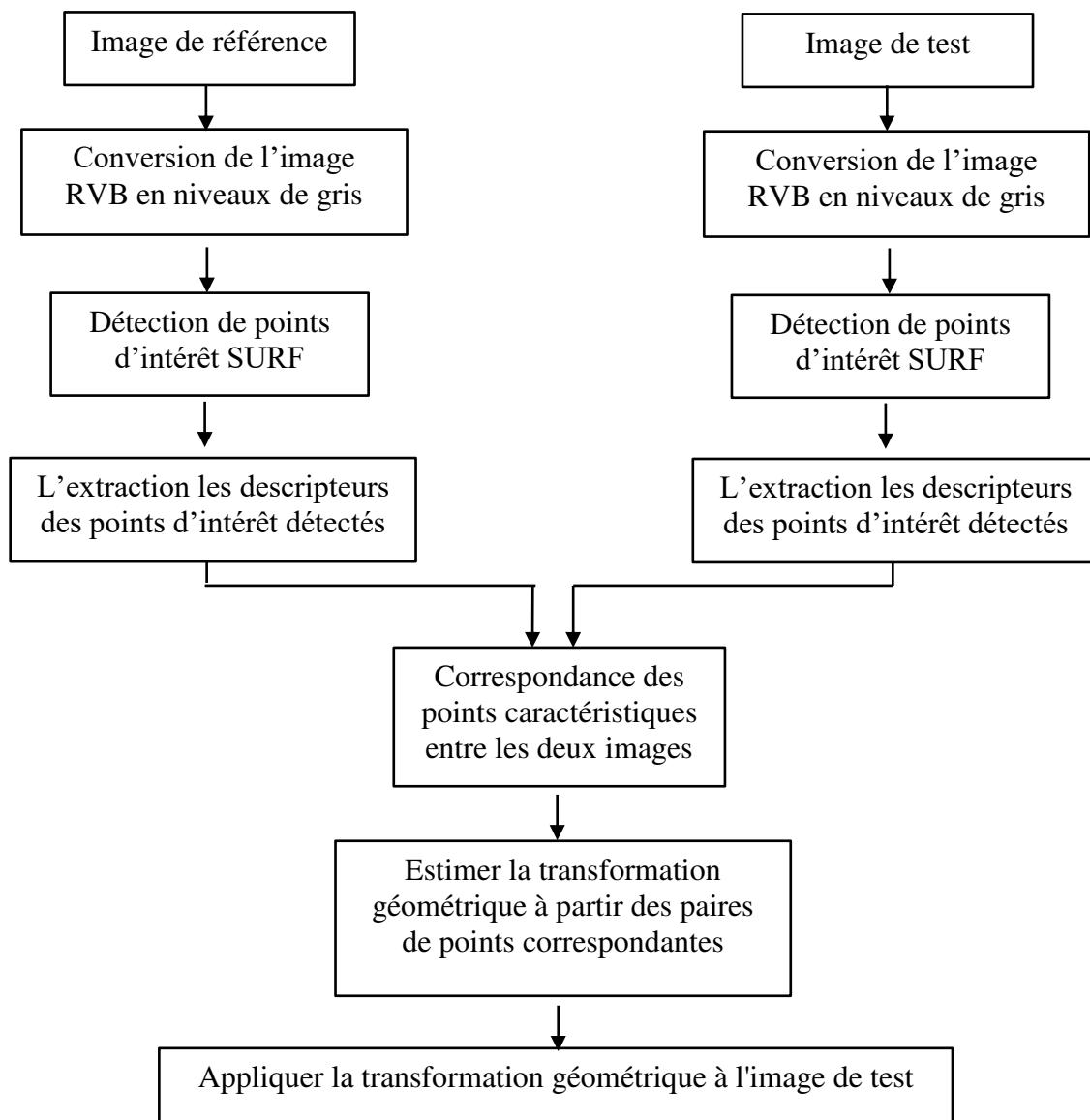


Figure II.6 : Organigramme du programme d’alignement d’image

Tout d'abord, les images traitées sont très grandes et comprennent trop de points caractéristiques, c'est pour cela que nous avons limité les points avec la métrique de la propriété maximale. Par exemple, nous définissons le nombre maximum de points = 1000, de façon que seuls les 1000 points caractéristiques de SURF avec la mesure maximale seront pris. La figure II.7 présente les points d'intérêt SURF détecté sur une image de circuit imprimé.

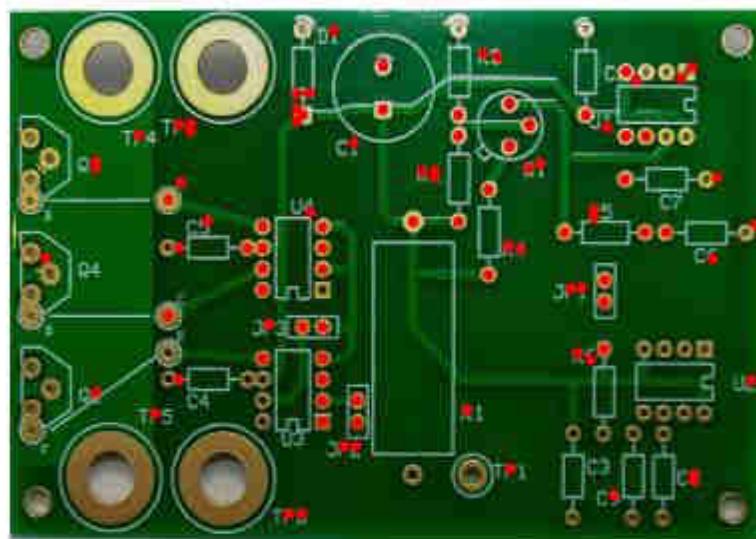


Figure II.7 : les points d'intérêts dans l'image du PCB en rouge

L'étape suivante est l'extraction des descripteurs de points d'intérêts dans chaque image. Ces descripteurs servent à correspondre les points caractéristiques entre les deux images, (Figure II.8)

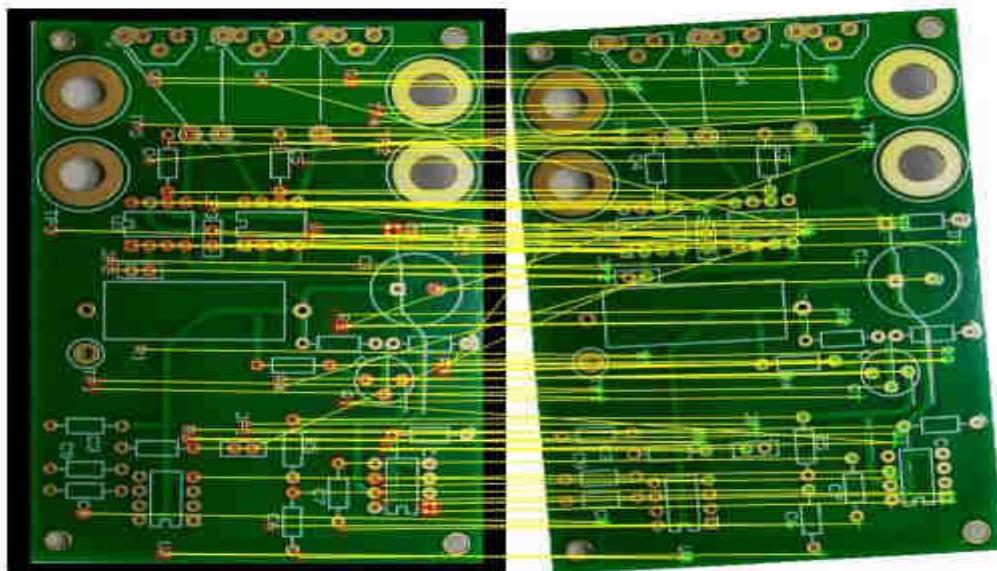


Figure II.8 : Correspondance des points d'intérêt SURF entre les deux images

Comme nous pouvons constater, il y a quelques fausses correspondances. Pour pallier à ce problème, nous utilisons l'algorithme M-estimator SAmple Consensus (MSAC). Cet algorithme supprimera les mauvais échantillons du groupe d'échantillons. Le résultat est montré dans la figure ci-dessous :

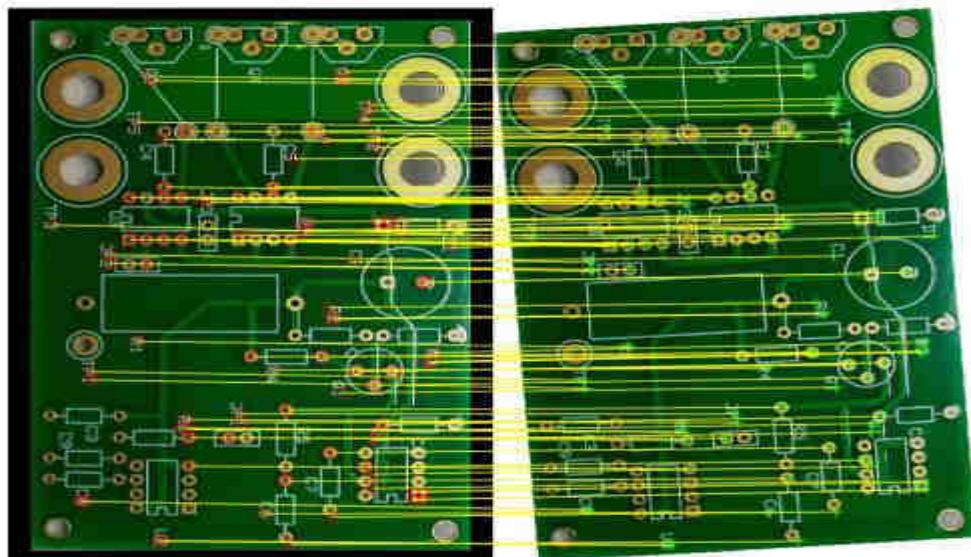


Figure II.9 : Correspondance des points d'intérêt entre les deux images

Après avoir obtenu les points d'intérêt de la section précédente, nous procédons ensuite à la correction géométrique et l'alignement de l'image telle que l'image standard. La figure II.10 présente le résultat d'alignement de l'image.

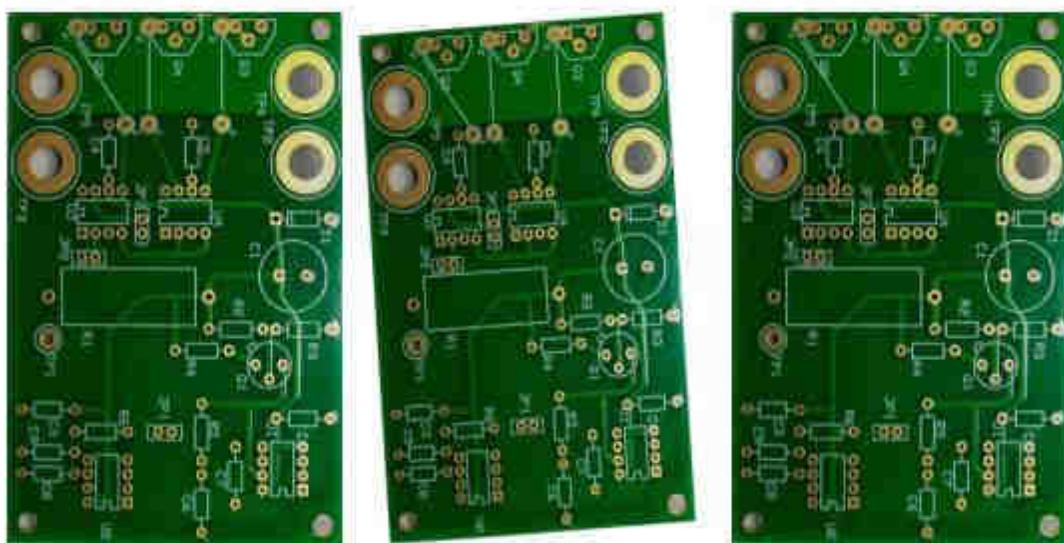


Figure II.10 : Résultat d'alignement de l'image

II.5. Phase d'analyse

Dans cette phase, on doit suivre les étapes suivantes :

II.5.1. Détection de défauts

Après avoir aligné l'image de test dans le même angle que l'image de référence, la détection de défauts consiste à comparer les deux images pixel par pixel.

II.5.1.1. Logigramme

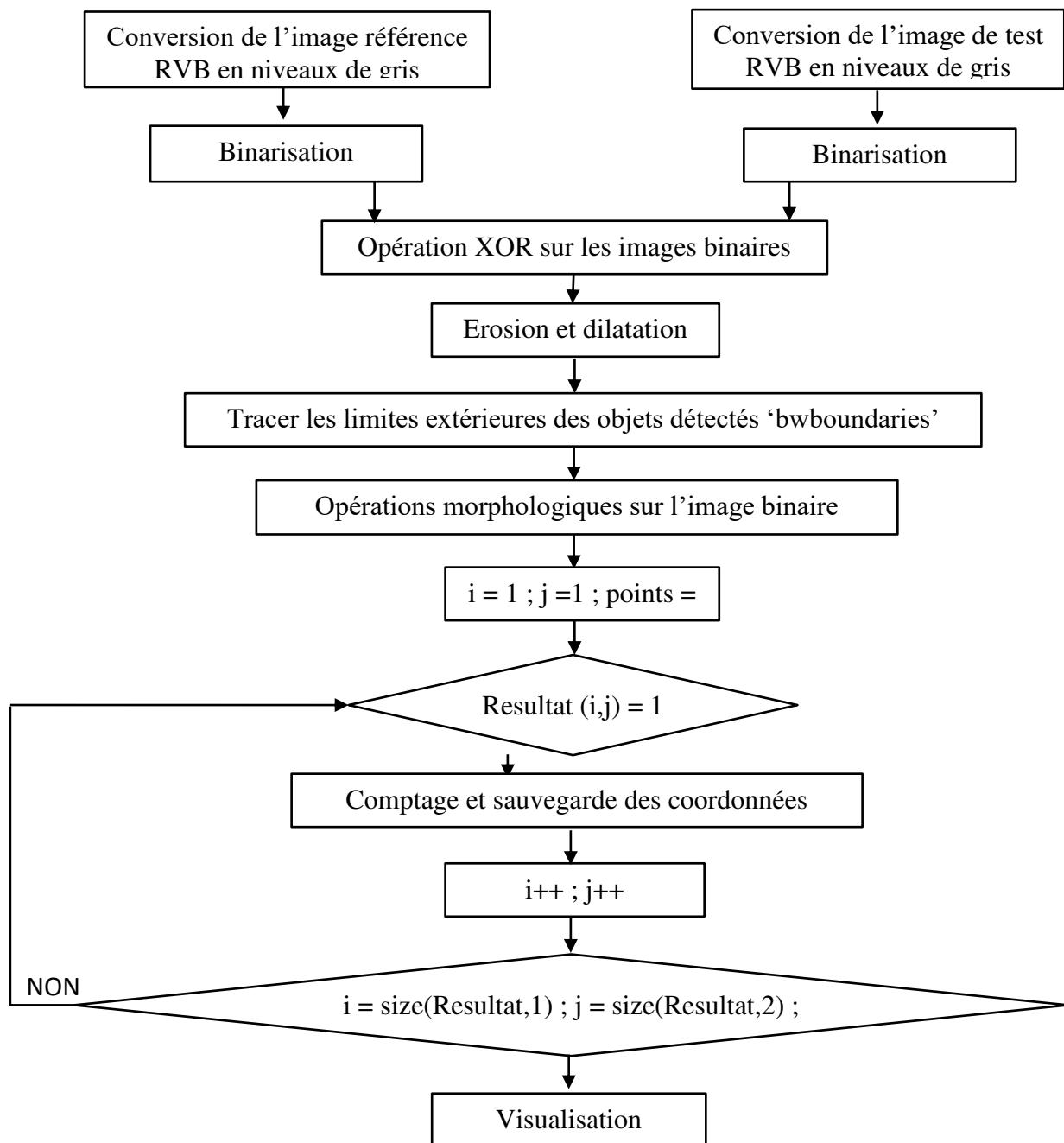


Figure II.11 : Organigramme du programme de détection de défauts

II.5.1.2. Binarisation

L'image acquise par la caméra est dans l'espace colorimétrique RVB. Cela doit être changé en une image en niveaux de gris pour différencier l'arrière-plan du premier plan contenant l'information utile (composants électroniques, pistes...etc.).

