



HAL
open science

commande multi capteur d'un processus de fabrication

Khaled El Sahmarani

► **To cite this version:**

Khaled El Sahmarani. commande multi capteur d'un processus de fabrication. Automatique / Robotique. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2008. Français. NNT: . tel-00372656

HAL Id: tel-00372656

<https://theses.hal.science/tel-00372656>

Submitted on 2 Apr 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER – GRENOBLE I

Spécialité : Génie Automatique – Productique

Soutenance le 21 octobre 2008

Khaled EL SAHMARANI

Commande multi capteur d'un processus de fabrication

Directeur de thèse :

Mme Zineb SIMEU – ABAZI

Membres du jury :

M. Nouredine ZERHOUNI

M. Kondo ADJALLAH

MME Patricia LADRET

M. Yannick FREIN

MME. Nawal SBITI

Rapporteur

Rapporteur

Examineur

Examineur

Examineur

Remerciements



Je voudrais adresser ici ma reconnaissance et mes remerciements à ma directrice de thèse, Madame Zineb Simeu-Abazi, pour ses conseils pertinents, précieux et constructifs pour la réalisation de ce travail de thèse.

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur Noureddine Zerhouni et Monsieur Kondo Adjallah qui ont accepté de juger ce travail et d'en être les rapporteurs. Je tiens à remercier aussi Monsieur Yannick Frein, Madame Nawal Sbiti et Madame Patricia Ladret, pour avoir accepté d'examiner ce travail. Je suis très reconnaissant à Mme Ladret pour son aide et sa disponibilité.

Merci également à tous les chercheurs, enseignants et doctorants, du laboratoire Lag et G-scop pour leur amitié et leurs encouragements, et pour m'avoir fait partagé leurs expériences et connaissances.

Un immense et affectueux merci à Mariam, ma chère femme, à qui je tiens à exprimer ma vive gratitude pour son soutien, sa confiance et ses encouragements.

Une pensée particulière à mes parents pour leur support et leur dévouement.

Sommaire

Table des figures.....	4
Introduction générale	7
Table des tableaux.....	7
I.1 Utilisation de la vision dans l'industrie.....	12
I.1.1 Les différents domaines d'application	14
I.1.1.1 La vision pour la robotique ou guidage de robot :	15
I.1.1.2 La vision pour la détection de défaut	15
I.1.1.3 La vision pour le guidage d'automobile ou la sécurité des piétons.	16
I.1.1.4 La vision pour la surveillance et sécurité	17
I.2 Capteurs classiques et système de vision	19
I.2.1 Différents types de capteurs classiques.....	21
I.2.1.1 Capteurs de mesures physiques.....	21
I.2.1.2 Capteurs de position et de déplacement	22
I.2.1.3 Classification suivant l'information	22
I.2.1.4 Capteurs classiques, défaut et fiabilité	24
I.2.2 Système de vision.....	25
I.2.2.1 Différents types de système de vision	25
I.2.2.2 Qualité de l'information	26
I.2.2.3 Défaut et fiabilité de la vision	26
I.2.3 Remplacement des capteurs classiques par un système de vision	27
I.3 Impact économique de la vision industrielle.....	28
I.4 matériel de vision utilisé	31
I.5 Conclusion	33
II.1 Introduction.....	35
II.2 Principe général de la méthode proposée.....	35
II.3 Etude de faisabilité pour un système de tri par vision, Algorithme de commande et détection	38
II.3.1 Description du processus avec le système de vision:.....	38
II.3.2 Positionnement des capteurs	39
II.3.3 Traitement d'image	40
II.3.4 Architecture matériel du processus	40
II.3.5 Orientations de la thèse	42
II.4 Limites des algorithmes développés, problème de luminosité.....	43
III.1 Introduction	46
III.2 Pilotage d'un processus de fabrication : Structure générale	46
III.3 D'une commande classique vers une commande par vision.....	47
III.4 RÔle Des différents modules du système de vision	48
III.4.1 Le module de commande	48
III.4.2 Le module de supervision et surveillance	49
III.4.3 Le module de Détection, Localisation et Diagnostic	49
III.5 Proposition d'une architecture opérationnelle.....	50
III.5.1 Mise en œuvre de l'architecture opérationnelle :	51
III.5.2 Proposition d'une structure hiérarchique du système de commande par vision 53	
III.5.3 Évaluation de l'architecture opérationnelle.....	54

III.6	Récapitulatifs des différentes étapes d'un système de commande par vision.....	56
III.6.1	Grafcet Maître d'un système classique	58
III.6.2	Grafcet maitre d'un système avec vision :	58
III.6.3	Conditions initiales :.....	59
III.6.4	Initialisation de système de vision	60
III.6.5	Surveillance	60
III.6.6	Détection :	61
III.6.7	Localisation :	61
III.6.8	Identification	62
III.7	Puissance du système de vision.....	62
III.8	Application : simulation sur un système de Tri, architecture et résultats	63
III.8.1	Influence du nombre de capteurs virtuels dans la vitesse de traitement.	63
III.9	Conclusion.....	65
IV.1	Principe général de la méthode	67
IV.2	Analyse de l'existant	68
IV.3	Méthodologie proposée.....	71
IV.3.1	Choix de la chrominance et filtrage	72
IV.3.2	Détection de contour	73
IV.3.3	Détection de mouvement.....	75
IV.3.4	Reconnaissance de forme et identification de défaut.....	77
IV.3.4.1	Transformée de Hough.....	77
IV.3.4.2	Code de Freeman.....	81
IV.3.4.3	Corrélation.....	84
IV.3.4.4	Identification de défaut :	85
IV.3.4.4.1	Localisation et identification par Hough :	85
IV.3.4.4.2	Identification par Freeman :	88
IV.4	Simulation et résultats	89
IV.4.1	Principe de l'analyse	89
IV.4.2	Choix de la pièce par apprentissage, définition des critères	90
IV.4.3	Filtrage et détection de contour	91
IV.4.4	Localisation et orientation :.....	92
IV.5	Etude comparative des différents algorithmes, Hough et Freeman	97
V.1	Interface homme-machine, IHM.....	101
VII.2.1	Définition :	101
VII.2.2	Rôle et fiabilité :	101
V.2	Differentes étapes et vues.....	101
V.3	Installation des capteurs virtuels, configuration	105
V.4	Codages des informations	106
V.5	Transmission des informations	107
V.6	Conclusion	108
VI.1	Principe et objectif :	110
VI.2	Matlab et Scherlock 6.1 : expérimentation en acquisition et traitement d'image ..	110
VI.2.1	Acquisition d'image	110
VI.2.2	Algorithmes de traitement d'image.....	112
VI.2.3	Réactivité.....	112
VI.2.4	Sûreté de fonctionnement.....	112
VI.3	Application de SERPAC	113
VI.3.1	Problèmes rencontrés:	116
VI.3.1.1	Luminosité.....	116
VI.3.1.2	Passage du personnel.....	117

VI.3.2	Solution	118
VI.4	application à l'AIP	118
VI.4.1	Précision de la couleur et choix des zones d'intérêt:	119
VI.4.2	Traitement et résultat :	120
VI.5	Tri de noix	123
VI.5.1	Détail de l'application :	123
VI.5.2	Identification de couleur et localisation :	124
VI.5.3	Orientation de noix :	125
VI.5.4	Qualité du cerneau :	126
VI.5.5	Interface :	127
VI.6	Conclusion :	128
VII.2	Faisabilité	131
VII.3	Flexibilité	132
VII.4	Efficacité	132
VII.5	Perspectives	133

Table des figures

<i>Figure.1</i> : Différentes possibilités d'usage des systèmes de vision Cognex.....	14
<i>Figure.2</i> : Différents processus de fabrication où la vision est utilisée pour la robotique (SERPAC).....	15
<i>Figure.3</i> : Détection et localisation de défauts	16
<i>Figure.4</i> : Image de caméra infrarouge identifiant un piéton à droite de l'image (FLIR System).....	16
<i>Figure.5</i> : Camera de surveillance sur réseau internet sans PC (JR international).....	17
<i>Figure.6</i> : Echauffement sur un disjoncteur (1) et Echauffement d'un fusible dû à une surintensité (2)	18
<i>Figure.7</i> : Défaut de serrage sur la phase d'un sélecteur (3), Défaut de serrage sur un isolateur (4) et Défaut de serrage sur une connexion (5)	18
<i>Figure.8</i> : Palier droit en surchauffé dû à un manque de graisse (1), Problème d'équilibrage sur un ventilateur (2), Echauffement d'un moteur (3).....	18
<i>Figure.9</i> : Contrôle de température en industrie métallurgique.....	20
<i>Figure.10</i> : chaîne de production en industrie de textile	20
<i>Figure.11</i> : Forme d'un capteur CCD ou CMos.....	25
<i>Figure.12</i> : Carrés représentant les zones d'intérêt ou capteurs virtuels dans l'image	26
<i>Figure.13</i> : Deux caméras différentes USB (a) et FIREWIRE (b) (logitech et Imasys)	32
<i>Figure.14</i> : évolution des prix de capteurs de visions (Tech Innove).....	32
<i>Figure.15</i> : Conception d'architecture matérielle et logicielle.....	36
<i>Figure.16</i> : Algorithme général du système de vision comportant la partie opérative et la commande	37
<i>Figure.17</i> : Image représentant un poste de tri, pour l'étude de faisabilité (SERPAC)	39
<i>Figure.18</i> : Deux images montrant les zones d'intérêt ou capteurs virtuels positionnés dans une image	39
<i>Figure.19</i> Flux d'information entre les différents modules de la structure matérielle.....	41
<i>Figure.20</i> Illustration du codage de deux capteurs de reconnaissance de forme, chaque capteur affecte un bit d'information dans le mot binaire.....	41
<i>Figure.21</i> Échange d'information entre les différentes parties d'un processus de fabrication.	47
a- Structure classique.....	47
b- Structure proposée – implémentation d'un système de vision	47
<i>Figure.22</i> Échange d'information entre différents organes.....	48
<i>Figure.23</i> Démarche d'évaluation du modèle de l'Architecture Opérationnelle.....	51
<i>Figure.24</i> Différents modules de l'architecture opérationnelle.....	52
<i>Figure.25</i> Architecture logiciel, différentes étapes de l'imagerie représentant des macro-étapes.....	53
<i>Figure.26</i> Architecture du Modèle de commande par vision	54
<i>Figure.27</i> : Arbre de défaillance d'un système de commande basique.....	55
<i>Figure.28</i> : Arbre de défaillance d'un système de commande avec vision.	55
<i>Figure.29</i> : Arbre de défaillance d'un système de commande avec un système de vision redondant.	56
<i>Figure.30</i> Algorithme d'un système de contrôle et commande par vision	57
<i>Figure.31</i> Grafset d'un système classique	58
<i>Figure.32</i> Maître d'un Grafset avec vision intégrée.....	59
<i>Figure.33</i> Esclave 1, tâche initialisation et test.....	59
<i>Figure.34</i> Esclave 2, initialisation et apprentissage du système de vision.....	60
<i>Figure.35</i> Esclave 3, surveillance et sûreté de fonctionnement	60
<i>Figure.36</i> Esclave 4, Grafset de détection de mouvement ou de présence.....	61
<i>Figure.37</i> Esclave 5, tâche de localisation	61
<i>Figure.38</i> Esclave 6, identification de défaut	62
<i>Figure.39</i> Vitesse de traitement d'image en fonction du nombre de ZOI	64
<i>Figure.40</i> : Les différentes étapes à suivre pour un cycle de traitement	67
<i>Figure.41</i> Différents graphes représentant le contour 'a', la première dérivée 'b' et la seconde dérivée 'c'	68
<i>Figure.42</i> Image réelle (INRIA-Syntim c, copyright). (a) Bande rouge. (b) Bande verte. (c) Bande bleue. (d) Image d'intensité. (e) Contours de l'image couleur obtenus par le Laplacien multispectral ($\sigma=3$). (f) Contours de l'image d'intensité obtenus par le Laplacien sur l'image 2d ($\sigma=3$).	69

<i>Figure.43</i> Image réelle (INRIA-Syntim c, copyright). (a) Contours de l'image 3b obtenus par le Laplacien de la Gaussienne ($\sigma = 3$). (b) Image de variance de 3b ($\sigma_m = 1$). (c) Contours de l'image de variance obtenus par le Laplacien de la Gaussienne ($\sigma_{di} = 2.83$). (d) Contours de l'image originale et de l'image de variance obtenus par le Laplacien multispectral (non-corrigé) ($\sigma_{di} = 3$ et $\sigma_{dm} = 2.83$).	70
<i>Figure.44</i> : Organigramme représentant les deux étapes d'analyse et des algorithmes de traitement d'images..	72
<i>Figure.45</i> : Image couleur RGB Image à niveau de gris	73
<i>Figure.46</i> : Détection de contour avec la méthode Canny	74
<i>Figure.47</i> : détection de contour de la figure 45, Canny ($\sigma = 0.3$) Canny $\sigma = 0.5$	75
<i>Figure.48</i> : Première image à l'instant t_0 , considéré comme background	76
<i>Figure.49</i> : Deuxième image à l'instant $t_0 + a$, pièce en mouvement. 'a' est le temps entre deux acquisition.....	76
<i>Figure.50</i> : Les pixels qui ont changé d'état sont blanc, et représentent le mouvement	76
<i>Figure.51</i> : $R_q(x')$ est la transformée de Hough de l'image suivant l'angle q.	78
<i>Figure.52</i> : alignement de point qui représente une droite qui fait -45° avec l'axe des X	78
<i>Figure.53</i> : La transformée de Hough de la droite	78
<i>Figure.54</i> : La droite est localisée par la normale de la droite passant par le centre	79
<i>Figure.55</i> : Voici les trois points A1, A2 et A3 appartenant à la droite de la figure 54.....	80
<i>Figure.56</i> : La transformée de Hough des 3 points	81
<i>Figure.57</i> : Représentation de la méthode de Freeman	82
<i>Figure.58</i> : Evolution et calcul de la distance entre le centre et le contour de la pièce, distance minimale en vert.	
83	
<i>Figure.59</i> : Distance entre centre et contour de la pièce	83
<i>Figure.60</i> Contour d'une pièce type et le contour des pièces dans une image	84
<i>Figure.61</i> La corrélation de la pièce type avec les contours des pièces dans l'image	85
<i>Figure.62</i> : La ligne la plus longue d'abscisse $X=38$ est à localiser.....	86
<i>Figure.63</i> : Transformée de Hough, représentée en fonction de θ et ρ	87
<i>Figure.64</i> : la projection de Hough de l'image à 90°	88
<i>Figure.65</i> : Distance entre centre et contour de la pièce.....	88
<i>Figure.66</i> : Contour de l'image réel. *Le contour d'une pièce type choisi par apprentissage.....	90
<i>Figure.67</i> : Le résultat de la corrélation sont les coordonnées marqués par « * »	91
<i>Figure.68</i> : L'identification de l'encoche est faite par la transformée de Hough	91
<i>Figure.69</i> : Détection de contour avec la méthode Canny, avec deux valeurs différentes du facteur Canny ' σ '. ..	92
<i>Figure.70</i> : Image de la pièce et du contour par l'application de filtre Canny.....	92
<i>Figure.71</i> : Trois pièces localisées à l'aide de la corrélation.....	93
<i>Figure.72</i> : La première pièce dans l'image, vu en haut de l'image temps réel à gauche.	93
<i>Figure.73</i> : Pièce localisée en bas de l'image temps réel à droite.....	93
<i>Figure.74</i> : La deuxième pièce dans l'image, localisée au milieu de l'image en temps réel.....	94
<i>Figure.75</i> : Les pièces localisées et l'orientation de chacune de ces pièces.....	95
<i>Figure.76</i> : Le contour de l'image de la pièce type avec la localisation de l'encoche à l'aide de la méthode de Freeman	95
<i>Figure.77</i> : Les trois pièces localisées et l'orientation calculé à partir de la morphologie mathématique et code de Freeman	96
<i>Figure.78</i> Comparaison visuelle des résultats.....	98
<i>Figure.79</i> : Localisation des mêmes pièces par deux systèmes de vision redondants	99
<i>Figure.80</i> Installation d'un système de commande avec un système de vision redondant	99
<i>Figure.81</i> C'est la première page de l'interface réaliser avec le GUI builder sous matlab.....	102
<i>Figure.82</i> : La petite fenêtre nous montre ce que nous pouvons voir via la caméra.	103
<i>Figure.83</i> : Visualisation de l'image standard choisie, aussi les paramètres de dimension des capteurs.	104
<i>Figure.84</i> Affichage de l'image initial pour le positionnement des capteurs	105
<i>Figure.85</i> Choix de position ou poids de chaque capteur virtuel dans le mot binaire à transmettre à la partie opérative	107

Figure.86 Différente acquisition d'image avec des zones d'intérêt, faite avec sherlock à gauche et matlab à droite
111

Figure.87 : Deux caméras (1 et 2) avec une zone de redondance.....	113
Figure.88 : Caméra imasys utilisée pour l'application de tri de colis chez SERPAC Industries.	114
Figure.89 : Image de Sherlock durant l'application	115
Figure.90 : Image de Sherlock, pour les capteurs 4 et 5 leur fiabilité est lié à la présence d'un fond blanc.....	116
Figure.91 : Image de Sherlock, prise avec une intensité lumineuse ambiante plus importante.	117
Figure.92 : Forme d'une pièce type	118
Figure.93 : Deux pièces de forme identique mais de taille d'encoche différentes	119
Figure.94 : Choix de la couleur à identifier (noir ou marron clair).....	119
Figure.95 : Choix des zones d'intérêt	120
Figure.96 : Résultat de la détection de contour sur les deux zones d'intérêt	120
Figure.97 Les points identifiés sont de couleur blanche	121
Figure.98 : Résultat de corrélation, deux matrices représentant les deux zones d'intérêt	121
Figure.99 : Résultat de la détection de défaut.....	122
Figure.100 : Détail des différentes étapes de l'application de tri de noix	123
Figure.101 : Deux noix de qualité différentes	124
Figure.102 : Contour des noix localisées dans l'image	124
Figure.103 : Les 2 parties de l'image représentant les deux noix	125
Figure.104 : La couleur de bonne qualité est en blanc	125
Figure.105 : Transformée de Hough (à droite) de la noix de bonne qualité (à gauche).....	126
Figure.106 : Image présentant différent type de cerneau	126
Figure.107 : 1940 pixels représentant le cerneau	127
Figure.108 : 1277 pixels pour une partie de cerneau	127
Figure.109 : Image représentant l'interface graphique.	128
Figure.110 : système de commande avec capteurs classiques à gauche et avec système de vision à droite.	131

Table des tableaux

Tableau N°1. : Présentation des caractéristiques* de l'information donnée par chaque capteur	23
Tableau N°2. Automated Imaging Association : année 2001	29
Tableau N°3. European Vision Sourcebook, 1999	30
Tableau N°4. Tableau représentant les différentes qualités pour le choix d'un matériel de vision	31
Tableau N°4. Tableau représentant les résultats de morphologie calculés par Hough et Freeman	97
Tableau N°5. Tableau de comparaison des points fort et faible des deux méthodes.....	98
Tableau N°6. Tableau représentant l'action de chaque algorithme ou méthode	99

INTRODUCTION GENERALE

Augmenter la fiabilité et la sûreté de fonctionnement d'une unité de fabrication tout en minimisant les coûts est le souci permanent de tout industriel. Il existe des solutions plus ou moins coûteuses permettant de trouver un compromis entre les coûts engendrés pour la fiabilisation d'un processus de fabrication et l'amélioration de la productivité. Les solutions apportées se sont souvent orientées vers la redondance de matériel qui engendre un coût non négligeable. Par ailleurs, la proposition d'une architecture matérielle pourra avoir un impact sur la révolution des installations industrielles pour la commande des différents processus de fabrications.

Le pilotage et la commande d'une unité de fabrication reposent sur les échanges entre la partie opérative (machines, convoyeurs, ...) et la partie commande (armoires de commande, automates,...) à travers les données capteurs/ actionneurs. Il est alors nécessaire pour assurer une productivité donnée et un bon niveau de sûreté, que ces échanges d'information, soient fiables et accessibles. Les performances attendues d'une unité de fabrication se situent à la fois au niveau de la productivité et au niveau de la sûreté (fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité).