Après conversion en échelle de gris, le seuil a un effet très important sur le résultat de la binarisation. Dans certains algorithmes d'inspection optique automatique, cela devrait être automatiquement extrait, par exemple l'algorithme Otsu [URL7] peut atteindre le calcul du seuil de binarisation automatiquement.

a. Segmentation par seuillage d'OTSU

Cette méthode nécessite donc le calcul préalable de l'histogramme de l'image. L'algorithme suppose alors que l'image à binariser ne contient que deux classes, (les objets et l'arrière-plan). L'algorithme itératif calcule alors le seuil optimal T qui sépare ces deux classes afin que la variance intra-classe soit minimale et que la variance interclasse soit maximale.

Variance intra-classe

$$\sigma_w^2 = w_1(T) * \sigma_1^2(T) + w_2(T) * \sigma_2^2(T) \quad (1)$$

$w_1(T)$ représente la probabilité d'être dans la classe 1

$w_2(T)$ représente la probabilité d'être dans la classe 2

$\sigma_1^2(T)$ représente la variance de la classe 1

$\sigma_2^2(T)$ représente la variance de la classe 2

Avec :

$$w_1(T) = \sum_{k=1}^T P(k), \quad w_2(T) = \sum_{k=T+1}^{256} P(k) \quad (2)$$

$P(k)$: représente la probabilité de chaque niveau de gris

Variance inter-classe

$$\sigma_y^2 = \sigma^2 - \sigma_w^2 \quad (3)$$

σ^2 représente la variance de l'image

σ_w^2 représente la variance intra-classe

$$\sigma_y^2 = w_1(T)w_2(T)[\mu_1(T) - \mu_2(T)]^2 \quad (4)$$

μ_1 représente la moyenne de la classe 1

μ_2 représente la moyenne de la classe 2

L'algorithme d'Otsu est le suivant : [URL8]

- Etape 1 : Calculer l'histogramme et les probabilités de chaque niveau d'intensité.
- Etape 2 : Définir les $w_i(0)$ et $\mu_i(0)$ initiaux.
- Etape 3 : Parcourir tous les seuils possibles $t = 1 \dots$ intensité max.
 - Mettre à jour w_i et μ_i
 - Calculer $\sigma_y^2(t)$.
- Etape 4 : Le seuil désiré correspond au $\sigma_y^2(t)$ maximum.

Il existe plusieurs façons d'implémenter la méthode d'OTSU sur MATLAB. Dans le cas présent, La méthode choisie consiste à utiliser la fonction « graythresh ». Cette méthode est la plus simple et la plus rapide car elle nécessite peu de lignes de commande.

b. Segmentation par seuillage manuel

Le seuil de binarisation est sélectionné depuis l'histogramme de l'image en niveaux de gris manuellement, Après la sélection de celui-ci, l'image en niveau de gris est convertie en une image binaire, cela signifie que l'arrière-plan est dans l'intervalle $[0 ; \text{seuil}]$, cela veut dire que le premier plan constitue la partie au-delà du seuil.

Ainsi, le programme de binarisation par seuillage manuel simple est le suivant :

```
seuil = 0.4 ;
for i=1:size(image,1)
    for i=1:size(image,2)
        If      image(i,j)> seuil
                Img_bin(i,j)= 1 ;
        else
                Img_bin(i,j)= 0 ;
        end
    end
end
```

II.5.1.3. Différence d'image

La différence d'image (Opération de comparaison), est une technique qui consiste à comparer deux images binaires pixel par pixel, soit par la soustraction ou par l'opérateur logique XOR pour obtenir les différences entre ces deux images, l'image de référence et l'image de test. Dans notre cas nous avons utilisé l'opérateur logique XOR pour détecter les défauts de fabrication en cas d'existence.

La table de vérité de l'opération XOR est donnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.1 : Table de vérité de l'opérateur XOR

Bit 1	Bit 2	Sortie
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

II.5.1.4. Filtrage morphologique

Dans cette étape, un filtrage morphologique est appliqué sur l'image binaire de différence dans le but d'atténuer le bruit, ce filtrage non linéaire associe deux opérateurs de base : l'érosion et la dilatation.

L'intérêt de l'érosion est la suppression des petits objets (le bruit), mais aussi réduit la taille des objets restants (les défauts de fabrication), pour éviter cela, une dilatation est effectuée après l'érosion avec le même élément structurant, cette association est appelée l'ouverture.

II.5.2. Détection et classification des composants électroniques

L'étape suivante dans le processus d'inspection est l'identification des composants électroniques défectueux ou manquants. La détection de ces derniers est assez difficile sur la carte inspectée. (Figure II.12)

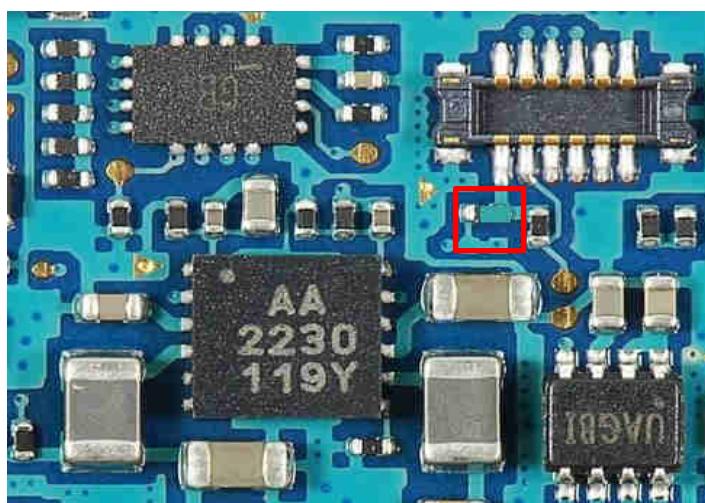
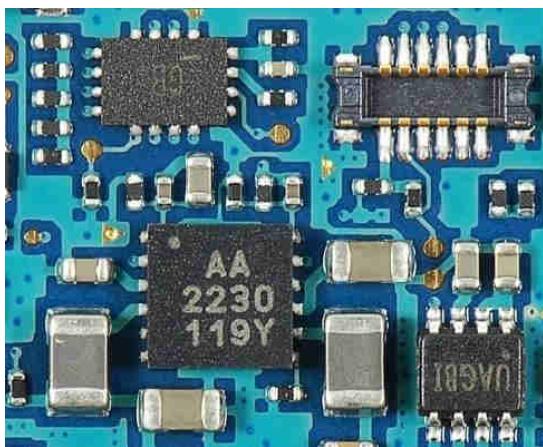


Figure II.12 : Image du PCB avec un composant défectueux

Ce qui nous amène à identifier les composants électroniques de la carte standard sans défauts afin de créer une base de données contenant les coordonnées de ces composants, et l'utiliser pour identifier les défauts sur la carte inspectée.

Le programme suivant fait la corrélation entre l'image du composant cherché et l'image du circuit imprimé, le résultat est présenté dans la figure II.14

```
Result = normxcorr2(model,template);  
Figure();  
surf(Result); shading flat
```



a : Image de la carte électronique référence



b : Image du composant modèle

Figure II.13 : l'image du PCB et d'un composant électronique

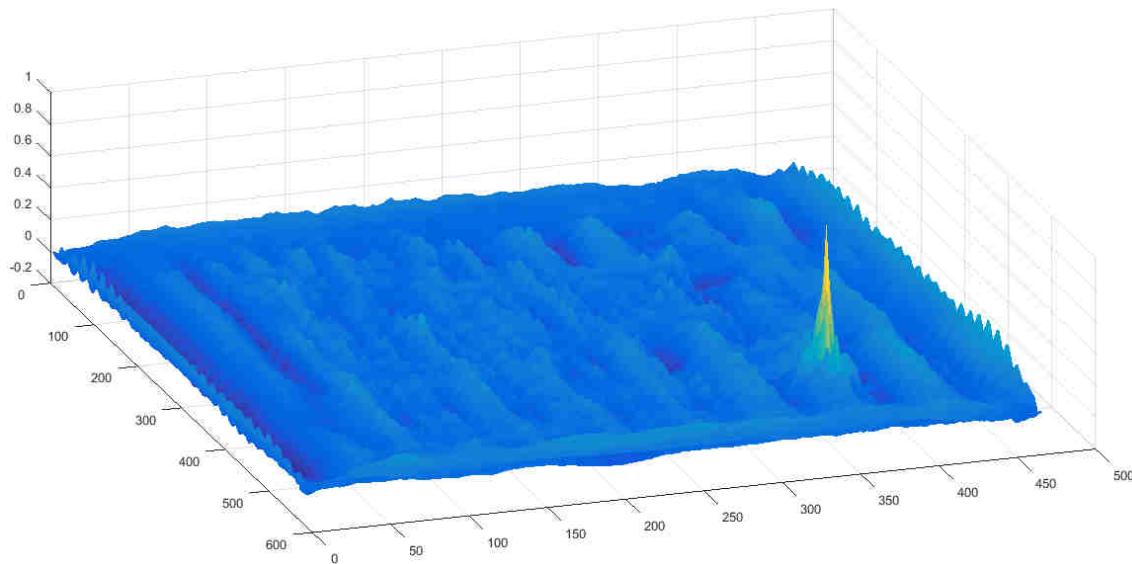


Figure II.14 : la corrélation entre les deux images

Le pic donné nous définit la localisation de ce composant dans l'image de la carte électronique.

L'image en couleur contient beaucoup d'informations ce qui rend la détection de tous les composants électroniques sur l'image de la carte difficile d'où la nécessité de la transformer en une image binaire. Le schéma suivant explique le principe de détection et de classification des composants du circuit imprimé.

II.5.2.1. Logigramme

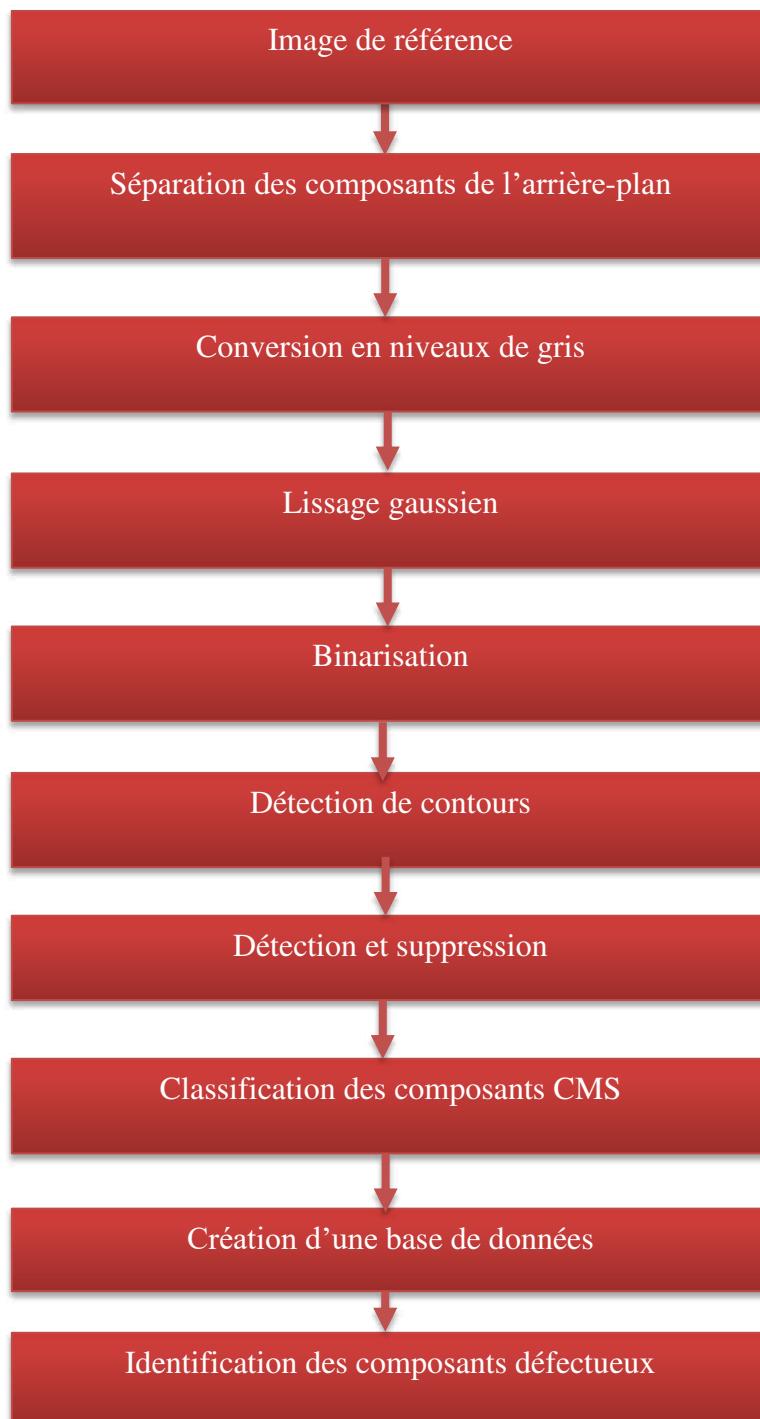


Figure II.15 : Schéma explicatif du processus d'identification de composants électroniques du PCB

II.5.2.2. Séparation des deux régions de l'image du circuit imprimé

Le but de cette opération est d'isoler les composants du circuit imprimé de l'arrière-plan dans l'image, l'image traitée dans cette étape est une image couleur RVB, le concept est fondé sur le fait que les intensités d'un pixel (i, j) du premier plan (résistances, condensateur...etc.) dans les 3 bandes sont autour d'une valeur moyenne ainsi que la couleur d'arrière-plan_des circuits imprimés est généralement verte (Cartes de développement...), bleue (carte Ordinateurs, PCB Smartphones,...etc.) et rouge (Cartes de développement Sparkun...etc). Ces couleurs sont les composantes primaires du système de codage RVB.

La figure II.16 montre les intensités de deux pixels dans les 3 bandes, un appartenant au premier plan et l'autre à l'arrière-plan

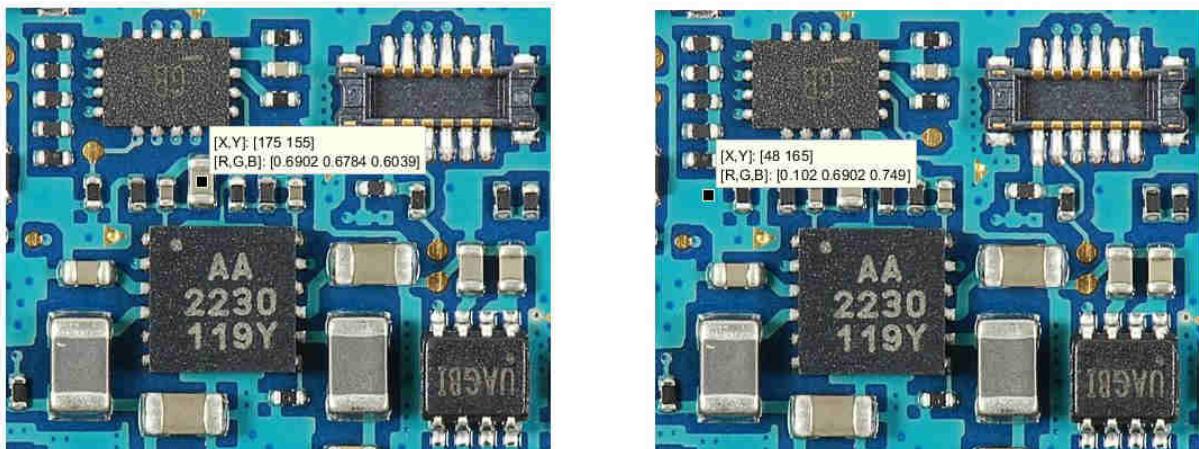


Figure II.16 Composantes RGB de deux pixels différents de l'image du PCB

Ainsi, la fonction de séparation des composants électroniques est la suivante :

```
function img = separate (img, seuil)
R = img(:,:,1);
G = img(:,:,2);
B = img(:,:,3);
moy = (R + G + B)/3;

R(abs(img(:,:,1) - moy)>seuil) = 0;
G(abs(img(:,:,2) - moy)>seuil) = 0;
B(abs(img(:,:,3) - moy)>seuil) = 0;
Value = R.*G.*B;
Value(Value > 0) = 1;
img(:,:1) = Value .* img(:,:1);
img(:,:2) = Value .* img(:,:2);
img(:,:3) = Value .* img(:,:3);
end
```

II.5.2.3. Lissage gaussien

Le lissage gaussien est une technique qui a comme objectif de supprimer les détails et d'atténuer le bruit. En ce sens, il est similaire au filtre moyen , mais il utilise un noyau différent qui représente la forme d'une bosse gaussienne, en outre le degré de lissage est déterminé par l'écart-type du gaussien. [URL9]

La distribution gaussienne en 2-D s'écrit :

$$G(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (5)$$

$\sigma (T)$ représente l'écart type

Cette distribution est illustrée dans la figure II.17

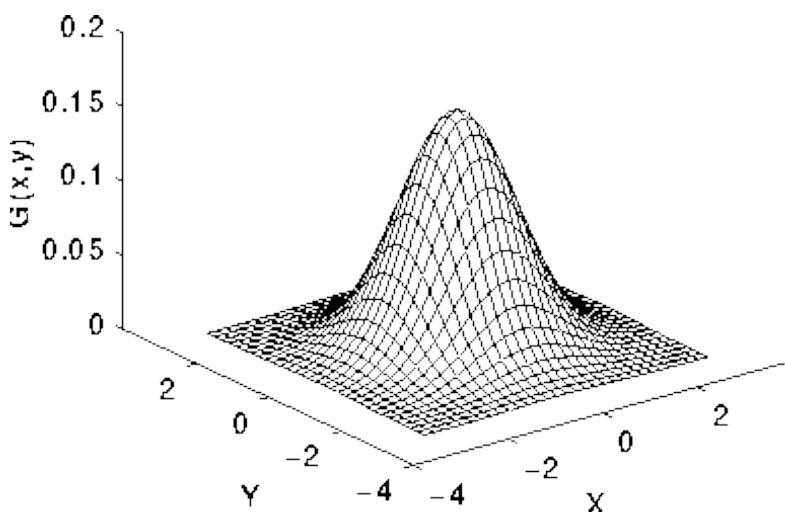


Figure II.17 : Distribution gaussienne 2-D avec moyenne (0,0) et sigma = 1

Si par exemple $\sigma = 0.8$ on a le filtre 3 X 3 suivant :

G (-1, -1)	G (0, -1)	G (1, -1)	$\approx \frac{1}{16} *$	1	2	1
G (-1, 0)	G (0, 0)	G (1, 0)		2	4	2
G (-1, 1)	G (0, 1)	G (1, 1)		1	2	1

Figure II.18 : noyau de convolution 3X3, $\sigma = 0.8$

Et $\sigma = 1$ pour un filtre 5 X 5 donne environ :

$$\frac{1}{300} =$$

1	4	6	4	1
4	18	30	18	4
6	30	48	30	6
4	18	30	18	4
1	4	6	4	1

Figure II.19 : noyau de convolution 5X5, $\sigma = 1$

Pratiquement, nous devons prévoir un filtre dont la fenêtre mobile est de taille $(6\sigma + 1)(6\sigma + 1)$. En général un filtre gaussien avec $\sigma < 1$ est utilisé pour réduire le bruit, et si $\sigma > 1$ c'est dans le but de fabriquer une image que nous allons utiliser pour faire un masque flou personnalisé. Il faut noter que plus σ est grand, plus l'effet de flou sera marqué.

Une fois qu'un noyau approprié a été calculé, le lissage gaussien peut être effectué en utilisant des méthodes de convolution standard.

Cette étape de lissage est indispensable, elle précède toujours l'opération de binarisation dans le but d'atténuer le bruit et de supprimer les détails les plus fins dans l'image.

II.5.2.4. Détection de contours

C'est un processus de localisation de contours sur une image numérique, c'est en fait une étape très importante dans le filtrage de l'image en éliminant les informations jugées non nécessaires et tout en gardant les propriétés structurelles importantes de l'image.

Un contour dans une image numérique est défini comme un changement de luminosité du pixel dans une image RVB, du niveau de gris dans une image codée grise ou un changement d'état de 0 à 1 dans une image binaire.

Par conséquent, la détection de contour est généralement l'étude de changement du code entre les pixels.

La matrice suivante illustre une situation où la valeur des pixels change de 0 à v (dans l'image binaire $v = 1$) d'où l'existence d'un contour séparant les deux régions.

0	0	v	v	v
0	0	v	v	v
0	0	v	v	v
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Figure II.20 : Matrice exemple de pixels

a. Algorithmes de détection de contours

Comme les contours ne sont que les changements du code des pixels par rapport aux régions de l'image, les algorithmes sont souvent basés sur l'étude du gradient de la matrice des pixels. Pour cela, il existe plusieurs opérateurs et méthodes différentes par rapport aux trois aspects suivants liés à la sensibilité de l'algorithme au bruit [7] :

- La bonne détection : la probabilité de détection d'un faux contour et celle de ne pas détecter un contour doit être minimale
- La localisation : les pixels marqués comme points de contour doivent être les plus proches possibles du centre du contour
- Réponse minimale : un contour ne doit pas être détecté plus qu'une fois, ce qui est impliqué dans le premier aspect

Dans le traitement d'image numérique, il existe plusieurs méthodes nommées sur quelques opérateurs permettant une variété de choix selon le besoin. La méthode utilisée dans cet algorithme est la différence de gaussienne.

b. Différence de gaussienne

L'image est d'abord lissée par convolution avec un noyau gaussien d'une certaine largeur sigma 1

$$G_{\sigma_1}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma_1^2} \quad (6)$$

$\sigma_1(T)$ représente l'écart type

On obtient

$$g_1(x, y) = G_{\sigma 1}(x, y) * f(x, y) \quad (7)$$

Avec une largeur différente sigma 2, une deuxième image lissée peut être obtenue comme suit :

$$g_2(x, y) = G_{\sigma 2}(x, y) * f(x, y) \quad (8)$$

La différence de ces deux images lissées gaussiennes, appelée *différence de Gauss (DoG)*, peut être utilisée pour détecter les bords de l'image.

$$g_1(x, y) - g_2(x, y) = G_{\sigma 1} * f(x, y) - G_{\sigma 2} * f(x, y) = (G_{\sigma 1} - G_{\sigma 2}) * f(x, y) \quad (9)$$

Le DoG est défini suivant la formule :

$$DoG = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{1}{\sigma_1} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_1^2}} - \frac{1}{\sigma_2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_2^2}} \right) \quad (10)$$

Alors

$$g_1(x, y) - g_2(x, y) = DoG * f(x, y) \quad (11)$$

En tant que différence entre deux images filtrées par un filtre passe-bas différent, le DoG est en fait un filtre passe-bande, qui supprime les composantes hautes fréquences représentant le bruit, ainsi que certaines composantes basses fréquences représentant les zones homogènes de l'image. Les composantes de fréquence dans la bande de passage sont supposées être associées aux bords des images. [URL10]

II.5.2.5. Détection des composants électroniques par convolution

L'approche établie dans l'algorithme de détection de composants électroniques du circuit imprimé est basée sur des techniques de convolution, cet algorithme tente de trouver les modèles noirs et blancs (binaires) des composants électroniques donnés dans l'image du circuit imprimé résultante après détection de contours en trouvant des zones de conformités maximales correspondantes au maximum de convolution.

Le principe de détection par convolution est résumé dans le logigramme suivant

a. Logigramme

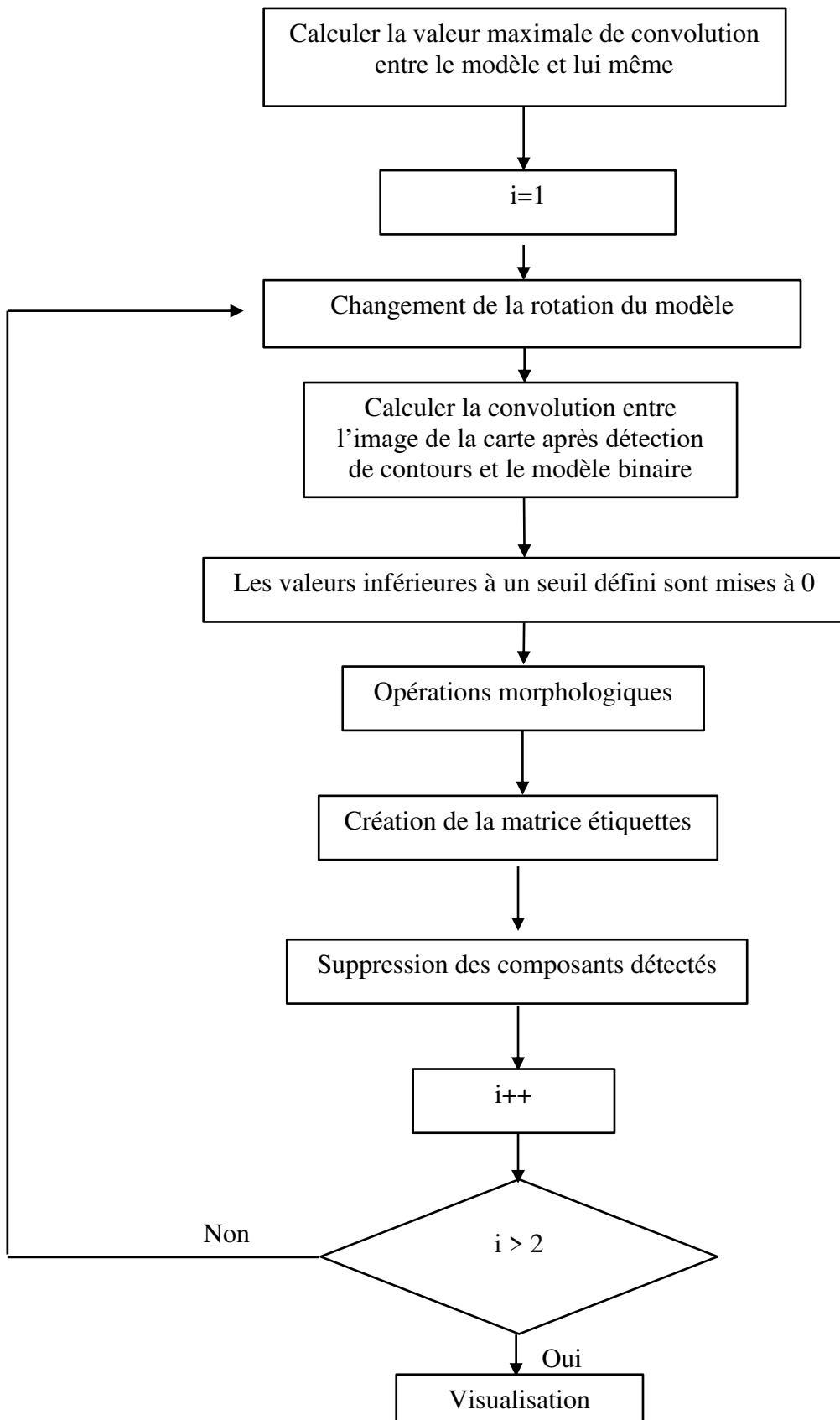


Figure II.21 : Organigramme du programme de détection par convolution

b. Principe

Cet exemple explique brièvement le concept de détection par convolution, la figure II.22 montre deux exemples de matrices, la matrice globale et la matrice modèle.

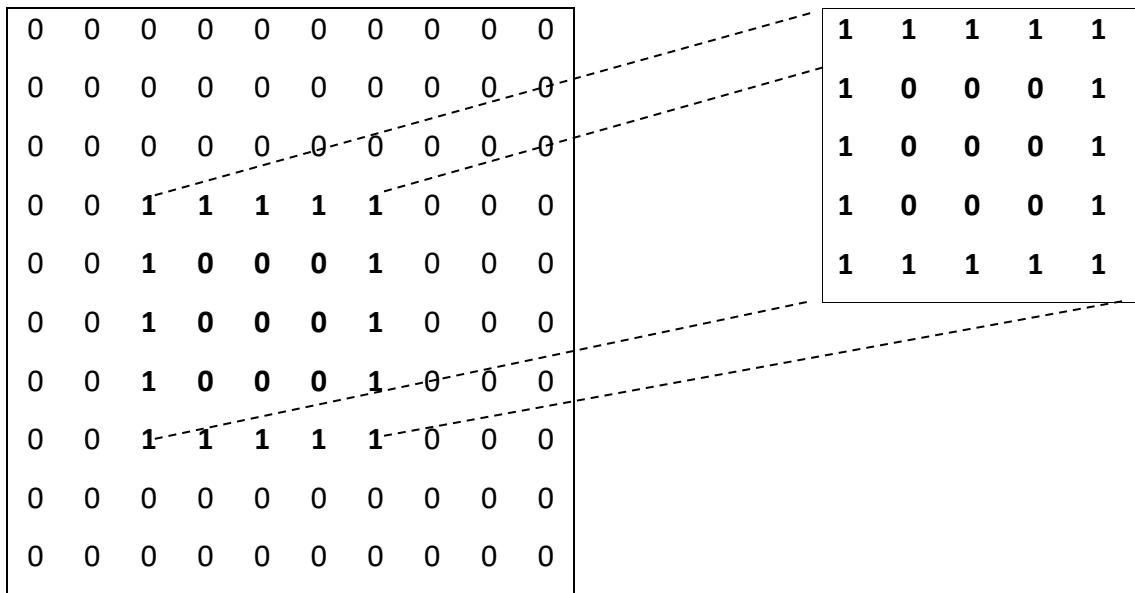


Figure II.22 : Matrice globale à gauche, matrice modèle à droite

Tout d'abord, il est important de calculer la convolution entre le modèle et lui-même en définissant le paramètre ‘same’ pour que le résultat ait la même dimension que le modèle, puis prélever la valeur maximale de convolution. La Figure II.23 présente le résultat de convolution.