Notons que dans les processus de fabrication classiques, la source d'information de la partie commande est délivrée par les capteurs situés à différents endroits de l'atelier de fabrication. Ces capteurs sont sensibles à la moindre perturbation. A titre d'exemple, les capteurs de présence qui sont les plus utilisés, doivent être calibrés séparément suivant l'environnement d'utilisation. De plus, dans certains cas, de telles installations nécessitent des centaines de mètres de câble pour le branchement des différents capteurs ce qui peut être encombrant, source de défauts et par conséquent ne facilite pas le diagnostic.

A la lourdeur de mise en œuvre d'une installation industrielle classique s'ajoute la limitation du système d'information. En effet, pour le problème de diagnostic de défauts, les capteurs classiques utilisés ne sont pas en mesure de prendre en compte les problèmes liés aux défauts de forme, de peinture, d'assemblage, d'aspect,... lors du processus de fabrication. Devant la multitude des capteurs, leur calibrage, les difficultés d'implantation sans compter le niveau de fiabilité à assurer nous ont conduit à chercher de nouvelles solutions contribuant à l'amélioration des performances de ces installations industrielles.

Une solution innovante est proposée dans cette thèse : l'utilisation d'un capteur unique de vision pour la commande et la détection. Cette solution est appelée innovante du fait que la vision n'est jamais utilisée pour remplacer des capteurs classiques ou pour être l'unique source d'information pour la commande d'un processus, cela sera détaillé dans le premier chapitre.

L'intérêt d'un processus de fabrication basé sur un capteur unique de vision réside dans :

- ✓ **La simplicité de l'installation** : le support technique de certain constructeur, de système de vision accompagné d'un logiciel d'imagerie industrielle, comme Cognex par exemple, permet une installation rapide et efficace avec les caméras Plug and Play et la programmation avec des outils glisser-déposer.
- ✓ **La flexibilité** : le capteur de vision est flexible, la position de capteur est facilement modifiable. Les zones à surveiller sont sélectionnées dans l'image, elles représentent des capteurs virtuels dont la position peut être changée tout simplement par programme sans nécessiter de déplacement.
- ✓ **Le coût** : minimisation du temps d'installation et de mise en œuvre.
- ✓ **La maintenance** : les causes de défaillance sont limitées aux éventuels dysfonctionnements du système de vision ou aux mauvaises informations envoyées à la partie commande rendent ainsi, le diagnostic et la maintenance plus simple et plus rapide. En comparant cela à un système utilisant plusieurs capteurs classiques et la quantité de câblage adéquate, la fiabilité du système de vision est significative.

Cette nouvelle orientation basée sur l'utilisation d'un capteur unique de vision pour la commande et la détection nous a amenés à trouver des réponses aux questions suivantes :

Question 1 : Quels sont les domaines d'application de la vision industrielle ?

Question 2 : Est-il possible de faire de la commande avec un capteur unique de vision ?

Question 3 : Comment doit-on organiser un processus de fabrication basé sur un système unique de vision ?

Question 4 : Quels sont les développements théoriques au niveau commande, pilotage et détection de défauts ?

Question 5 : Comment évaluer les performances lorsque le processus de fabrication est commandé par un capteur de vision ?

En réponse à la question 1 le premier chapitre de la thèse est dédié à l'évolution des systèmes de vision dans le monde industriel. Dans le domaine du manufacturier, la vision industrielle longtemps utilisée pour la surveillance des tâches, s'oriente de plus en plus vers la détection de mouvements, de défauts, Cette rétrospective sur les domaines d'utilisation de la vision industrielle est étayée par une étude économique de telles installations.

Pour répondre à la question 2, une étude de faisabilité a été concluante. En effet, une étude préliminaire exploitant cette solution est proposée. Elle a été initiée par une entreprise « SERPAC industries » spécialisée dans l'installation de système manufacturier. L'idée principale était de réaliser un système de commande avec un seul et unique capteur « le système de vision ». L'avantage d'une telle structure matérielle se situe dans l'exploitation du capteur de vision non seulement pour la commande du processus de fabrication, mais aussi pour la détection et la localisation de défaut. Ainsi après avoir fait un état des lieux sur la vision dans le monde industriel dans le chapitre 1, le chapitre 2 est consacré à cette étude de

faisabilité. Il est illustré par une application de transitique. Ce chapitre présente, à la fois, l'approche matérielle et les développements logiciels associés.

Il est clair que les orientations vers un capteur unique de vision nécessitent une architecture particulière de l'ensemble du système de contrôle/commande. Le chapitre 3 répond à la question 3 en proposant une nouvelle organisation du processus de fabrication. Les informations en provenance des capteurs et du système de vision sont tout d'abord traitées, analysées et ensuite transmises vers les actionneurs. Ce chapitre répond en partie à la question 4 concernant les développements théoriques pour la commande.

Il existe différents travaux sur la détection de défauts basés principalement sur la comparaison de la forme d'une pièce avec une forme préalablement définie. A titre d'exemple, on peut citer les travaux exploitant la comparaison de gabarit prédéfini d'une pièce en se basant sur les distances minimales entre le gabarit et la pièce. Cette technique conduit au développement d'algorithmes efficaces mais limités aux problèmes de défauts de forme.

La réponse à la question 4 qui concerne la partie traitement est développée dans le chapitre 4. Il existe différents algorithmes de traitement d'image. Ce chapitre présente le principe général de la méthodologie adoptée, à savoir les actions qui forment l'architecture logicielle de la partie commande. Cette architecture est formée par les différents algorithmes qui concernent le filtrage, la détection de mouvement et la détection de contour. Il dresse l'état des lieux concernant les algorithmes de traitement en se focalisant sur ceux qui répondent aux problèmes de détection de défauts sans oublier les objectifs de commande. Parmi les exigences des algorithmes proposés la qualité de réactivité des algorithmes (en termes de temps de réponse) est primordiale. De plus, ces algorithmes doivent être capables d'atténuer l'effet du bruit sur l'image à traiter et particulièrement le facteur « luminosité » dû au changement de la lumière ambiante. Pour atteindre ces objectifs, différentes étapes de traitement et d'amélioration sont proposées. Les méthodes adoptées sont appliquées sur des exemples simples.

Le cinquième chapitre détaille l'interface et le codage, ceux sont l'outil de mise en service du système de vision et le codage des résultats pour minimiser le temps de transfert de données.

Avant de clore ce rapport par une conclusion et des perspectives, on procède à une étude comparative des performances des méthodes effectuées, suivie, dans le sixième chapitre, par des applications industrielles. Ce qui répond à la question 5 et démontre la fiabilité du système de commande par vision.

Chapitre I- La vision dans le monde industriel

Ce chapitre présente un tour d'horizon sur l'utilisation des systèmes de vision dans le monde industriel. Nous citons, quelques exemples d'entreprises spécialisées en vision industrielle et proposant des produits bien spécifiques et performants en matière de détection de défaut ou en contrôle qualité, sans prendre en compte la partie commande.

Notre objectif est de trouver une solution au problème complexe de multiplicité de capteurs dans la détection de défauts. Dans ce chapitre, nous définissons le système de vision et les domaines d'application. Nous donnerons des éléments de réponse aux questions suivantes:

- *Est-ce que une installation industrielle peut être pilotée par un système de vision ?*
- *Dans quel cas peut-on remplacer un capteur classique par un capteur de vision ?*

La deuxième partie de ce chapitre, est consacrée à la description des différents capteurs utilisés dans le monde industriel avec les possibilités de remplacement de capteurs classiques par un système de vision. De plus, une étude économique des investissements et du coût des installations est présentée.

1.1 UTILISATION DE LA VISION DANS L'INDUSTRIE

En réponse aux besoins des fabricants, une technologie connue sous le nom de « vision industrielle » a émergé, fournissant aux équipements industriels la possibilité d'exploiter l'image dans la surveillance de leurs installations.

Le principe de fonctionnement de la vision industrielle est simple. Tout d'abord il faut disposer d'une caméra. Celle-ci comporte un capteur constitué d'une multitude de petites cellules sensibles à la lumière. Ces cellules sont généralement disposées sur le capteur de manière à constituer une ligne (caméra linéaire) ou un rectangle (caméra matricielle). Chaque cellule convertit l'énergie lumineuse en un potentiel électrique proportionnel à l'énergie lumineuse reçue. Cette série de potentiels électriques constitue le signal vidéo qui sera codé afin de garantir l'intégralité de l'information entre la caméra (l'émetteur) et l'ordinateur (le récepteur).

Le signal est ensuite envoyé à un ordinateur à travers une carte d'acquisition. C'est la phase de numérisation de l'image. Cette carte effectue une conversion analogique/numérique du signal. Elle échantillonne le signal vidéo et quantifie numériquement chacun des échantillons qui seront ensuite mémorisés dans l'ordinateur.

L'organisation de la mémoire reflète généralement la structure spatiale de la scène d'origine, ce qui permet, par une simple relecture ultérieure de la mémoire, d'afficher sur l'écran d'ordinateur l'image de la scène telle qu'elle a été prise.

Une fois archivée sous forme de chiffres dans l'ordinateur, l'image va être analysée. C'est-à-dire que chacune des cases mémoire représentant un point de l'image va être lue, et ce dans l'objectif de comprendre les constituants de la scène : c'est le traitement d'image.

Lorsque le système de vision a traité et a analysé l'image, le résultat est alors communiqué à un autre équipement tel un contrôleur industriel, un bras robotique, un déflecteur qui enlève la pièce de la ligne, ou telle une table de positionnement qui déplace la pièce.

La vision industrielle envahit de plus en plus les systèmes de production dans le monde industrielle et son usage est limité à des postes locaux de contrôle qualité ou de sécurité. Le temps est venu pour que l'usage de la vision dépasse cette espace d'action. En effet, depuis quelques années, un travail d'expertise a été effectué sur l'exploitation d'un système de vision pour la commande des différentes étapes d'un processus de fabrication.

Un projet exploratoire sur l'utilisation de la vision pour la commande d'un convoyeur, a fait l'objet d'une première étude qui sera détaillée dans la partie étude de faisabilité du deuxième chapitre. Un algorithme de détection de mouvement a été développé. Ce projet était validé par des essais réalisés sur une maquette de triage. Le tri est effectué en fonction de la taille du colis présent sur le convoyeur, et ce, en tenant compte des changements de vitesse du tapis. Malgré les différents problèmes de vision industrielle qui peuvent être liés à la luminosité, aux vibrations ou au positionnement de la caméra, l'efficacité du système proposé a été concluante.

Les résultats convaincants obtenus dans cette phase exploratoire nous ont confortés sur la poursuite des travaux sur le développement d'algorithmes de détection pour différents types de capteurs (présence, niveau, position, colorimétrie...). En outre, cette phase a permis de mettre en évidence les degrés d'innovation de cette étude. En effet, les études d'expertises menées par l'entreprise ont montré que ce type de projet n'a jamais été exploité [ref.31]. Pour

proposer des solutions fiables, une recherche d'une structure matérielle ainsi que logicielle est nécessaire.

L'objectif est, d'une part, de concevoir un système où tous les capteurs classiques dans l'installation industrielle seront remplacés par un capteur unique de vision et, d'autre part, d'analyser la sûreté de fonctionnement d'une telle installation. Pour une installation industrielle où la sûreté est primordiale, un travail sur le degré de redondance est nécessaire. Ainsi, l'emplacement et l'optimisation du nombre de caméras seront étudiés.

L'exploitation du système de vision, dans le cadre de mon travail, se résume en deux points. Le premier point est l'exploitation de l'image dans le positionnement des capteurs virtuels. Le second est l'utilisation de ces capteurs virtuels pour retrouver les informations recherchées par l'application, comme la détection de présence, la détection de mouvement et la reconnaissance de forme. Ainsi les informations peuvent être utilisées pour la commande ou la supervision du processus de fabrication. Les informations sont exploitables par des automates ou des actionneurs.

Avant de donner les grandes orientations de ce travail, nous présentons tout d'abord l'étude préliminaire effectuée dans l'entreprise SERPAC en collaboration avec le laboratoire d'automatique de Grenoble, pour, ensuite, en dégager les développements futurs.

La diversité des capteurs classiques et leurs qualités fait que la maintenance et la défaillance sont toujours plus coûteuses et plus compliquées. La vérification des dizaines voir des centaines de mètres de câble fait qu'à chaque fois le dépannage coûtera plus de temps et donc plus de frais. La complexité des installations industrielles et la mise en place d'un grand nombre de capteurs classiques pour un seul processus industriel ont conduit à la recherche de l'exploitation des possibilités que peut apporter un capteur unique de vision pour la commande de ce processus.

-Les sources d'information dans les installations industrielles sont dominées par deux types de capteurs, les capteurs classiques et les systèmes de vision. Ce projet présente deux axes d'intérêt dominants, la vision industrielle et son évolution, et les capteurs classiques utilisés dans le monde industriel. Une étude de marché sur les systèmes de vision industrielle les plus utilisés était faite par une société privée (Tech Innove) à la demande de SERPAC industries [ref. 31]. D'autres informations ont été recueillies de cette étude concerne les investissements et les chiffres mondiales des systèmes de vision.

De nombreuses entreprises spécialisées en vision industrielle définissent des gammes de produits bien spécifiques, ne concernant que la partie détection de défaut ou contrôle qualité comme par exemple la société Cognex (fig 1) ou Imasys. Cognex qui est un leader mondial de la vision industrielle n'adapte pas les produits de vision à la partie commande, il se contente juste de l'adapter à la complémentarité de la partie opérative.

Des systèmes de vision ont été élaborés pour se communiquer, et ce dans le but d'assurer une synchronisation ou une amélioration des résultats, et non pas dans le but de réaliser une partie commande totalement autonome.

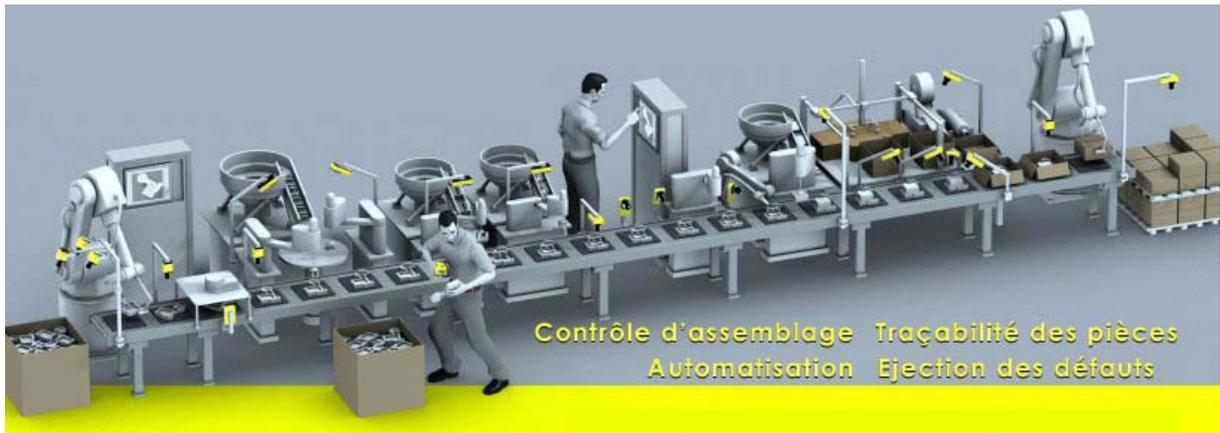


Figure.1 : Différentes possibilités d'usage des systèmes de vision Cognex

Dans le cadre de l'état de l'art, une étude sur les capteurs classiques les plus utilisés dans les applications industrielles est jugée nécessaire, bien sur en détaillant les différents types d'application où les capteurs sont utilisés.

Nous avons réalisé cette étude au sein du laboratoire d'automatique de Grenoble. Elle nous a permis de démontrer la possibilité du remplacement des capteurs classiques par un seul système de vision. Le fait de réaliser un système de commande avec un minimum de capteurs classiques permet en fait, d'avoir un gain assez important du temps d'installation du système de commande et une facilité de la maintenance en cas de problème. Avec un système de vision pour la commande, nous avons un seul système à installer et à contrôler en cas de panne, ce qui conduit à la minimisation du coût de l'installation et à l'amélioration de sa fiabilité.

1.1.1 Les différents domaines d'application

A la demande de la société de SERPAC industries, une étude de marché de la vision industrielle et son intégration dans les processus de fabrication a été faite par la société 'Tech Innove' [ref.31]. Le résultat était clair, les industries de fabrication s'orientent vivement vers les installations automatisées et robotisées et intègrent fréquemment, des systèmes de vision pour les cellules robotiques ou pour la surveillance et le contrôle de l'état de fabrication du produit.

Voici l'ensemble des constatations retenues suite à cette étude et à la recherche bibliographique effectuée au cours de mon travail de thèse. Cette liste concerne les domaines d'application les plus fréquents des systèmes de vision dans le monde industriel ou d'autre domaine. Les quatre grandes catégories d'application identifiées sont:

- Transfert : utilisation de la vision dans la localisation des pièces, robotique ou guidage robot.
- Détection : Défaut de fabrication, composant électronique de haute cadence, mécanique de haute précision
- Orientation : guidage des pièces, tri, usinage...
- Surveillance et sécurité : pour le bon fonctionnement global des applications industriel.

I.1.1.1 La vision pour la robotique ou guidage de robot :

L'usage de la vision industrielle est fortement lié à l'avènement de la robotique dans les systèmes de fabrication automatisés (figure 2).

La vision industrielle est une solution irremplaçable pour les cellules robotisées. Elle est utilisée pour aider le robot à localiser et identifier des pièces dans le but de les récupérer puis de les transférer à une autre chaîne de fabrication, ou pour le tri en fin de chaîne de montage ou de fabrication.

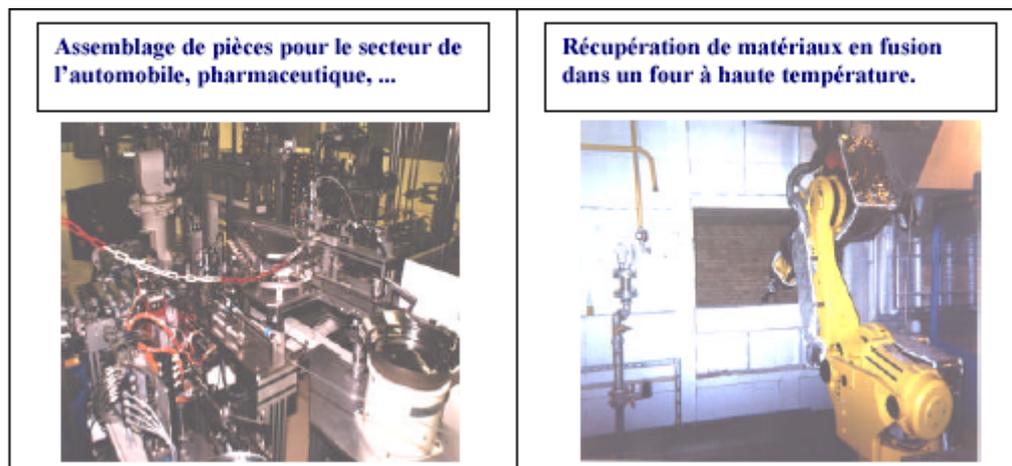


Figure.2 : Différents processus de fabrication où la vision est utilisée pour la robotique (SERPAC)

La figure 2 montre différentes installations comportant des systèmes robotisés. La première installation utilise la vision pour le collage de joints et la deuxième l'utilise pour retirer les pièces d'un four à très haute température. Ces deux installations sont des applications dépendantes de la vision industrielle surtout dans la deuxième application où la vision aide le robot à localiser les pièces sortant du four.