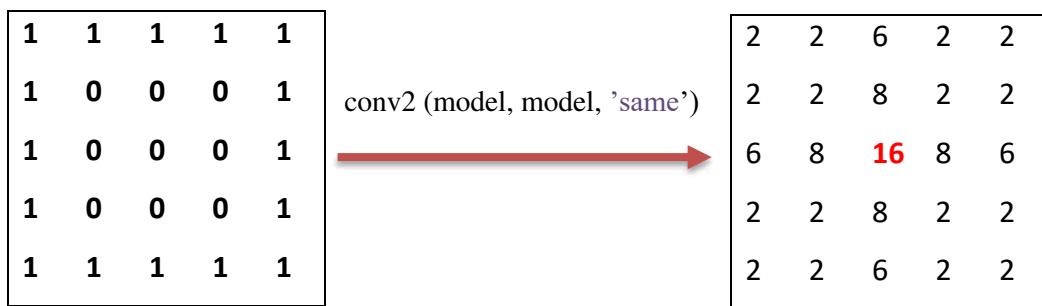


Figure II.23 : Résultat de convolution de la matrice modèle

Nous calculons ensuite la convolution entre l'image résultante après détection de contours et le modèle binaire tout en gardant le paramètre ‘same’, les valeurs inférieures au seuil défini sont mises à 0 (noir), la figure II.24 présente les résultats de cette opération.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	3	4	5	4	3	2	1	0
2	2	2	2	4	2	2	2	2	0
3	2	2	2	6	2	2	2	3	0
4	2	2	2	8	2	2	2	4	0
5	4	6	8	16	8	6	4	5	0
4	2	2	2	8	2	2	2	4	0
3	2	2	2	6	2	2	2	3	0
2	2	2	2	4	2	2	2	2	0
1	2	3	4	5	4	3	2	1	0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	8	0	0	0	0	0
0	0	0	8	16	8	0	0	0	0
0	0	0	0	8	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure II.24 : Résultat de convolution entre la matrice globale et la matrice modèle

Après, nous procémons à des changements morphologiques afin de prendre un seul point pour chaque zone connectée (le point du centre), l'étape suivante consiste à attribuer des étiquettes à l'ensemble des points détectés.

La dernière étape permet de supprimer les composants détectés, Le composant modèle est cherché encore une 2^{ème} fois en rotation 90°.

L'opération de détection est répétée pour chaque type de composant. La matrice d'étiquettes, même taille que l'image du circuit imprimé traitée, est ensuite exploitée dans la localisation des composants électroniques.

Les modèles de quelques composants électroniques en noir et blanc créés sont représentés dans le tableau II.2

Tableau II.2 : Modèles noir et blanc de quelques composants électroniques

CMS0805	CMS0603	SO-8	SO-14	SOT-223

II.5.2.6. Classification des composants électroniques

Après la détection des modèles de composants de la carte électronique, la partie suivante est la classification de ces derniers.

Concernant les composants tels que les microcontrôleurs, les boutons poussoirs...etc. Il n'est pas nécessaire car ces derniers ont des formes et des tailles spécifiques, mais les composants de formes et de tailles similaires doivent être classifiés.

Prenons par exemple les résistances, les condensateurs CMS, ces composants ont la même taille et la même forme, il est impossible de les différencier depuis l'image binaire.

La figure II.25 montre quelques composants montés en surface très utilisés dans la fabrication des circuits imprimés

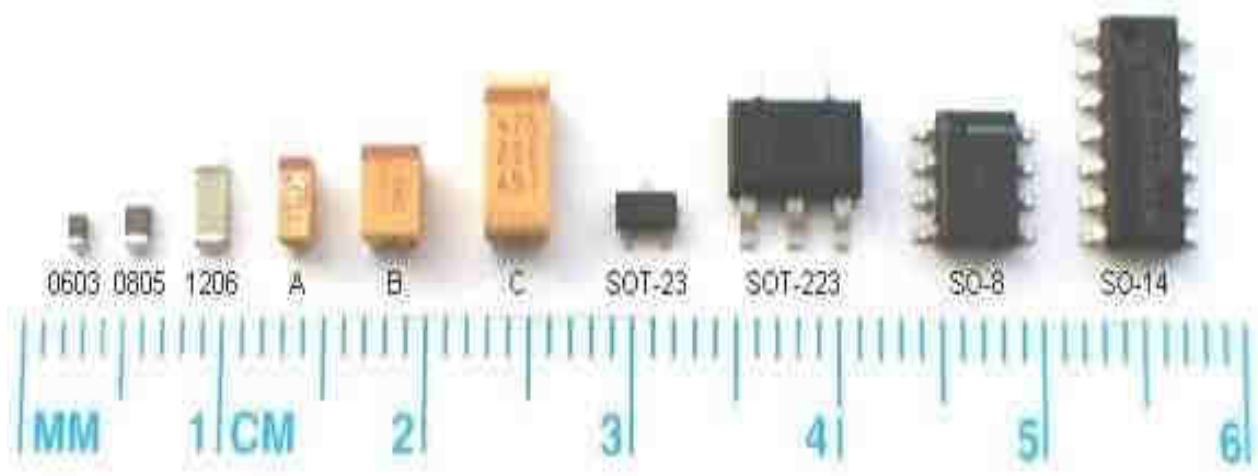


Figure II.25 : Quelques composants montés en surface CMS

a. Détection de couleur

Tout d'abord, il faut sélectionner les composants CMS à traiter grâce à leurs étiquettes, par exemple les composants de type CMS0603 (indice 1 : le composant en rotation 0°, indice 2 le composant en rotation 90°) et cela pour se positionner à l'emplacement du composant détecté dans l'image en couleur de la carte.

La procédure suivante consiste à découper un petit morceau au centre de l'objet éventuellement détecté.

La figure II.26 montre deux échantillons de couleurs d'un résistance et d'un condensateur, de type CMS0603 :

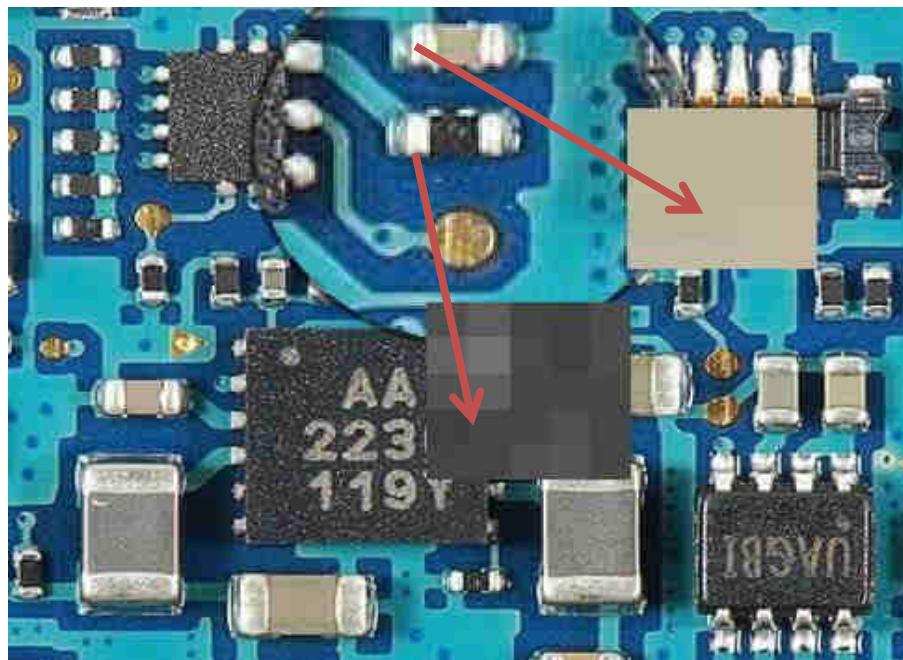


Figure II.26 : Echantillons de couleurs de différents composants CMS0603

Après, nous calculons la valeur moyenne des pixels du carré du centre, cette valeur sera exploitée pour le classement des composants.

b. Logigramme

L'organigramme ci-dessous explique le principe afin de décider si un composant est une résistance ou un condensateur

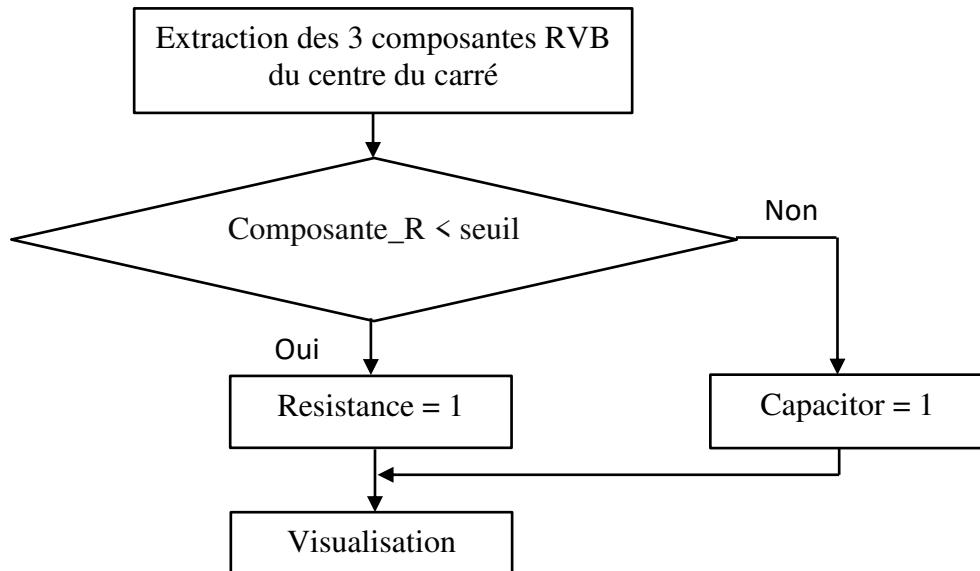


Figure II.27 : Organigramme du programme de classification par le biais de couleur

II.5.2.7. Création d'une base de données

Après détection et classification des composants électroniques, leurs coordonnées seront sauvegardées dans une base de données, cette dernière est utilisée pour identifier les composants défectueux ou manquants dans les cartes inspectées.

II.5.2.8. Identification des composants défectueux

Après la détection des défauts, le programme d'inspection consulte la base de données de coordonnées des composants électroniques du circuit imprimé, cette étape consiste à calculer la distance euclidienne entre le défaut détecté (Composant manquant ou défectueux) de coordonnées (X_i, Y_j) et les coordonnées dans la base de données. La figure II.28 explique le principe de cette fonction.

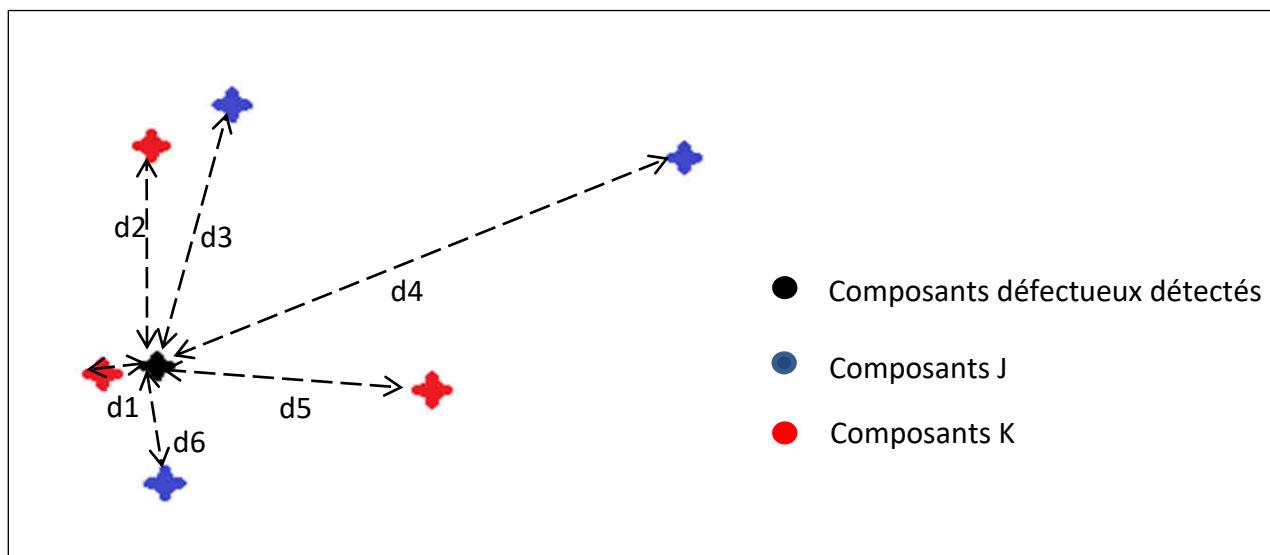


Figure II.28 : Schéma explicatif du principe d'identification par la distance euclidienne

La décision de quel composant il s'agit, est prise par rapport à la distance euclidienne minimale calculée.

II.6. Phase d'interprétation

Cette phase comprend l'étape de visualisation :

II.6.1 Environnement de développement

Afin que l'opérateur puisse inspecter les cartes électroniques efficacement, une interface simple et complète visualisable sur PC est créée par l'outil de développement GUIDE de Matlab qui offre plusieurs options et possibilités d'affichage.

II.6.2. Présentation de l'interface graphique

L'inspecteur a la possibilité de prendre plusieurs images de cartes électroniques fabriquées, et les enregistrer dans l'ordre de prise des images, et les inspecter ultérieurement, la figure II.29 présente l'interface d'accueil :

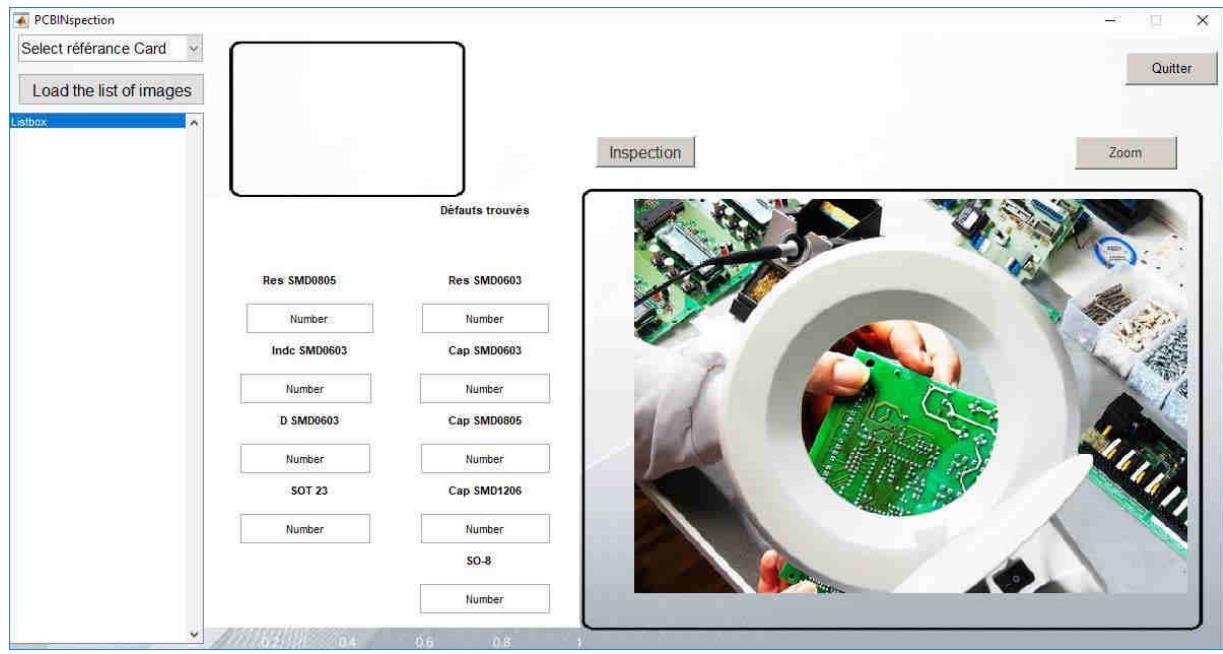


Figure II.29 : Interface d'accueil du logiciel d'aide à la décision

Il existe un ensemble de boutons dont chacun fait appel à une fonction dans le logiciel, le tableau II.3 présente les différents boutons et leur fonction.