I.1.1.2 La vision pour la détection de défaut

La détection de défaut est une tâche propre à la vision industrielle à laquelle aucun capteur classique ne peut égaler, pour sa rapidité de détection et de couverture de défaut. En effet la vision permet, dans certains cas, d'augmenter la cadence de production (centaines de fois plus rapide qu'un homme) et surtout de diminuer les coûts de fabrication, et ce en éliminant les pièces défectueuses avant la fin de la chaîne de production. Le concept de la vision permet de diminuer les pièces en rebut et la perte de temps sur le complément d'usinage d'une pièce défectueuse. La figure 3 représente un exemple de l'identification de défaut sur une application concernant la détection des trous dans une pièce usinée et la taille de ces trous.

Suivant la taille des trous, la pièce sera jugée comme bonne ou mauvaise. En plus la tâche supervision peut, en cas de défaut répété, interrompre la production pour éviter les pertes et pour calibrer le processus d'usinage.

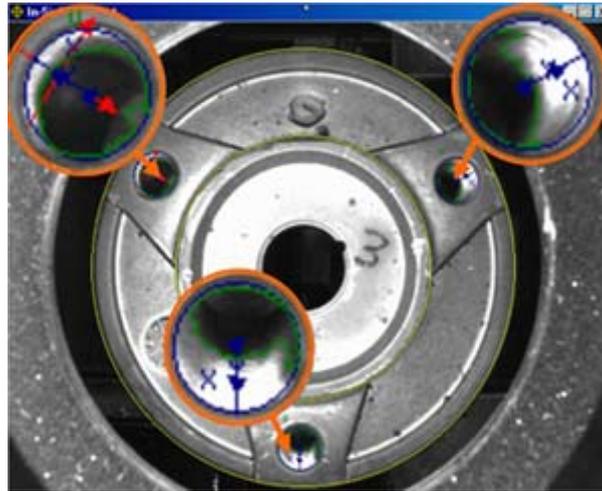


Figure.3 : Détection et localisation de défauts

I.1.1.3 La vision pour le guidage d'automobile ou la sécurité des piétons.

Des caméras industrielles sont utilisées dans le guidage des automobiles. Les applications commencent à devenir nombreuses, par exemple rendre le système de conduite de voiture autonome, éliminer l'effet de l'éblouissement des conducteurs en proposant une image filtrée de la route. La vision est utilisée aussi pour arrêter la voiture en cas de présence d'un piéton dans la route, pour la surveillance de la trajectoire qui doit être signalée au conducteur en cas d'écart significatif de la route (provoqué accidentellement par le conducteur un peu endormi). Elle est aussi utilisée dans des applications nocturnes pour détecter les sources de chaleur avec un système de vision infrarouge permettant d'augmenter la visibilité des voitures ou des piétons. Également, elle permet d'assurer une autonomie de conduite complète, et pour ce faire, il suffit de définir l'adresse de destination et à l'aide du guidage satellite, la voiture pourra emmener les passagers en toute sécurité. (Figure 4) [Ref. 6, 15, 23]

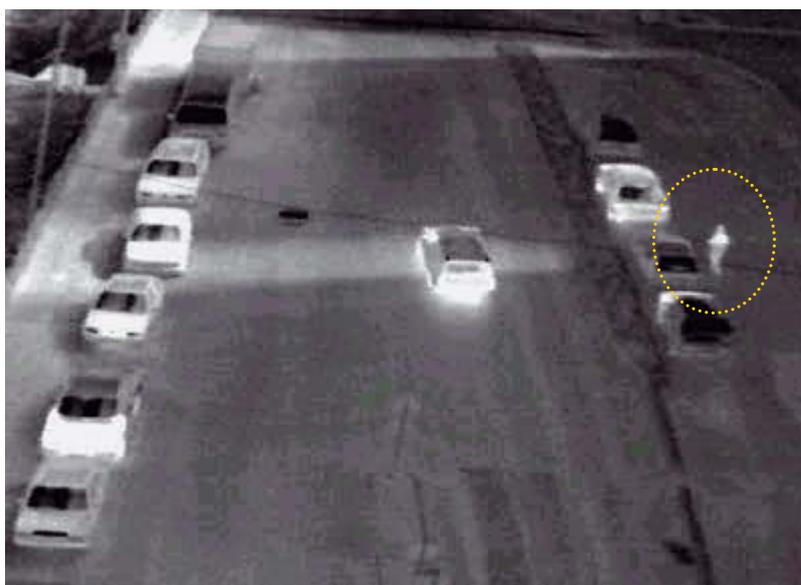


Figure.4 : Image de caméra infrarouge identifiant un piéton à droite de l'image (FLIR System).

I.1.1.4 La vision pour la surveillance et sécurité

Des caméras industrielles sont très utilisées dans la surveillance et la sécurité. Elles remplacent la présence humaine dans un milieu nocif ou dangereux. Les domaines d'application sont variés. Les caméras industrielles sont utilisées aussi pour la surveillance des chaînes de fabrication et pour la surveillance des locaux. Les algorithmes sont basés généralement sur la détection de mouvement. D'autres applications concernent la surveillance des personnes âgées dans leurs domiciles. Il s'agit là de signaler un accident (chutes, immobilisation, ...) ou encore pour la détection de fumée et l'enclenchement des alarmes. Une autre application aussi intéressante est la détection de personne immobile au fond d'une piscine permettant d'accélérer l'intervention et donc, d'augmenter les chances de sauver la personne en question. Les caméras Ethernet sont les plus prisées pour ce type d'application parce qu'elles permettent une installation rapide, à une grande distance et une vitesse d'acquisition très importante. (figure 5)



Figure.5 : Camera de surveillance sur réseau internet sans PC (JR international)

D'autres applications existent comme la surveillance des enfants endormis ou encore avec des caméras infra rouge, l'indication de la température des enfants sans les toucher, la réalisation d'analyses de répartition de chaleur dans une voiture à air conditionné ou même le contrôle des installations électriques. Dans ce dernier cas, les caméras infra rouge détectent la pièce défectueuse par l'excédant de chaleur qu'elle dégage. (Voir figure 6,7 et 8).

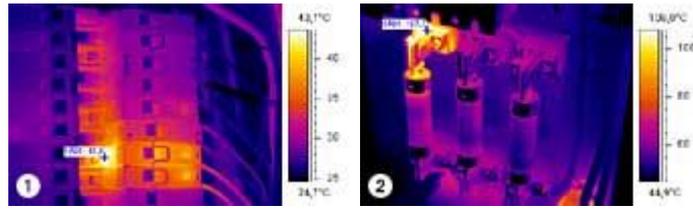


Figure.6 : Echauffement sur un disjoncteur (1) et Echauffement d'un fusible dû à une surintensité (2)



Figure.7 : Défaut de serrage sur la phase d'un sélectionneur (3), Défaut de serrage sur un isolateur (4) et Défaut de serrage sur une connexion (5)

Dans les deux premières figures, présentées ci-dessus, les images représentent des captures d'image thermographique, dite aussi image infrarouge des équipements électriques en cas de défaut de connexion, ou de serrage, ou même de défaut de pièce électrique comme sur un disjoncteur.



Figure.8 : Palier droit en surchauffe dû à un manque de graisse (1), Problème d'équilibrage sur un ventilateur (2), Echauffement d'un moteur (3)

L'imagerie thermographique est encore utilisée dans des applications mécaniques (voir figure 8). En effet, dans les installations mécaniques, le frottement et le manque de graissage sur des points de contacts produisent beaucoup de chaleur. Cette chaleur est facilement identifiable avec des caméras infrarouges, et les zones surchauffées sont facilement localisables.

Dans le bâtiment, la vision est utilisée pour le contrôle de la déperdition de chaleur d'un immeuble ou même le contrôle des vannes d'air ou de produit chaud en cas de défaut d'étanchéité.

Conclusion

Les applications de la vision dans le monde industriel sont nombreuses et généralement orientés vers des applications à la fois de commande et de détection dans le milieu de la production. En effet, l'évolution technologique de ces capteurs de traitement d'image associés à des algorithmes de traitement d'image de plus en plus complexe, permet de faciliter l'accès de la vision vers des installations de plus en plus variés, surtout dans les domaines des systèmes de production et ce notamment dans les opérations de transfert usages spécifique à la robotique.

1.2 CAPTEURS CLASSIQUES ET SYSTEME DE VISION

Dans ce paragraphe, nous faisons un tour d'horizon des équipements et installations classiques et nous présentons une étude de différents capteurs utilisés dans l'industrie. Nous présentons une classification de ces capteurs, tout en tenant compte de certaines caractéristiques comme le type de signal délivré, leurs capacités à détecter les défauts ainsi que leurs fiabilités. Deux grandes catégories de capteurs sont identifiées en fonction de leur capacité à être remplacé par un seul système de vision. En effet, dans les systèmes de production, certains capteurs classiques restent incontournables pour les processus de fabrication.

Les installations industrielles utilisent des majoritairement des capteurs classiques dans la partie commande, il en résulte que les coûts et le temps d'installation soient imposés par la dimension et la qualité de ces capteurs.

Une installation de base nécessite plusieurs équipements matériels et des logiciels de programmation dédiés :

Au niveau matériel :

- ✓ Automate
- ✓ Capteurs
- ✓ Actionneur
- ✓ Câbles de communications et fils électriques
- ✓ Des cartes électroniques pour la numérisation des mesures analogiques (courant ou tension)

Au niveau logiciel :

- ✓ Programmation automate ou logique d'exécution

Les différentes parties matérielles et logicielles sont classées en partie opérative et en partie commande. Les installations industrielles utilisent des capteurs classiques qui sont de taille et de complexité variables. Voici quelques exemples d'installations industrielles utilisant des capteurs classiques :

- ✓ Industrie métallurgique : tri de pièce, contrôle de défaut, contrôle de température....etc. fig 9

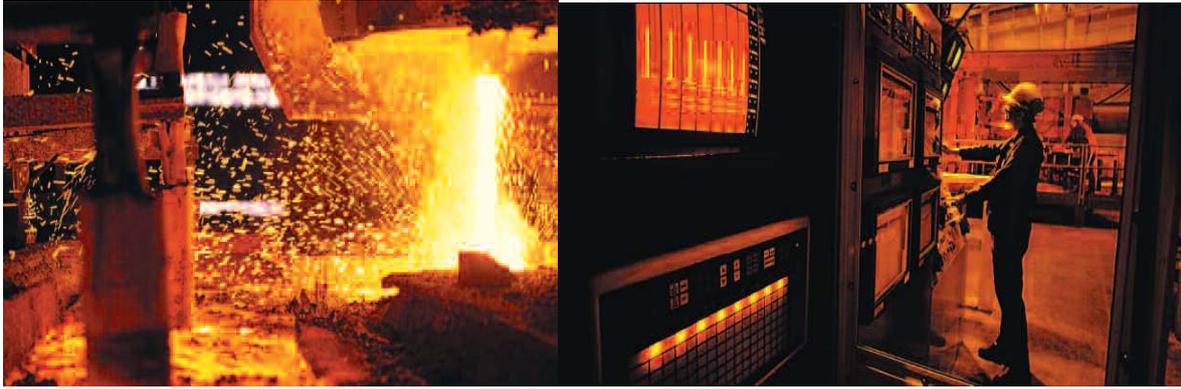


Figure.9 : Contrôle de température en industrie métallurgique

- ✓ Industrie textile : contrôle de continuité des fils, contrôle de qualité...etc. La figure 10 représente un large vu des machines utilisées dans l'industrie textile. Le contrôle de qualité de ces machines se fait avec des capteurs classiques, capteur capacitif ou autre pour la détection de défaut ou de l'épaisseur du tissu.



Figure.10 : chaîne de production en industrie de textile

- ✓ Industrie légère et installations diverses : contrôle de poids, contrôle de température, usinage des pièces...etc.
- ✓ Toute industrie : différentes industries ont recours à la vision industrielle pour assurer la sécurité dans certains sites, ou pour le contrôle d'intrusion des personnes dans des zones interdites.

1.2.1 Différents types de capteurs classiques

Cette partie montre les différents types de capteurs classiques ou peu évolués qui sont utilisés dans le secteur industriel. Ces capteurs sont dit classiques pour leur qualité technologique assez basique ou primaire.

Nous pouvons dégager deux grandes catégories de capteurs dans le monde industriel, spécialement utilisés dans les installations de fabrications :

- Les capteurs de mesures physiques
- Les capteurs de localisation et de déplacement.

Ces deux grandes parties ou catégories sont différenciés en fonction du type d'information délivré par les capteurs.

1.2.1.1 Capteurs de mesures physiques

Les capteurs de mesures sont subdivisés en deux parties, les capteurs de force et les capteurs de température. Ces capteurs dépendent directement de l'application. On trouve des capteurs à réponse rapide et d'autres à réponse lente. Les différentes applications concernant les capteurs de mesures sont celles de fabrication de matériel ayant une sensibilité à la température, à une dynamique lente généralement.

Toutes les mesures sont calibrées par des signaux électriques (tension ou courant)

Capteurs de force :

- ✓ Capteurs piézoélectriques (poids ou pression) : capteur livrant la pression exercée sur le capteur. Les domaines d'application sont multiple : pour la régulation de position, l'obtention d'un poids précis, ou la mesure de pression.
- ✓ Capteurs de pression : la valeur émise par ce type de capteur est équivalente à la pression. Généralement, ce type de capteur est utilisé dans le domaine de mesure physique pour la météorologie, ou la mesure de pression d'un liquide dans un bac.
- ✓ Contraintes et déformations : capteur de contraintes exercées sur des matériaux comme les métaux dans un pont, ou de déformation d'une pièce présentant une anomalie de construction.
- ✓ Jauges de contrainte : utilisé pour des spécifications précises comme les capteurs des contraintes et des déformations, pour des contraintes de cisaillement ou autre.
- ✓ Jauges métalliques : même application de jauges de contraintes.
- ✓ Jauge à semi-conducteurs
- ✓ Accéléromètres : capteurs d'accélération, utilisé dans des applications plus ou moins complexes, pour la régulation de vitesse des turbines ou autre.
- ✓ Manomètres capteur spécifique de pression, même domaine d'application que le capteur de pression avec plus ou moins de contraintes.

Capteur de température :

- ✓ Thermistor : capteur de température ou seuil de température, utilisé pour le déclenchement des alarmes ou la mise en marche d'un système.
- ✓ Détecteur à résistance : la résistance dépend de la température ; celle-ci, en cas de changement, entraîne une variation du signal électrique aux bornes de la résistance. Application pour des mesures de température dans une zone à variation de température lente.

- ✓ Thermocouple : ce capteur fournit une valeur équivalente à la différence de température sur ses deux brins.

I.2.1.2 Capteurs de position et de déplacement

Les capteurs de position et de déplacement sont aussi divisés en deux grandes parties, à savoir les capteurs analogiques et les capteurs numériques [ref. 9, 17, 24]. Les capteurs de déplacement sont surtout des capteurs de vitesses et d'accélération. La différence entre ces deux catégories est simplement le type d'information fournit.

Les capteurs analogiques

- ✓ Potentiométrique : capteur à valeur dépendante de la valeur de la résistance équivalente.
- ✓ Capacitif : capteur à capacité variable ; la position est retrouvée en fonction de la tension aux bornes de la capacité.
- ✓ Inductif : ce capteur calcule la position en fonction du courant inductif de la spire formant le capteur.
- ✓ Capteur de niveau : ce type de capteur est utilisé pour des applications de surveillance du niveau des réservoirs, et fait appel à de différentes technologies comme par exemple les capteurs différentiels pour calculer le niveau d'eau dans un bac.

Les capteurs numériques

- ✓ Position (2D ou 3D) : des anciens capteurs installés sur les panneaux tactiles à matrice résistif permettent de retrouver la position en deux dimensions.
- ✓ Déplacement (vitesse & accélération) : ce capteur peut être dépendant d'un capteur de position. La mesure de la vitesse est obtenue par un simple calcul différentiel et ce en fonction de la variation de la position dans le temps.
- ✓ Position directement encodée sous forme numérique
- ✓ Capteur mécanique
- ✓ Capteur Optique (photo LED, photo résistance, laser,...etc.) comme les capteurs utilisé par les policiers. La vitesse est évaluée par le temps de retour de deux faisceaux laser.

I.2.1.3 Classification suivant l'information

La qualité de l'information, fournie par chaque type de capteur, est présentée dans le tableau 1. Les différents capteurs sont étudiés pour être classés en fonction de leur potentialité à être remplacé ou non par le système de vision. L'inspection de la qualité de l'information fournie par chaque type de capteur, effectuée dans le tableau 1, permet de valider la possibilité de les remplacer par un système de vision. La majorité des capteurs dépendants de la mécanique ou sensibles aux conditions de travail, tels que la poussière, température et vibration sont une source de défaillance. Rappelons que les systèmes de vision sont moins défaillants du fait qu'ils peuvent remplacer une multitude de capteurs et que leurs installations permettent d'avoir un gain au niveau du coût (matériels et temps de mise en œuvre) et une meilleure gestion du temps de la maintenance en cas de défaillance et sans cité le pouvoir de modification de l'installation sans intervention matérielle mais purement logicielle.

Catégories	Type de capteurs	Type de signal délivré	Fiabilité, cause de défaillance
Capteur de mesure de force :	Piézoélectriques	Signal électrique	Capteur piézoélectrique très fiable, mais contrainte de dépendance de la fréquence Les capteurs de pression* sont très fiables, avec une légère dépendance de la distance de câblage, très sensibles aux variations de haute fréquence.
	Pression	Contrainte de déformation du diaphragme, ou d'électricité.	
	Contraintes et déformations	Déformation au niveau des Jauges, transfert en signaux électrique par un montage Potentiométrique ou autre	
	Jauges de contrainte		
	Jauges métalliques		
	Jauge à semi-conducteurs		
Accéléromètres	via un ordinateur.		
Manomètres	Pression sur membrane		
Capteur de mesure de température :	Thermistor	Signal électrique	Très fiable et longue durée de vie, manque de précision en fonction de l'immersion et la densité (fluide ou gaz)*
	détecteur à résistance	Variation de la valeur de la résistance, tension	
	Thermocouple	Déformation physique	
Capteurs de position analogiques :	Potentiométrique	Variation de tension	
	Capacitif		
	Inductif		
	De niveau		
Capteurs de position numériques :	Position (2D ou 3D)	Valeur bien paramétrée, en numérique, via des bus de communication	Ex : capteur de vitesse de rotation*, fiables et bonne durée de vie, pas de contrainte mécanique mais dépendance de la température, de la distance de la roue dentée et de la longueur du câblage.
	Déplacement (vitesse et accélération)	Valeur binaire	
	Position directement encodée sous forme numérique	Mot binaire représentant la position	
	Capteur de présence mécanique	Bit de présence	
	Capteur de présence ou de position, Optique (photo LED, photo résistance, laser, phototransistor,.....etc.).	Donnée binaire, par signal électrique.	

Tableau N°1. : Présentation des caractéristiques* de l'information donnée par chaque capteur

(* Information des cahiers techniques des capteurs de différents fournisseurs internationaux, Thermowell pour la température, Rosemount ou Boll & Kir pour la pression, Jaquet pour la vitesse de rotation...etc.

Pour plus d'assurance de productivité les systèmes de vision peuvent être d'un haut niveau de fiabilité, SIL3 (Safety Integrity Levels).

En effet, la plupart des capteurs remplaçables par un système de vision, sont les capteurs logiques de présence (mécanique ou photo électrique, voir tableau N°1). Ils sont majoritairement destinés à la localisation, à la détection de présence ou à l'identification de la position d'une pièce, d'un produit solide ou même liquide, sauf bien sûr certains capteurs de mesure physique.

Concernant les capteurs de mesures, nous aurons du mal à les remplacer par le capteur de vision car ils servent à quantifier des valeurs physiques bien précises, non identifiables par la vision. Toutefois, quelques uns de ces capteurs peuvent être remplaçables mais certainement avec une instrumentation supplémentaire.

Quant aux capteurs du deuxième groupe, les capteurs de position et déplacement, ils sont remplaçables par un capteur de vision. En effet, le capteur de vision, grâce à ses algorithmes de présence, de reconnaissance de forme et de localisation, nous permet de remplacer, aisément, une majorité de ces capteurs classiques.