Tableau II.3 : explication de fonction de chaque bouton

<input type="button" value="Select Référence Card"/>	Cette liste est destinée pour le choix de la carte de référence.
<input type="button" value="Load the list of images"/>	Ce bouton est destiné à l'importation du dossier contenant les images prises des circuits imprimés
<input type="button" value="Inspection"/>	Ce bouton permet de faire l'inspection de la carte de test.
<input type="button" value="Zoom"/>	Ce bouton permet de zoomer sur l'image
<input type="button" value="Quitter"/>	Ce bouton permet de quitter le logiciel

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre, les différentes étapes nécessaires pour réaliser le logiciel d'aide à la décision sont présentées en commençant par l'acquisition de l'image de test, ensuite le prétraitement et l'analyse des images, et enfin par l'inspection et la génération du rapport d'erreurs d'inspection. L'évaluation des résultats obtenus est présentée dans le prochain chapitre.

Chapitre

03

Evaluation des résultats

III.1. Introduction

L'évaluation de performance est un élément important dans le déploiement des systèmes logiciels. Afin de tester les performances du logiciel d'inspection de conformité des cartes électroniques réalisées, plusieurs essais ont été effectués.

La stratégie adoptée était de réaliser des tests de façon systématique sur la même carte électronique, en changeant à chaque fois les paramètres (seuil,...etc) et de comparer les résultats trouvés, aussi de tester l'algorithme d'inspection sur d'autres cartes électroniques.

Ce chapitre explique la procédure de validation de tests ainsi que la validation de l'inspection. Pour conclure, nous allons étudier la performance de ce logiciel d'inspection afin de déterminer ses points de force ainsi que préciser les limites de son utilisation.

III.2. Déroulement du travail expérimental

Afin d'assurer un bon fonctionnement de l'outil d'inspection, certains conditions pour la réalisation des tests sont indispensables, comme nous avons indiqué précédemment dans le deuxième chapitre : un éclairage uniforme et une caméra de haute résolution.

Ces conditions assurent une bonne qualité des images acquises et par conséquent une performance meilleure au niveau de l'inspection ce qui va réduire le taux d'erreurs.

Dans notre cas, vu l'absence de financement pour acquérir le matériel nécessaire pour réaliser la machine d'inspection, nous étions obligés de prendre des images de cartes de tests avec une caméra de Smartphone qui n'est pas vraiment professionnelle.

Toutes ces données indiquées influencent sur la marge d'erreurs qui peuvent être commises lors de l'inspection et sur lesquelles nous devons tenir compte durant la procédure de test.

III.2.1. Correction de rotation

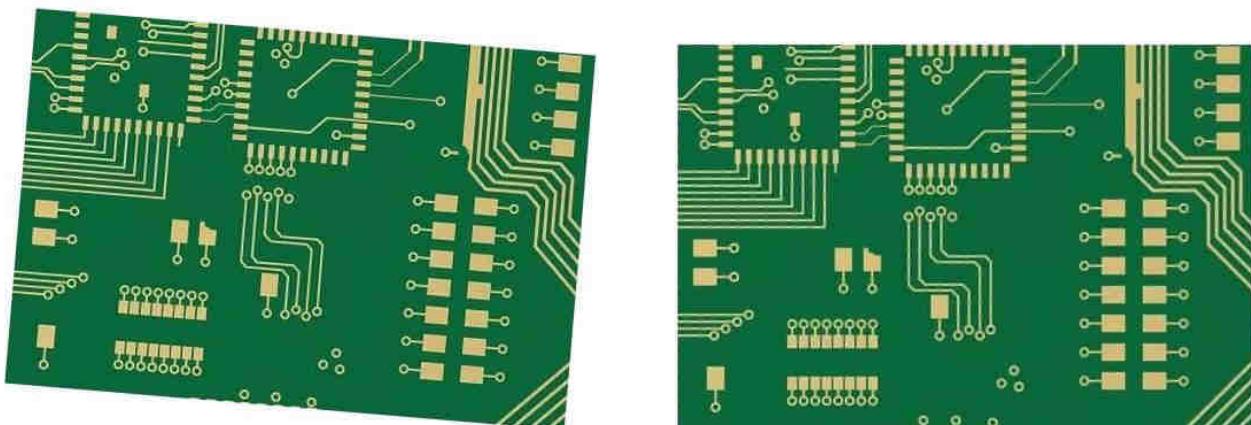


Figure III.1 : Image du PCB avant et après correction de rotation

Interprétation

L'image rétablie après la correction géométrique appliquée à l'image acquise est dans le même angle que celle de la carte de référence. L'angle de rotation est égal à : 4.77°

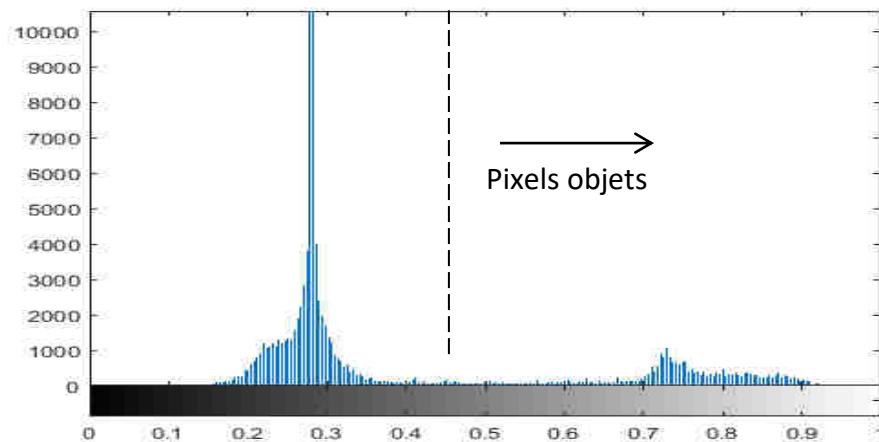
Quoique la carte à inspecter contienne des défauts de fabrication, le programme a réussi à corriger la rotation de l'image en faisant la correspondance entre les points caractéristiques des deux images (image acquise et image de carte de référence).

III.2.2. Binarisation

La segmentation d'images est un procédé qui a pour but de rassembler les pixels de l'image étudiée en régions selon des critères prédéfinis. La binarisation est vue comme un traitement qui vise à extraire uniquement deux régions de l'image.

III.2.2.1. Seuillage globale fixe

La figure III.2 présente l'histogramme de l'image de test en niveaux de gris.



Soit $I(x,y)$, la valeur radiométrique du pixel de coordonnées (x,y) dans l'image, $T = 0.5$ étant le seuil fixé : si $I(x,y) > T$, le pixel prend la valeur 1, sinon il prend la valeur 0.

Le résultat de binarisation est montré dans la figure III.3.

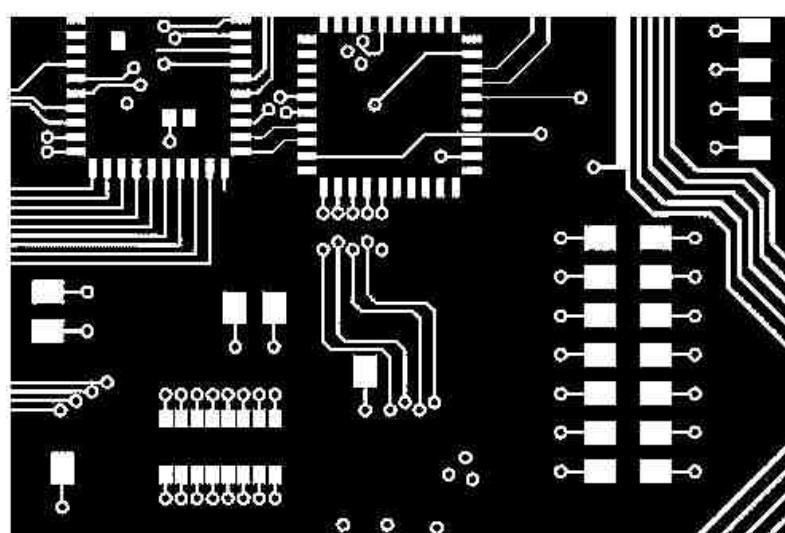


Figure III.3 : Résultat de binarisation de l'image de carte référence

Interprétation

L'image binaire de la carte contient deux régions, l'avant-plan (Pistes ou composants) en blanc et l'arrière-plan en noir. Plusieurs valeurs de seuils sont prises afin de choisir le mieux convenable.

III.2.2.2. Seuillage automatique OTSU

Nous avons appliqué sur la même image la méthode de binarisation d'OTSU présentée dans le chapitre précédent. Nous présentons ci-dessous le résultat de binarisation par cette méthode.

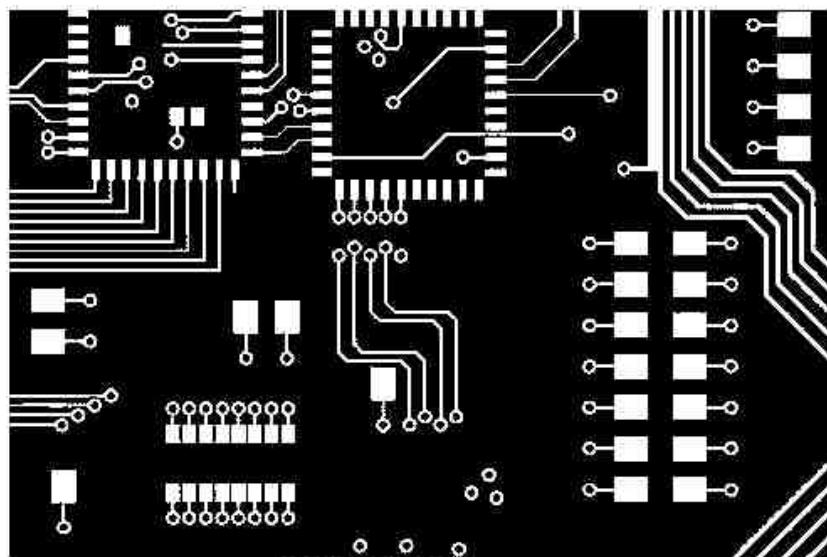


Figure III.4 : résultat de binarisation par la méthode d'OTSU

Le seuil calculé par la méthode d'OTSU est : $T=0.5137$

Interprétation

La binarisation par la sélection manuelle du seuil a eu un bon résultat. Cependant le résultat de binarisation obtenu par la sélection automatique du seuil reste encore meilleur et rapide pour séparer les deux régions de l'image.

III.2.3. Différence de l'image

Le traitement nécessite deux images binaires, une de la carte de référence sans défaut, l'autre de la carte à inspecter, de même taille. Le résultat de l'opération XOR entre ces deux images est présenté dans la figure III.5.



Figure III.5 : Résultat de l'opération XOR entre l'image référence et l'image de test

Interprétation

Par la réponse obtenue sur la figure III.5, nous pouvons nous informer sur la présence de quelques défauts. L'image résultante de l'opération XOR est bruitée, un filtrage morphologique est ensuite appliqué sur cette dernière pour atténuer le bruit.

III.2.4. Filtrage morphologique

Le bruit est dû aux changements de conditions d'éclairages qui affectent la bonne séparation des deux régions de l'image traitée lors de la binarisation. Afin d'atténuer ce bruit, l'image est d'abord érodée pour supprimer les points blancs isolés (le bruit).

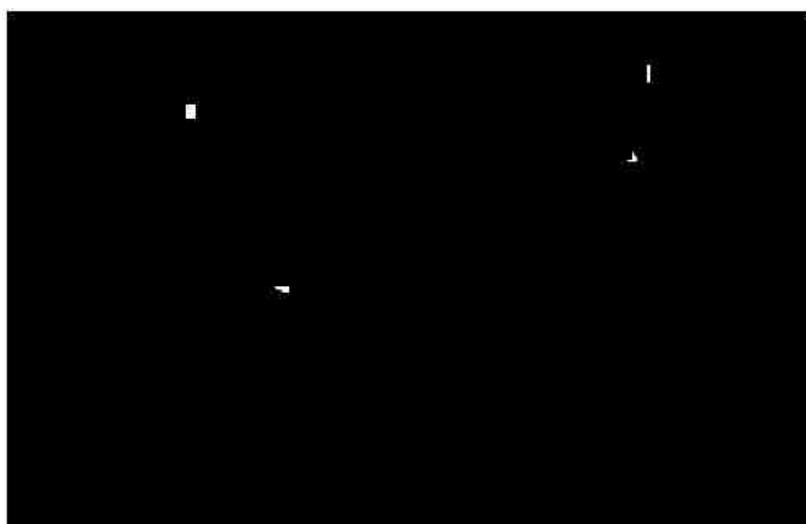


Figure III.6 : Résultat de l'opération d'érosion

Le bruit est éliminé, ensuite l'image est dilatée avec le même élément structurant pour restituer la forme des défauts.

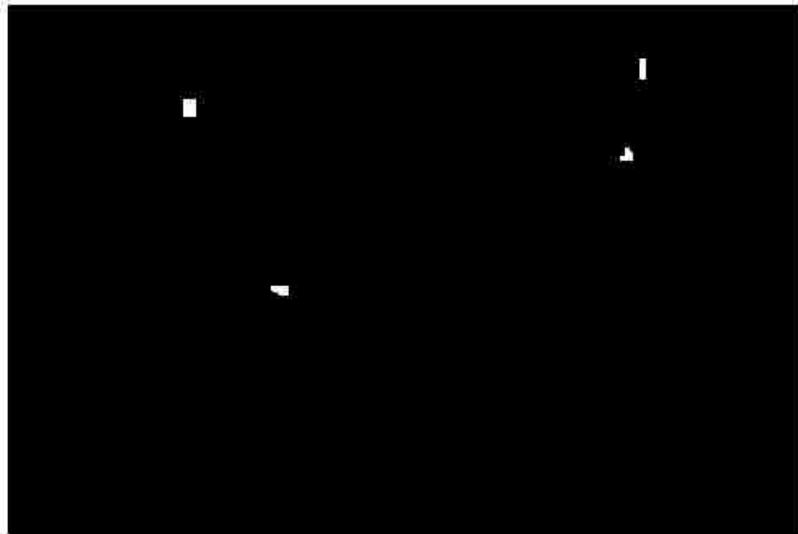


Figure III.7 : Résultat de l'opération de dilatation

III.2.5. Identification des composants électronique par convolution

III.2.5.1. Séparation de l'avant plan de l'arrière-plan

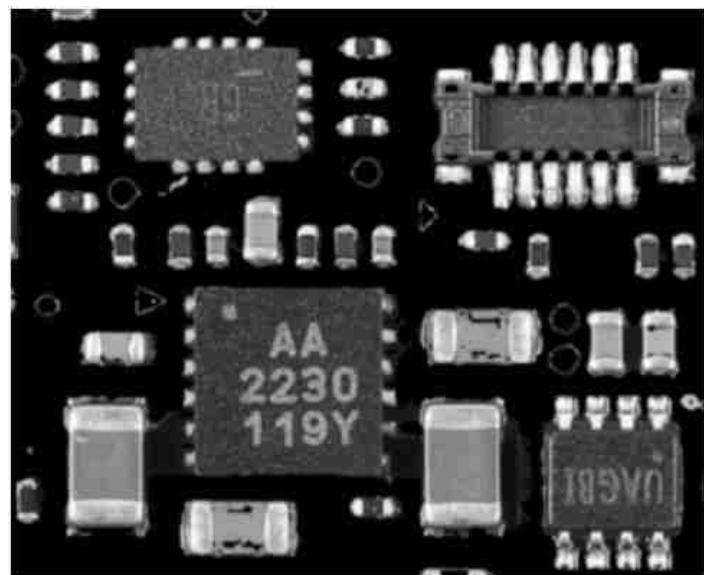


Figure III.8 : L'image du PCB séparée en deux régions : l'avant plan et l'arrière-plan

Le résultat présente la séparation des deux régions de l'image de la carte de référence, l'avant-plan contenant l'information utile (les composants électroniques) et l'arrière-plan. L'image est ensuite convertie en niveaux de gris avant de passer à l'étape suivante.

III.2.5.2. Lissage gaussien

Avant d'entamer l'étape de binarisation, un lissage gaussien est appliqué à l'image dans le but d'atténuer le contraste des détails les plus fins, la figure III.9 présente l'image lissée avec $\sigma = 1$.

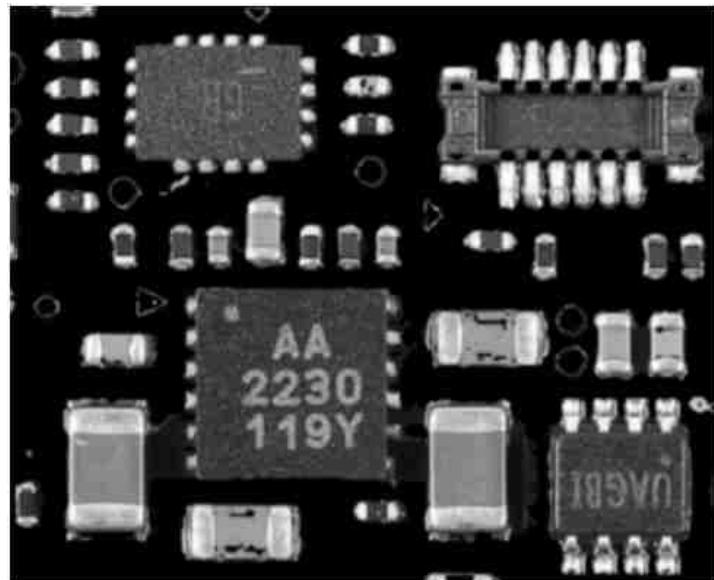


Figure III.9 : image lissée avec $\sigma = 1$

Il est à noter que plus σ est grand, plus le flou appliqué à l'image sera important, la figure III.10 présente la même image lissée avec $\sigma = 3$.

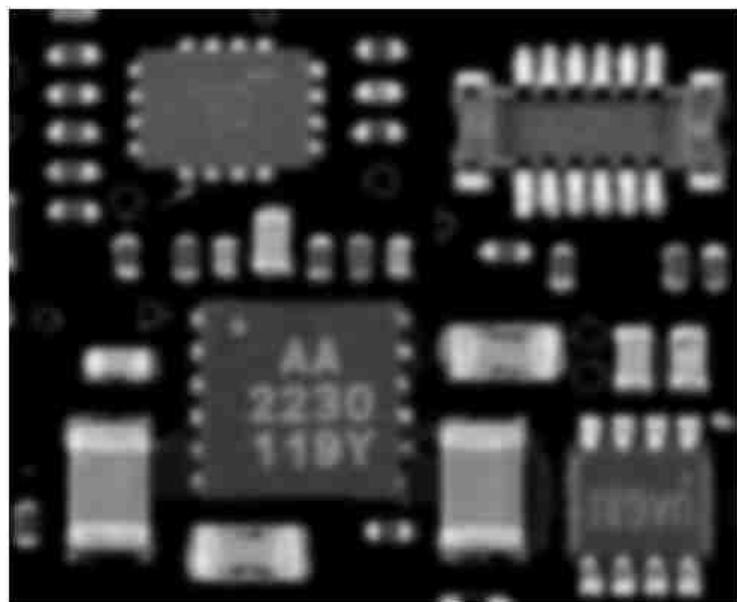


Figure III.10 : Image lissée avec $\sigma = 3$

Il faut bien choisir les valeurs de σ lors du lissage gaussien, une valeur trop petite engendre l'apparition des détails les plus fins (à l'échelle de quelques pixels), une trop grande valeur risque d'endommager la forme des objets de l'avant-plan.

Le noyau de convolution idéal choisi est de $(6 \sigma + 1) \times (6 \sigma + 1)$

Pour $\sigma = 1$:

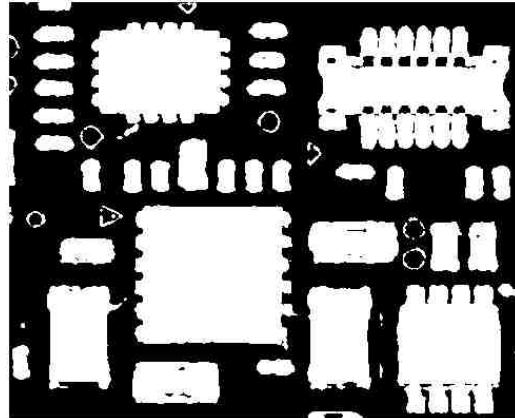


Figure III.11 : résultat de binarisation après lissage gaussien $\sigma = 1$

Pour $\sigma = 6$:

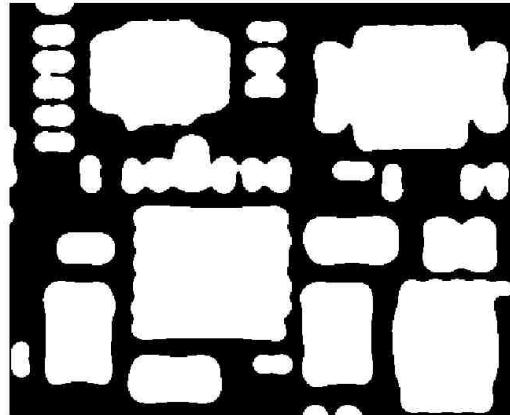


Figure III.12 : résultat de binarisation après lissage gaussien $\sigma = 6$

Pour $\sigma = 3$:

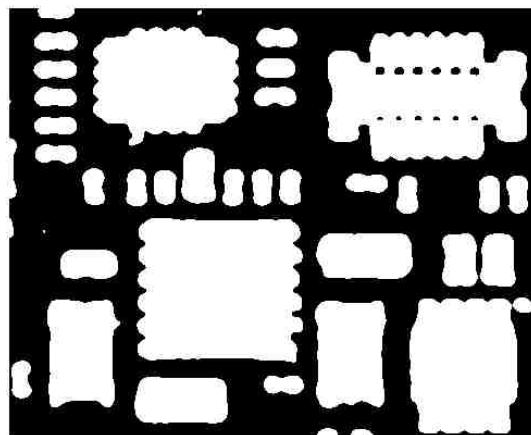


Figure III.13 : résultat de binarisation après lissage gaussien $\sigma = 3$

III.2.5.3. Détection de contours

Le programme de détection de formes s'appuie sur la méthode de détection de contours, cette dernière est basée sur la variation d'intensité des pixels sur l'image. Comme l'image est en noir et blanc (binaire), la détection de contours s'avère plus facile.

La méthode utilisée dans la détection de contours dans ce cas est la méthode de la différence de gaussienne. La raison pour laquelle nous avons opté pour cette méthode est son immunité contre le bruit et la possibilité d'élargir les contours qui seront bénéfiques plus tard dans la recherche de composants électroniques par convolution. Les résultats de détection de contours par la Différence de gaussienne et Canny sont présentés ci-dessous.

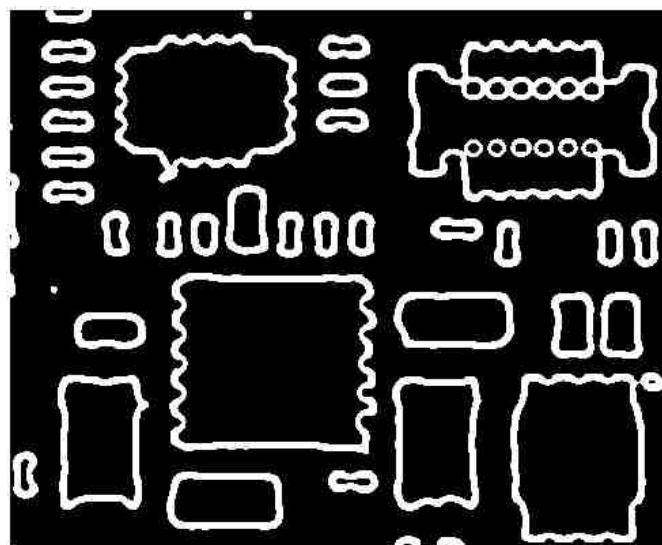


Figure III.14 : résultat de détection de contours par DoG

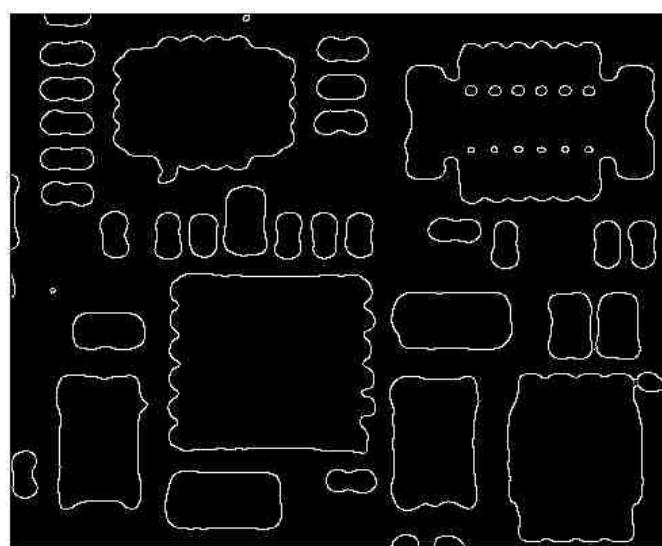


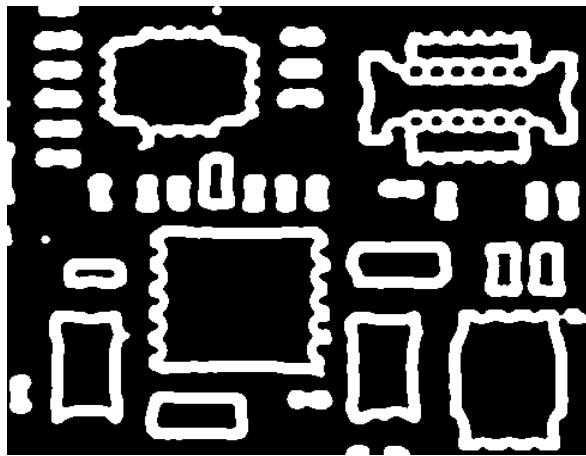
Figure III.15: résultat de détection de contours par Canny

Interprétation

La qualité de contours est bonne pour les deux méthodes. Nous observons que les contours détectés par la différence de gaussienne sont très épais par rapport aux contours détectés par Canny.

III.2.5.4. Détection des composants par convolution

Nous cherchons à détecter le modèle binaire d'un composant électronique pour le localiser sur l'image d'une carte électronique, cette dernière contient différents types de composants électroniques.



a : Immae du PCB après détection de contour



b : Immae du composant modèle

Fiaure III.16 : Immae du PCB après détection de contours à auache. le composant modèle à droite

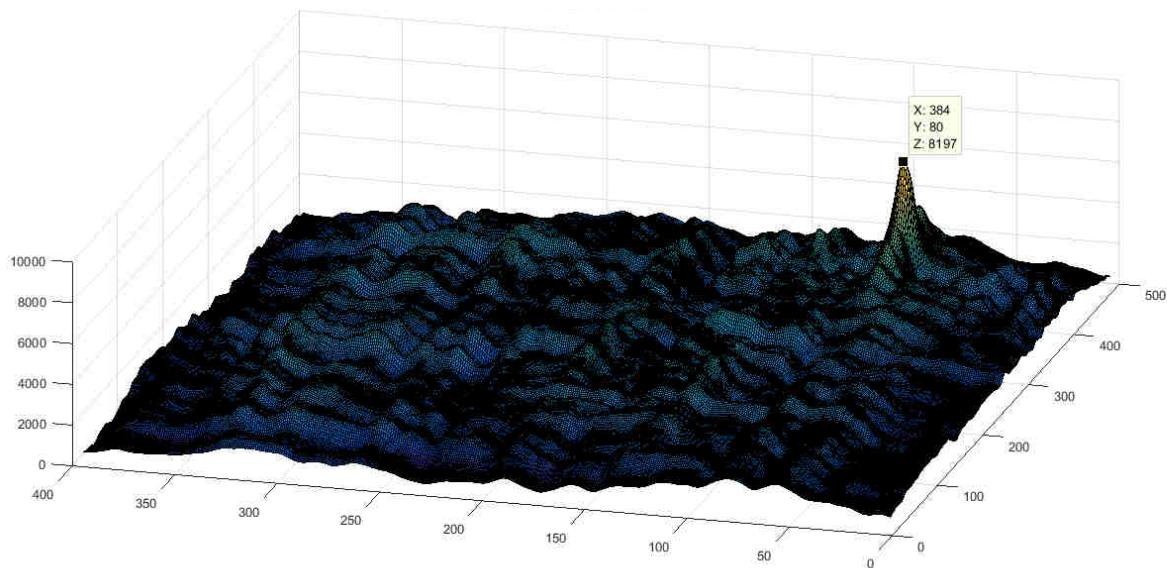


Figure III.17 : Convolution des deux images

Chapitre III : Evaluation des résultats

Le degré de ressemblance entre l'information cherchée et l'information trouvée sur l'image est exprimé par la hauteur du pic. Les pics donnés supérieurs au maximum de convolution entre le modèle et lui-même nous informent sur la présence de ce composant sur l'ensemble des éléments constituant le circuit imprimé.

Ensuite les valeurs inférieures sont mises à zéro, le composant cherché est identifié et le centre de la zone connectée nous informe sur l'emplacement de ce dernier sur l'image de la carte électronique. Des étiquettes seront attribuées à l'ensemble des points détectés.

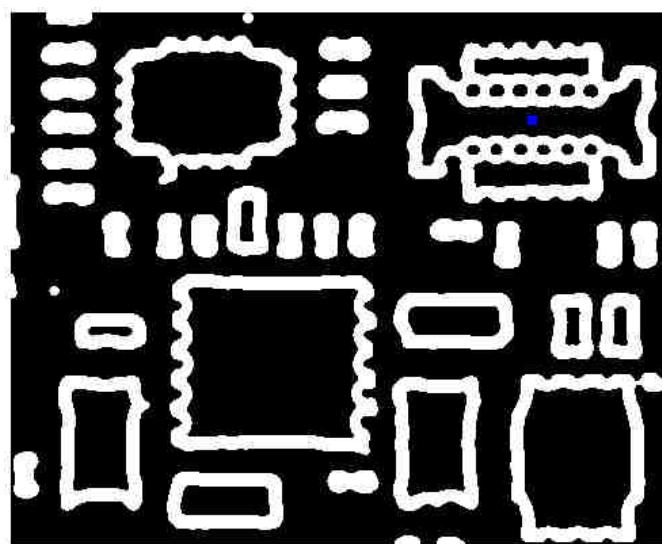


Figure III.18 : Emplacement du composant cherché

Les composants détectés seront ensuite supprimés.

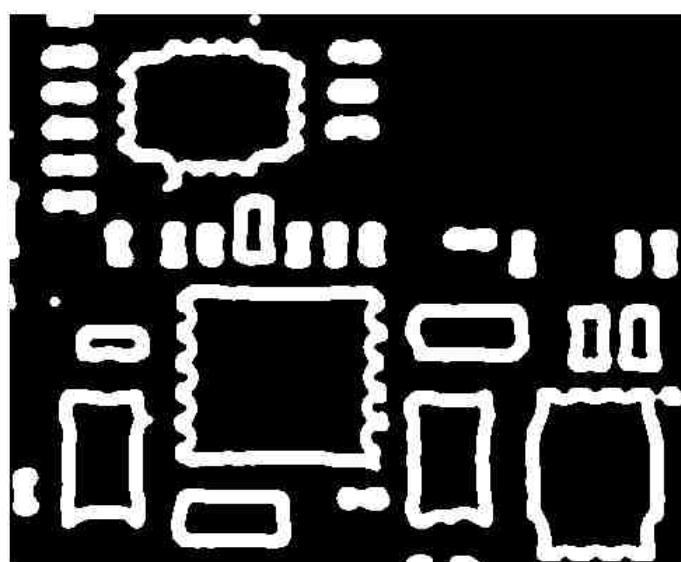


Figure III.19 : Suppression des composants détectés

Rotation du composant électronique

Chaque composant-modèle est cherché dans différentes rotations. Le résultat de détection des composants CMS0603 est montré dans la figure III.20.