I.2.1.4 Capteurs classiques, défaut et fiabilité

Les capteurs classiques sont responsables de 80% des défaillances de la chaîne de commande dans un système de production. En effet, les capteurs classiques représentent un facteur important de dysfonctionnement d'une chaîne de production ou d'un processus de fabrication, ceci est dû à leur sensibilité au sollicitation mécanique et leur câblage. Cependant, Ils ont des avantages évidents par exemple au niveau de la précision de la mesure, la réactivité, le temps de réponse et la durée de vie. Ils couvrent une gamme assez large de la demande du monde industriel.

✓ Sensibilité

Les capteurs classiques représentent une source défaillance importante des systèmes de commande. En fait, l'information récupérée par un capteur classique dépend de l'environnement de ce dernier. Par exemple, dans le cas des capteurs de présence, la perturbation peut provenir d'une simple cumulation de poussière sur le miroir de réflexion ou aussi des vibrations qui peuvent changer son orientation. Le passage même d'une mouche ou d'autre chose devant le capteur peut être assimilé à un signal de défaut.

A cela, nous ajoutons la complexité de la localisation de la panne liée à la recherche de l'origine d'une défaillance.

✓ Câblage

Concernant le câblage, les capteurs classiques nécessitent l'installation de câbles qui peuvent être d'une longueur importante. Notons que la présence des câblages augmente le risque de défaillance du système de production. En fait, un fil mal branché ou mal vissé, ou un branchement coupé sont des causes de défaillance difficiles à localiser.

D'autre part, le câblage dans une chaîne de production le temps d'installation et aussi le temps de dépannage du système en cas de défaillance. N'oublions pas que le câblage peut influencer la qualité de l'information, en effet la distance entre le capteur (source) et la carte

d'automate (réception) représente une résistance qui fait varier le signal électrique, donc la qualité de l'information.

1.2.2 Système de vision

Les systèmes de vision sont des outils industriels utilisés souvent pour des raisons autres que celles pour lesquelles nous choisissons l'usage de ce matériel. En fait, les qualités reconnues des systèmes de vision sont leur vitesse d'obturation, leur autonomie et leur réactivité. Leur domaine d'application est strictement lié à la localisation de défaut sur des pièces usinées, c'est-à-dire sur des postes locaux. Ils ne sont jamais utilisés comme une source unique d'information pour le système de commande.

Les algorithmes de traitement d'image sont très coûteux en temps d'application. Il est indispensable de bien choisir le système de vision en respectant notamment la réactivité citée dans le cahier de charge, ce qui constitue la faiblesse du système de vision, sans oublier la sensibilité de la vision à la luminosité. Il faut noter cependant que les systèmes de vision sont de plus en plus rapides (acquisition en 1ms) [ref. 39].

1.2.2.1 Différents types de système de vision

Les capteurs de vision sont divisés en deux catégories les CCD et les CMOS. Chacune de ces catégories de capteurs a ses spécificités et un cahier des charges bien précis. (Figure 11)

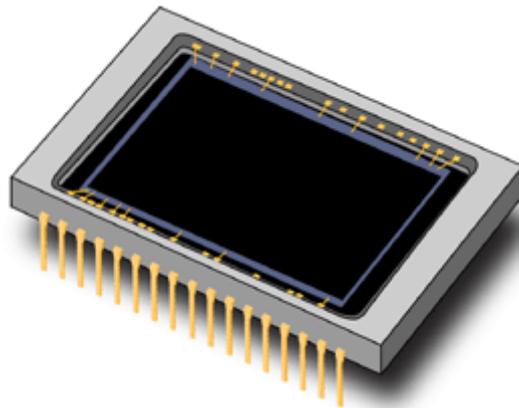


Figure.11 : Forme d'un capteur CCD ou CMOS

La technologie CMOS est présente dans beaucoup de composants électroniques (mémoires d'ordinateur par exemple), les capacités de fabrication sont donc plus importantes et sont donc moins chères que les autres technologies de vision.

Ce type de capteur est également moins gourmand en énergie mais il demande plus d'amplification. De plus, il a tendance à générer plus de bruit. Il faut noter également que le capteur CCD est plus rapide que le capteur CMOS.

Les capteurs de vision se différencient par leur taille et le nombre de pixels, leur vitesse d'obturation (de l'ordre de la μ s à la ms), les algorithmes de prétraitement (linéarisation) et leur vitesse d'acquisition.

I.2.2.2 Qualité de l'information

La seule information provenant du système de vision est l'image. L'image est une source riche d'information utilisable potentiellement pour la détection de mouvement, la reconnaissance de la forme, la localisation du contour, l'identification de la couleur et la localisation de défauts.

Dans les systèmes de traitement visuel classiques, l'image est utilisée comme un seul bloc de donnée ou divisée en plusieurs parties nommées zones d'intérêt. (voir figure 12), Généralement les systèmes de visions classiques sont utilisés pour la détection de défauts et le contrôle de la qualité des produits de grande production. Par exemple, la vision est utilisée pour la vérification des soudures sur une carte électronique ou même l'affichage des dates de validité et de paramétrage sur les boîtiers des produits pharmaceutiques.

Dans le cadre de cette thèse, l'image est divisée en plusieurs zones d'intérêts (ZOI) appelés aussi des capteurs virtuels. Ces capteurs virtuels correspondent à une matrice de pixel qui représente la partie du processus de fabrication correspondant à l'emplacement d'un capteur classique. Ainsi, à partir d'une seule image, plusieurs capteurs virtuels peuvent être exploités comme le montre la figure 12.

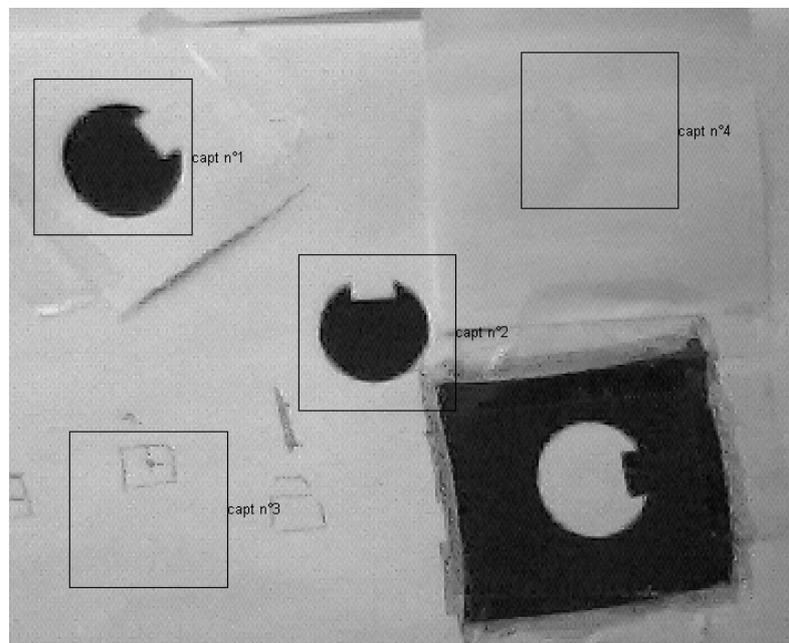


Figure.12 : Carrés représentant les zones d'intérêt ou capteurs virtuels dans l'image

A chaque zone d'intérêt, sont associés un ou plusieurs algorithmes de traitement. Cette sélection a pour but de remplacer le capteur classique prévu à chaque emplacement et par ailleurs, de fournir l'information convenable à la partie commande.

I.2.2.3 Défaut et fiabilité de la vision

Les notions de performance et de sûreté de fonctionnement sont les mots clés des systèmes de vision qui deviennent complexes et renferment de nouvelles technologies électroniques.

Les défauts que présentent les systèmes de vision ne sont pas tellement fréquents. Ils sont limités à quelques pannes. Ils ne remettent pas en cause le système de traitement mais sont surtout liées à l'environnement d'utilisation (luminosité, passage de personnel, éblouissement,...). En cas d'un problème, d'une défaillance d'acquisition ou d'un manque d'information, sur un petit laps de temps, le logiciel d'acquisition d'image en temps réel,

permet la linéarisation des données pour remplacer les données d'images manquantes. [ref. 20]

A la différence des capteurs classiques, les systèmes de visions sont fiables et n'ont pas besoin de beaucoup d'entretien. De plus, le temps de remplacement est quasi nul en cas de panne ou de casse. Les causes d'interruption d'acquisition rarement constatées, peuvent être : une coupure d'alimentation, une coupure de connexion, ou un défaut du logiciel d'acquisition d'image. Normalement ces causes paraissent très rares dans un domaine industriel et dans ce cas ce n'est pas que le système de vision qui sera en défaillance. En effet, la sûreté des installations industrielles permet une efficacité importante contre les coupures du courant. Concernant la fiabilité de la connexion tout dépend de la fiabilité du réseau Ethernet de l'installation industriel qui est généralement correcte, c'est vrai que nous revenons sur le fait que c'est du câblage mais reste à savoir que ce câblage est fiable même pour une grande distance. Par ailleurs, les systèmes de vision avec une technologie embarquée sont fiables à toute épreuve, leur résistance aux chocs, à la vibration, la température et la surtension de la carcasse. [ref. 37, 38]

L'amélioration de la fiabilité peut être résolue par la redondance. En effet, la possibilité d'exploitation d'une autre caméra permettra par la redondance d'information de comparer les images acquises à tout instant et donc d'augmenter la fiabilité du système de commande.

1.2.3 Remplacement des capteurs classiques par un système de vision

Nous classons les capteurs classiques en fonction de la possibilité de les remplacer par un capteur de vision, ce qui donne lieu aux trois classes suivantes :

- Les capteurs classiques remplaçables,
- Les capteurs classiques remplaçables avec une adaptation
- Les capteurs classiques non remplaçables

Dans la suite, une étude est effectuée sur les différentes possibilités d'exploitation de l'imagerie industrielle. Le profit et l'intérêt de ce type de développement, cité dans le paragraphe I.3, justifie le choix d'un système de vision. En plus, le système de vision peut facilement remplacer plusieurs capteurs classiques mais en même temps d'être plus sûr. [ref. 41]

Le remplacement des capteurs classiques s'effectue en deux étapes principales, la première c'est le remplacement de chaque capteur classique par une zone d'intérêt (capteur virtuel) ou autrement dit par une partie de l'image et la deuxième c'est le choix de l'algorithme de traitement d'image adéquat pour remplacer le capteur classique.