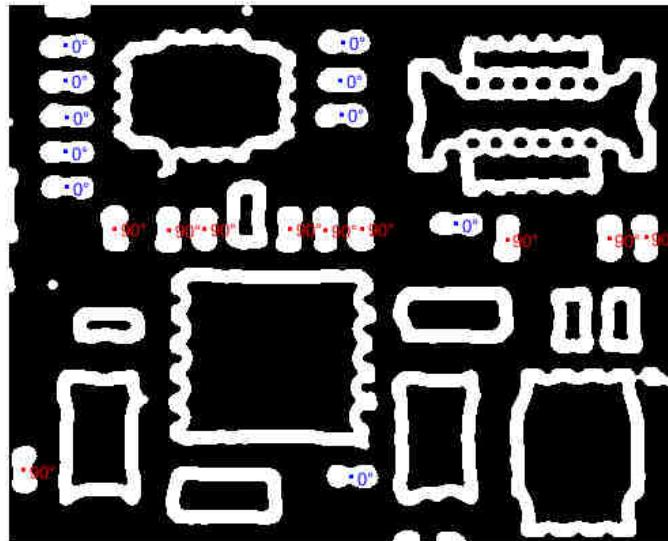


Figure III.20 : Résultat de détection de composants CMS0603

Remarque

Afin d'éviter les fausses détections, il est préférable de commencer à chercher les composants du plus grand au plus petit.

Le résultat final de détection de composants électroniques est montré dans la figure III.21.

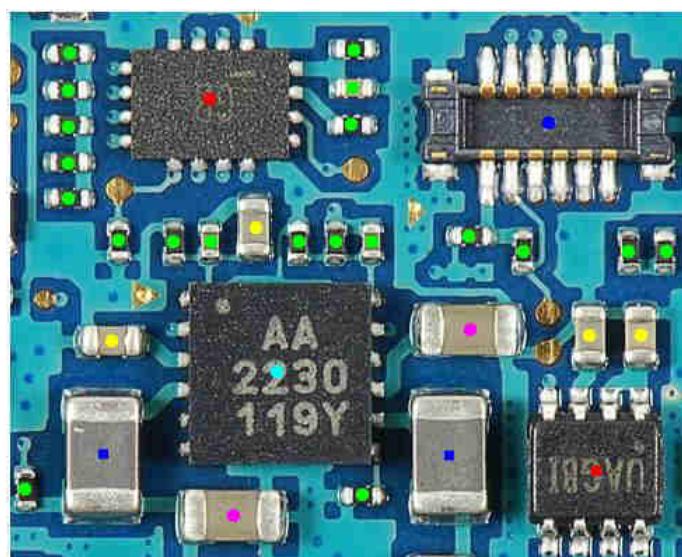


Figure III.21 : Résultat de détection des composants électroniques

Chapitre III : Evaluation des résultats

Par cette manipulation, nous avons identifié les composants se trouvant dans une carte électronique en se basant sur la détection et la reconnaissance de formes. Ce traitement est efficace dans le cas où les différents types de composants n'ont pas la même forme ni la même dimension.

Dans le cas contraire, un traitement de couleur est nécessaire pour identifier ces composants.

III.2.5.5. Classification des composants

Précédemment, nous avons détecté les composants montés en surface de référence 0603, ces éléments doivent être classés comme des résistances ou des condensateurs. La procédure consiste à différencier ces composants par le biais de la couleur du centre.

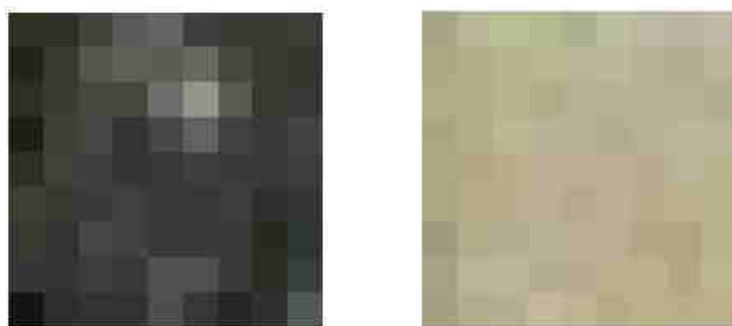


Figure III.22 : Echantillons de couleurs de deux composants CMS0603

Le résultat final d'identification de composants est montré dans la figure III.24.

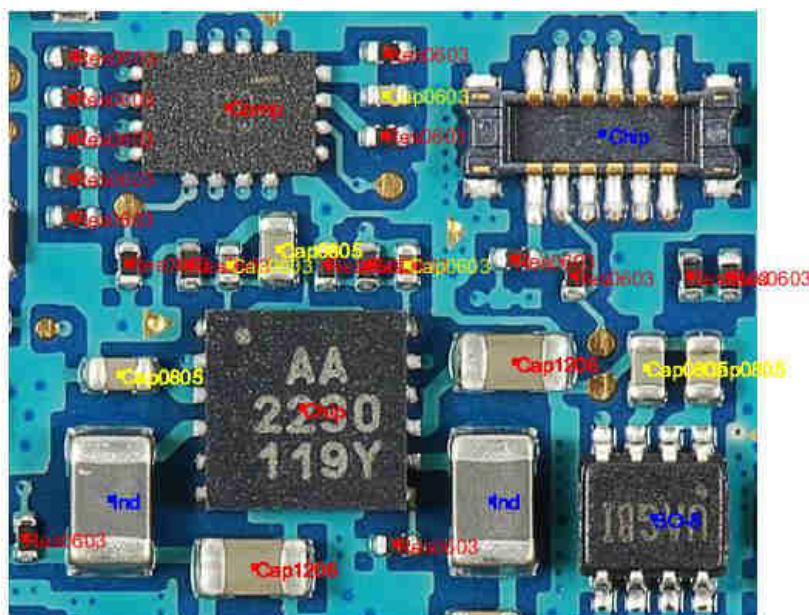


Figure III.23 : Résultat d'identification de composants électroniques du PCB

Chapitre III : Evaluation des résultats

Pour cette image du circuit imprimé du Smartphone Nexus, les résultats obtenus sont satisfaisants et le taux de précision est de 100%

Voici une comparaison de la performance de l'algorithme de détection et de classification des composants CMS0603 appliquée à d'autres cartes électroniques.

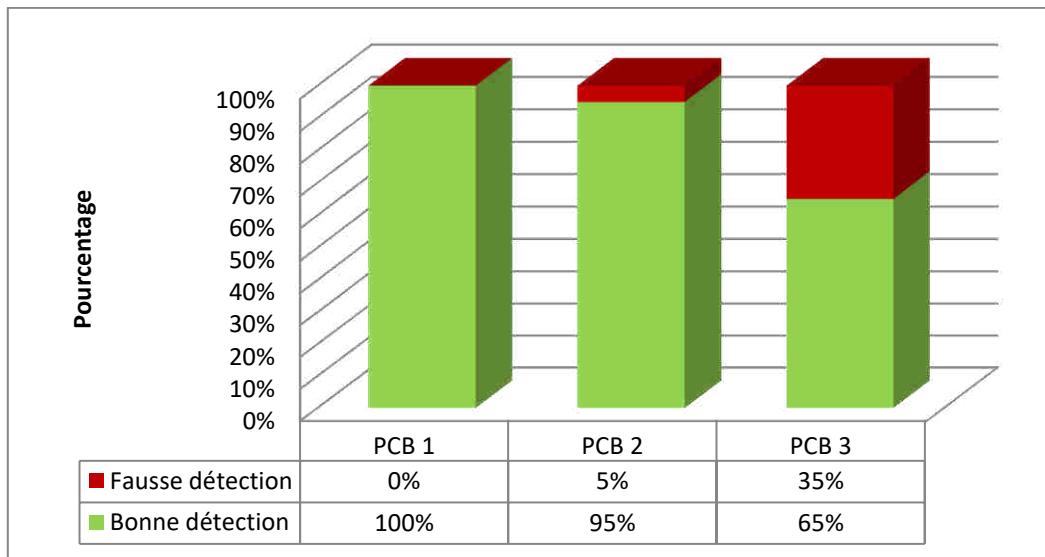


Figure III.24 : Comparaison des résultats d'identification appliquée sur différentes cartes.

Les images des cartes électroniques sont capturées par une caméra matricielle de résolution de 12Méga pixels d'un Smartphone.

Les résultats ne sont pas aussi bons que ceux de la première carte, les erreurs d'identification sont généralement dues aux mauvaises conditions d'éclairage (illumination inégale) et génère une ombre indésirable qui dégrade la précision du programme.

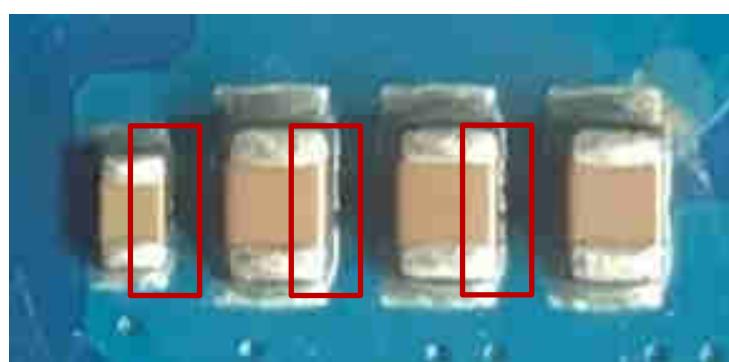


Figure III.25 : L'ombre résultante du mauvais éclairage.

Dans l'industrie, les machines d'inspection utilisent des caméras linéaires pour palier à ce problème d'ombre, l'image est reconstitué ligne par ligne.

III.3. Essais du logiciel d'aide à la décision

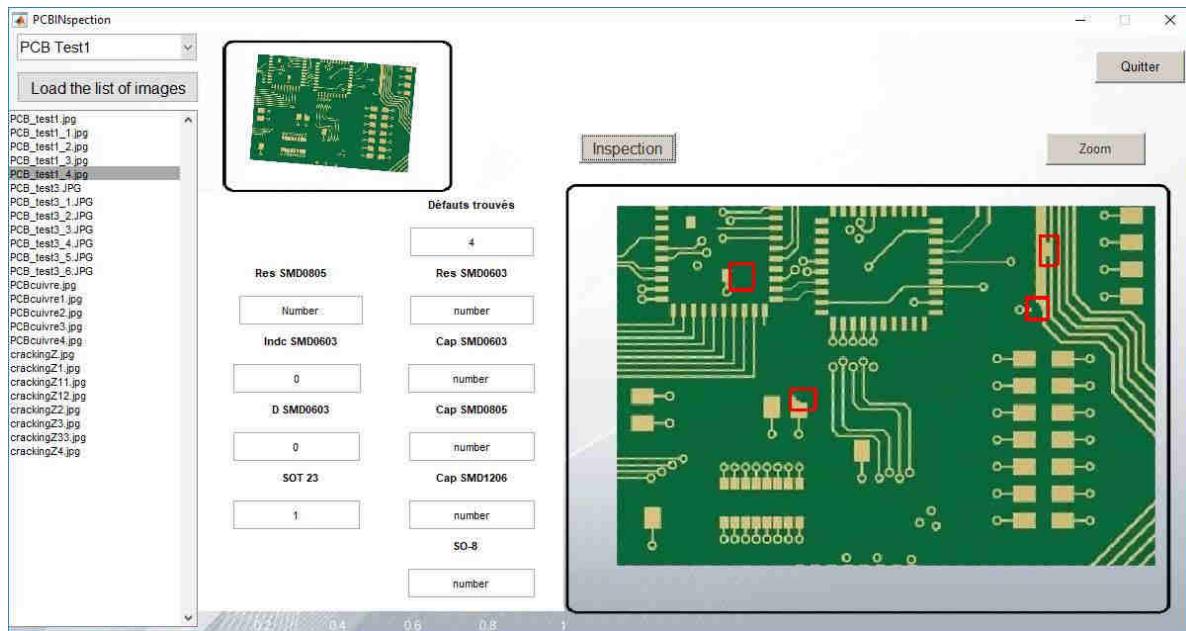


Figure III.26 : Résultat d'inspection du PCB avant placement des composants

Le circuit imprimé est inspecté avant placement des composants, la rotation de l'image acquise est d'abord corrigée, 4 défauts sont détectés sur cette carte de test.

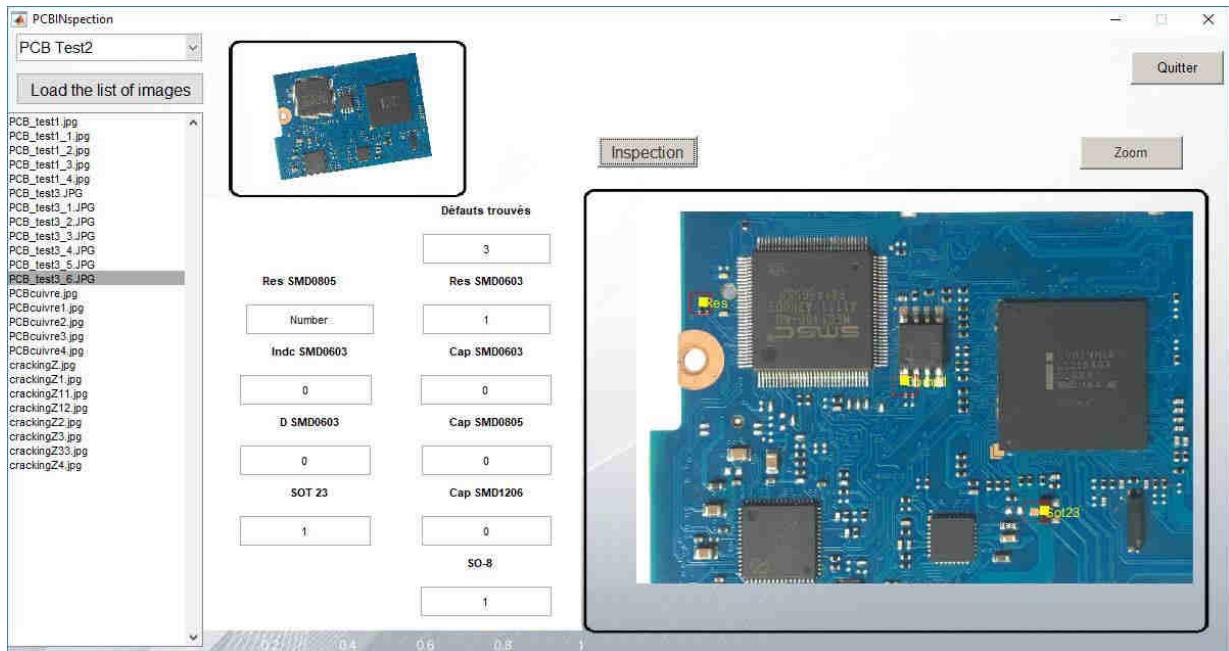


Figure III.27 : Résultat d'inspection du PCB fini

Cette fois ci, le circuit imprimé après placement des composants est inspecté, les composants défectueux ou manquants sont ensuite marqués en rouge et le nombre de composants défectueux de chaque type est affiché.

III.4. Etude des performances

L'évaluation des performances est un élément important dans le déploiement de systèmes logiciels, comme c'était indiqué avant, il y a un ensemble de paramètres qui déterminent la qualité de l'inspection effectuée et ceux-ci peuvent s'illustrer dans :

- La qualité de l'image acquise qui dépend certainement du type de la caméra (résolution des images).
- L'environnement de la prise de l'image milieu maitrisable ou non (Fixation de caméra, éclairage homogène).
- L'algorithme à appliquer lors de l'inspection.
- Techniques de traitement.

Ce qui indique que le niveau de performance de la machine ou plus précisément de l'application que nous avons développé est relatif. En outre, l'application présente une bonne performance cotée :

- Simplicité de l'utilisation.
- Compatibilité avec des différents types de caméras.
- Le temps d'exécution est acceptable.
- L'inspection est fiable.

Mais en contrepartie, il y a certainement des limites pour l'application vu la contrainte du temps consacré pour le projet tels que :

- Manque d'une précision fine vu l'utilisation d'une seule caméra pour la capture d'image et donc des composants seront mal capturés étant donné qu'ils sont de petites tailles.
- Manque d'une marge d'erreurs pour tolérer le passage de cartes électroniques sans qu'elles soient marquées comme non-conformes alors qu'elles sont tolérables. Ainsi qu'accepter les défauts d'apparences comme les défauts de lettres qui ne dégradent pas vraiment les performances de la carte électronique.
- Amélioration des algorithmes utilisés pour l'inspection pour assurer une qualité meilleure et un traitement plus optimisé des données.
- Implémentation du programme sur une carte à microprocesseur

III.5. Conclusion

Comme il a été indiqué dans ce chapitre, l'application présente des avantages divers tels que la correction géométrique des images capturées qui est absente dans les machines d'inspection existantes auparavant. Ces avantages rendent l'application intéressante à implémenter sur les lignes de production de cartes électroniques à grande échelle.

L'étude des performances a montré qu'elle peut être meilleure dans l'avenir avec l'introduction des améliorations indiquées ci-dessus.

Conclusion générale

De nos jours, l'électronique connaît un développement rapide nécessitant le développement parallèle des procédures de tests. L'une de ces dernières utilise la vision industrielle qui est de plus en plus introduite comme outil d'inspection et de contrôle qualité.

La méthode de détection des défauts de PCB proposée dans ce document vise à améliorer autant que possible les performances des équipements d'inspection optique automatique afin d'atteindre une détection plus crédible des défauts. Ces derniers participent à augmenter la flexibilité et la productivité des entreprises et par conséquent les bénéfices, à participer à la maintenance, à mieux connaître la qualité des produits (conformité aux normes industrielles), à gagner du temps et faciliter les tâches de l'inspection aux opérateurs surtout avec la complexité des cartes.

Ce document résume les principaux contenus et les techniques utilisées pour mieux remplir l'objectif principal qui est le contrôle qualité des cartes électroniques. Cependant, l'inspection optique automatique est un domaine de recherche multidisciplinaire et ce projet n'en demeure pas moins qu'un prototype ouvert au développement et soumis à certaines contraintes telles que la luminosité, le type de la caméra ainsi que le délai fixé pour le projet.

Ce projet représente un grand pas dans le domaine de l'inspection optique automatique, un secteur devenu très important durant ces dernières années. Ce manuscrit est une bonne référence pour les débutants dans le domaine de l'inspection car il représente un prototype de départ pour ceux qui veulent le développer et l'améliorer.

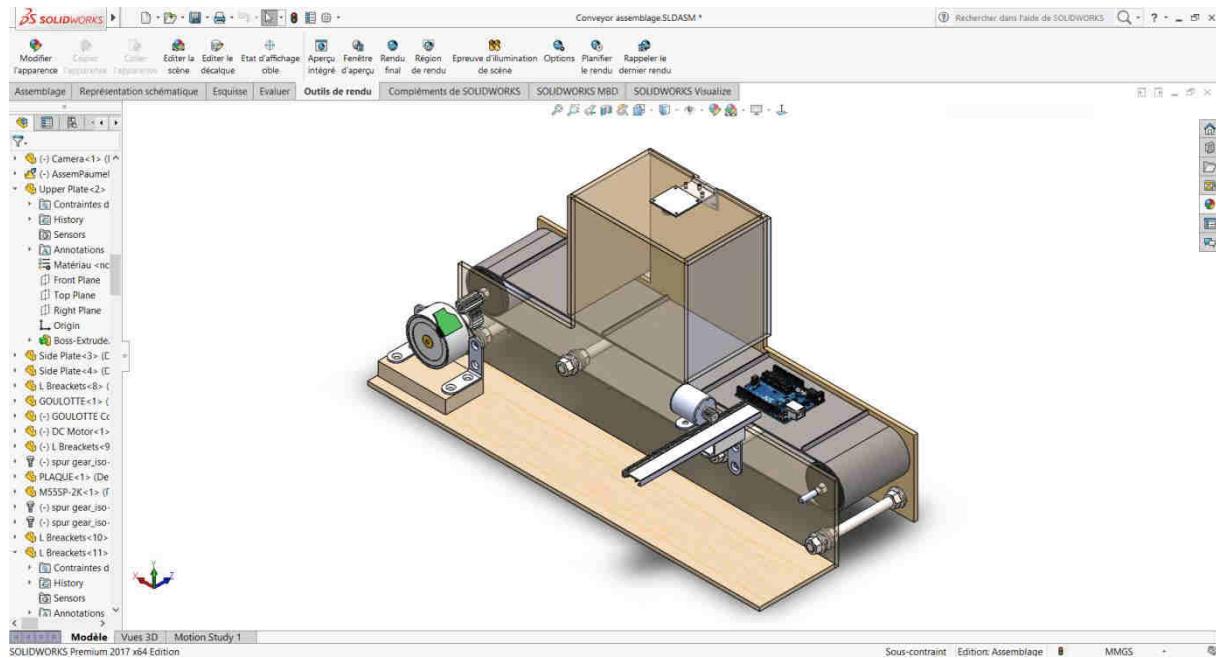
L'idée d'avancer dans ce domaine est très intéressante, de par ses ouvertures, mais surtout, pour son importance et sa pratique dans l'industrie des cartes PCB.

Annexes

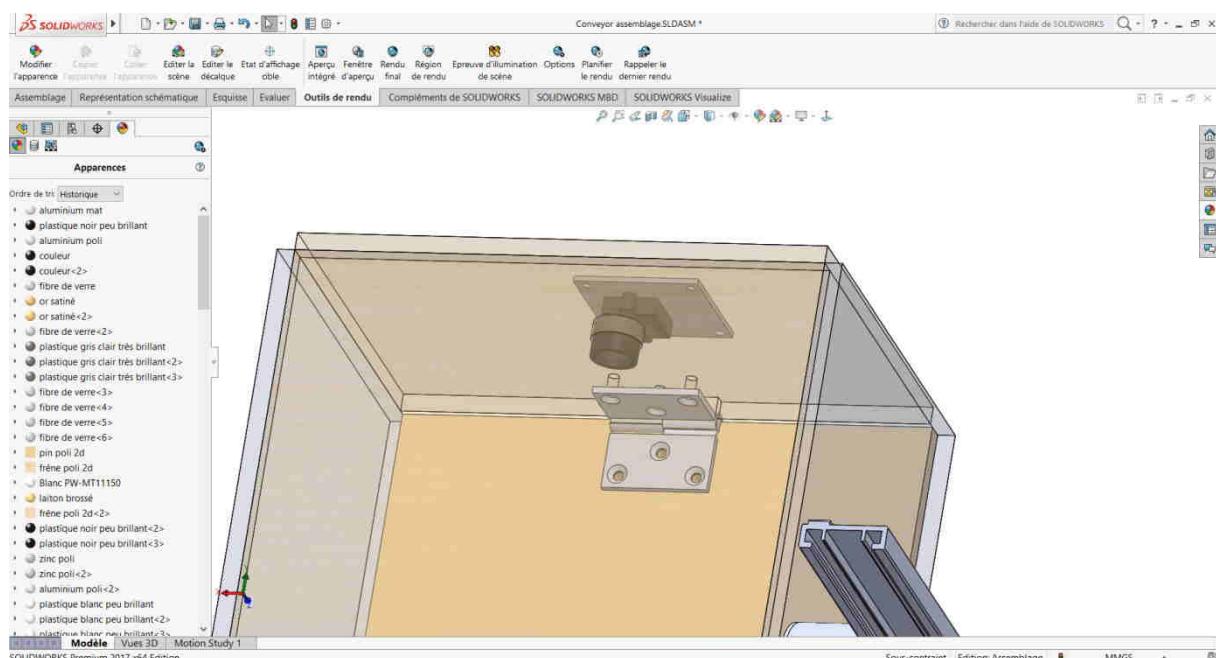
Annexes

Annexe A : La conception de la machine d'inspection sous SolidWorks

Vue globale de la conception de la machine sous SolidWorks2017 :

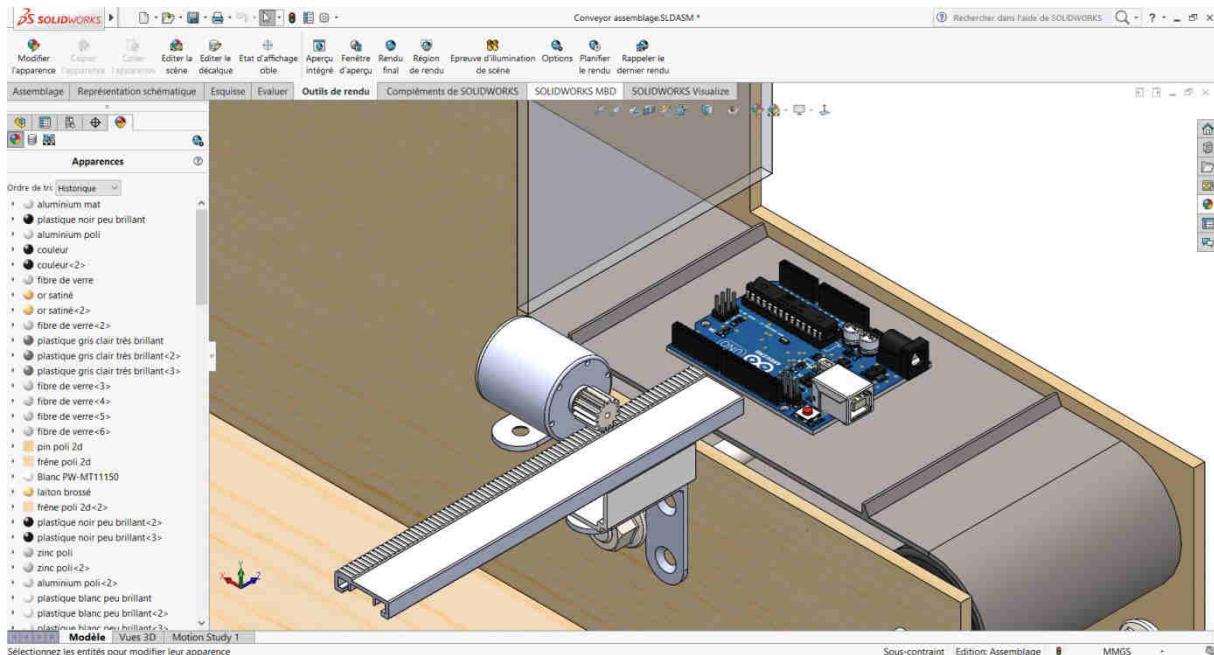


Bloc de caméra et d'éclairage :

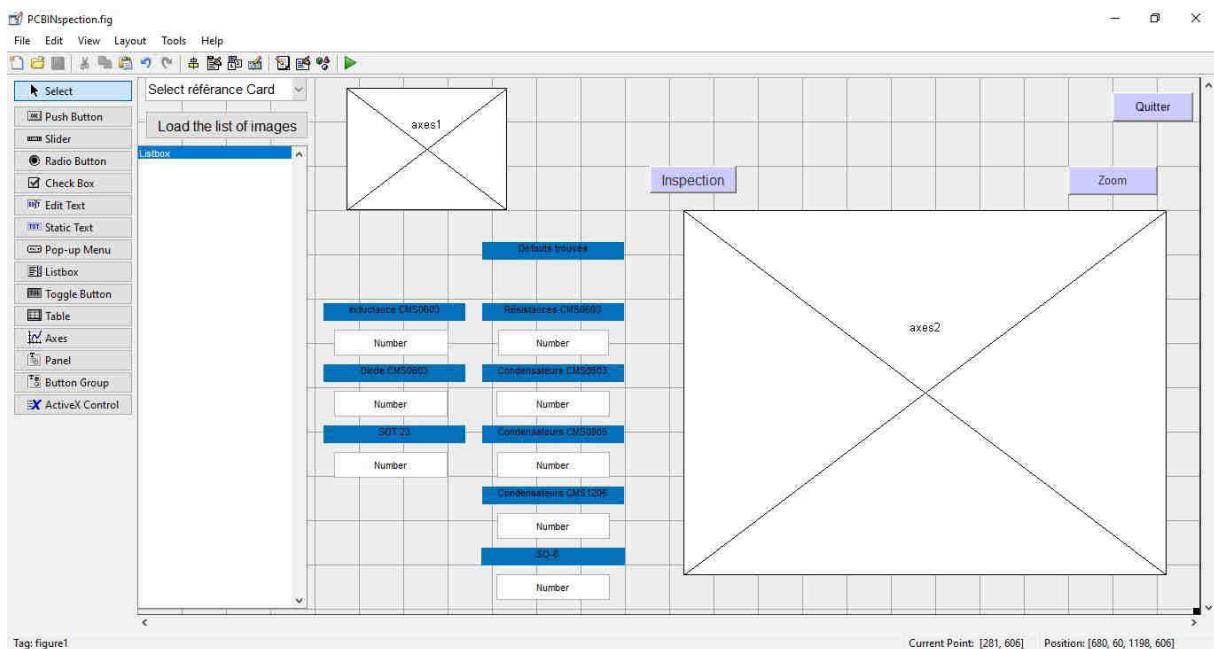


Annexes

💡 Vérin pour le rejet de la carte électronique non-conforme :



Annexe B : Environnement de développement GUI sous Matlab



Résumé

Le développement de l'optique des caméras et la numérisation des signaux a permis l'évolution du traitement numérique des images. Parmi les techniques disponibles dans la segmentation d'image, on trouve la détection d'objets par leurs formes basée sur la détection de contours. L'objectif de ce projet est de proposer une application d'inspection de conformité des cartes électroniques par la vision industrielle dont les résultats obtenus sont encourageants.

Mots clés : Circuit imprimé, Machine de vision, Segmentation d'image, détection de forme, détection de contour, Détection de Couleur

Abstract

The development in the fields of optical technologies such as cameras and the digitalization of signals allowed a remarkable evolution in digital signal processing. One of the available techniques in this particular field is image segmentation, which offers the possibility of object detection by its form using the edge detection technique. An application is created in the context of this project and it's entitled 'Conformity inspection of electronic cards by industrial vision' whose results are encouraging.

Key words: Printed Circuit Board, Machine vision, Image segmentation, Form detection, Edge detection, Color detection

ملخص

إن التطور الذي لحق بـتكنولوجيا البصريات ، خاصة ما يخص آلات التصوير ، و التطور الملحوظ في رقمنة المعلومات منحت الفرصة لتطوير تقنيات المعالجة الرقمية للصور. من بين التقنيات التي ظهرت في هذا الميدان تقنية تجزئة الصورة التي تمنح إمكانية الكشف عن الأشياء في الصور باعتبار أشكالها و باستعمال تقنية الكشف عن الحواف. في إطار هذا المشروع تم اقتراح تطبيق فحص المطابقة للبطاقات الالكترونية من خلال الرؤية الصناعية، ذات نتائج مشجعة

كلمات مفتاحية : بطاقة الالكترونية ، الية الرؤية،جزئية الصورة ، الكشف عن الأشكال ، الكشف عن الحواف ، الكشف عن الألوان