Pour remplacer les installations effectuées avec des capteurs classiques par d'autres dotées d'un système commandé par vision ou de capteurs virtuels, il y aura plusieurs étapes à prendre en compte :

a. La position du système de vision :

La première étape dans le remplacement des capteurs classiques concerne le positionnement de la caméra. Ce choix dépend directement de :

a.1 La luminosité ambiante qui est un facteur perturbateur des systèmes de vision

a.2 La couverture visuelle de tous les capteurs classiques à remplacer

b. Le nombre de zones d'intérêt ou capteurs virtuels :

Normalement, le nombre des capteurs virtuels correspond au nombre de capteurs classiques à remplacer. En cas de difficulté pour remplacer le capteur classique, un recours à un capteur virtuel supplémentaire est possible, dans tout les cas cette possibilité n'augmentera pas le coût de l'installation.

c. La taille des zones d'intérêt ou résolution :

La taille des capteurs virtuels ou leur résolution est dépendante de la qualité de l'information que le capteur doit fournir (un capteur de présence ou détection de mouvement ou reconnaissance de forme). D'autre part, la zone d'intérêt dépend aussi de la taille de la pièce à contrôler.

d. La position des capteurs virtuels :

La position des capteurs virtuels est directement liée à la position du capteur classique remplacé.

1.3 IMPACT ECONOMIQUE DE LA VISION INDUSTRIELLE

Pour démontrer l'intérêt de la vision industrielle dans le monde industriel, nous avons mené une étude économique avant la thèse. L'importance de cette étude consiste à retrouver les investissements dans le monde et en Europe des systèmes de vision et le type d'application des différents systèmes utilisés.

Les usages de ces technologies sont nombreux. Dans le contrôle de procédé, l'analyse d'image en ligne de production a essentiellement deux types d'applications :

- ✓ le contrôle de la qualité de la production ;
- ✓ le contrôle des équipements de production eux-mêmes.

Des exemples de caractéristiques, donnant une idée sur la majorité de secteur d'application, qu'il est possible de contrôler sont indiqués ci-après :

- ✓ la couleur (production manufacturière, agroalimentaire ...) ;
- ✓ la texture (emballage, cosmétique ...) ;
- ✓ la forme, les dimensions (toutes industries manufacturières, décodage d'ADN ...) ;
- ✓ la température (surveillance des points chauds sur un four ...) ;
- ✓ le comptage d'objets ;
- ✓ la détection de défauts (déformations, teinte, corrosion ...) ;

- ✓ la granularité (analyse de poudres, de grains, de farines ...).

Le potentiel de diffusion de la technologie est important. Si ces technologies sont déjà couramment utilisées par les industriels, les PME-PMI, dans leur grande majorité, n'en tirent pas encore partie. Le potentiel du marché se trouve donc dans une diffusion plus large de ces technologies vers de nouveaux acteurs, éventuellement à travers de nouvelles applications.

La croissance attendue du marché des systèmes compacts de vision (ne faisant pas intervenir un traitement par un PC externe) est de l'ordre de 10 % jusqu'en 2011, date à laquelle le marché des systèmes compacts atteindra 1 Md\$. (Ref. 36)

Le marché global de la vision industrielle représentait en 2002 5,3 Md\$ dans le monde, dont 1,3 Md\$ pour le marché européen. Le marché le plus important est le marché japonais. Il apparaît que les secteurs d'applications les plus porteurs du marché des systèmes compacts sont les secteurs agroalimentaires, pharmaceutiques et ceux de l'emballage.

En divisant les systèmes de vision en deux catégories, la première catégorie comprend les Merchant Machine Vision, aussi appelées *Application Specific Machine Vision* (ASMV), c'est-à-dire les systèmes clef en main à destination des industries du bois, de l'électronique, de la pharmacie,... La seconde comprend les *General Purpose Machine Vision* (GPMV), c'est-à-dire les systèmes pouvant être configurés ou adaptés pour différentes applications

Les chiffres suivants donnent une idée de la distribution géographique du marché des systèmes de vision industrielle, en valeur et en nombre d'unités.

❖ La vision industrielle dans le monde

Région	Revenus (10 ⁶ USD)	Unités	Revenus (%)	Unités
Amérique du Nord	1.750	41.685	30,4%	60,9%
Europe	1.338	35.981	23,2%	26,7%
Japon	1.824	44.545	31,7%	33,0%
Reste du monde	845	12.630	14,7%	9,4%
Total	5.757	134.841	100%	100%

Tableau N°2. Automated Imaging Association : année 2001

En 2001, le marché mondial a connu une contraction ou une diminution de 6,8% en nombre d'unités et de 9,4% en revenus. Le marché européen a connu la même contraction, de 11,3% en nombre d'unités et 26,1% en revenus ! Une partie du déclin important de l'Europe est justifiée par la chute de l'Euro face au dollar dans l'année 2000(-8,5% en un an).

Exemples d'acteurs dans le monde :

- ✓ Cognex Corp (États-Unis), Dalsa Coreco (Canada), Matrox Imaging (Canada), MVTec Software (Allemagne), National Instruments (États-Unis), Stemmer Imaging (Allemagne), Viscom AG (Allemagne) ...

❖ La vision industrielle en Europe

Le tableau ci-dessous donne une idée de l'importance des trois plus gros marchés de la vision en Europe, à savoir l'Allemagne, la France et le Royaume-Uni.

Pays	Merchant Machine Vision		General Purpose Machine Vision	
	Unités	Revenus (10 ⁶ USD)	Unités	Revenus (10 ⁶ USD)
Allemagne	7.330	304,1	6.696	67,1
	37%	36,3%	48,3%	31,4%
Royaume-Uni	2.358	175,9	790	20,3
	11,9%	21%	5,7%	9,5%
France	2.516	156,7	1.608	48,5
	12,7%	18,7%	11,6%	22,7%

Tableau N°3. European Vision Sourcebook, 1999

Les principaux acteurs français dans le secteur de vision industrielle :

- ✓ BFI Optilas, Cognex France, I2S Vision, Kinoptik, Lord Ingénierie, Satimage, Tekcim, ...

Les différents chiffres d'affaire montrent qu'une grande partie d'industriels investissent et veulent investir, dans la vision industrielle dans des cadres spécifiques ou génériques des applications. En effet les investissements concernant des applications spécifiques sont plus nombreux que ceux qui concernent les applications génériques. (Ref. 38)

1.4 MATERIEL DE VISION UTILISE

Le but de l'étude de la faisabilité se définit par l'élaboration d'un prototype. Les choix concernant les aspects matériel et logiciel doivent tenir compte des contraintes et des conditions de production.

Dans le cadre de mon travail, concernant la mise en œuvre du prototype, le choix de la caméra est porté sur un matériel simple mais suffisant, donc un équipement, pas cher mais satisfaisant pour valider la faisabilité du prototype. Pour cela, le choix s'est porté sur l'utilisation de la caméra 'Imasys' pour les tests dans l'entreprise SERPAC et la « Webcam USB » pour les essais en laboratoire.

La complexité du choix du système de vision provient de nombreuses conditions dans le cahier de charge mais surtout de la contrainte de réactivité de notre système de vision qui doit être capable d'agir sur la commande.

Dans le cadre d'un système à usage industriel, le choix se fait en fonction de différents qualités en respectant le cahier de charges. Ces critères sont le temps de réponse, la fiabilité et la connectivité de l'installation.

Deux types de caméras peuvent être utilisés dans le cadre de l'application. Un tableau comparatif des deux caméras utilisées est présenté ci-dessous. (Voir tableau 4).

	Type de capteur	Taille	Vitesse	Résolution	Logiciels ou outils	Cout
ImaSys	CCD ou CMOS	640*480 à 1600*1200	50 Im/sec	Niveau de gris	Sherlock 6.0 + carte d'acquisition	8000€ (en 2003)
Webcam	CCD ou CMOS	320*240 à 640*480	15 Im/sec	RGB, niveau de gris	Matlab	10€ + matlab + PC

Tableau N°4. Tableau représentant les différentes qualités pour le choix d'un matériel de vision

La première, c'est une caméra ImaSys avec une technologie embarquée ou avec une carte d'acquisition, permettant la récupération d'images en temps réel. Ce type de caméra est dédié à la vision industrielle. La caméra est fournie avec un logiciel de traitement d'image. Il a la possibilité d'intégrer une technologie embarquée très compacte.

La seconde, c'est un autre type de caméra qui n'est pas fourni avec le matériel d'acquisition d'image. Il s'agit des caméras qui s'installent sur des ports de PC comme le port USB ou FIREWIRE. Dans ce cas, le PC avec un logiciel d'acquisition et de traitement d'image formeront l'aspect acquisition du côté matériel et l'aspect logiciel pour le traitement d'image.

Dans le cadre de l'étude de faisabilité qui sera détaillée dans le chapitre suivant, la décision était d'utiliser une webcam, pour limiter les coûts et pour valider la faisabilité avec du matériel basique et non dédié à la vision. C'est une caméra usb de résolution 320*240 et a une vitesse d'acquisition de 15 images par seconde. L'image est de format RGB (3 plan de base Red, Green, Blue). D'autres possibilités sont envisageables pour avoir une résolution plus grande ou pour plus de précision du système de vision. Dans la figure 13, sont représentés les deux caméras utilisées au cours de mon travail de thèse.



(a)



(b)

Figure.13 : Deux caméras différentes USB (a) et FIREWIRE (b) (logitech et Imasys)

Les caméras à port firewire sont plus rapides par rapport aux caméras USB et il existe différentes vitesses d'acquisition. Elles ont une résolution plus grande donc plus de précision. Leur installation est simple (caméra + carte d'acquisition).

Au niveau du coût des capteurs de vision, il y a une évolution assez importante vers la baisse des prix d'installations. Comme le montre la courbe dans la figure 14 ci-dessous, les prix des installations de visions industriels en 10 années ont baissés de plus de la moitié.

Il reste que le coût des caméras industrielles est lié à la vitesse d'acquisition et l'efficacité de ces algorithmes de traitement d'image.

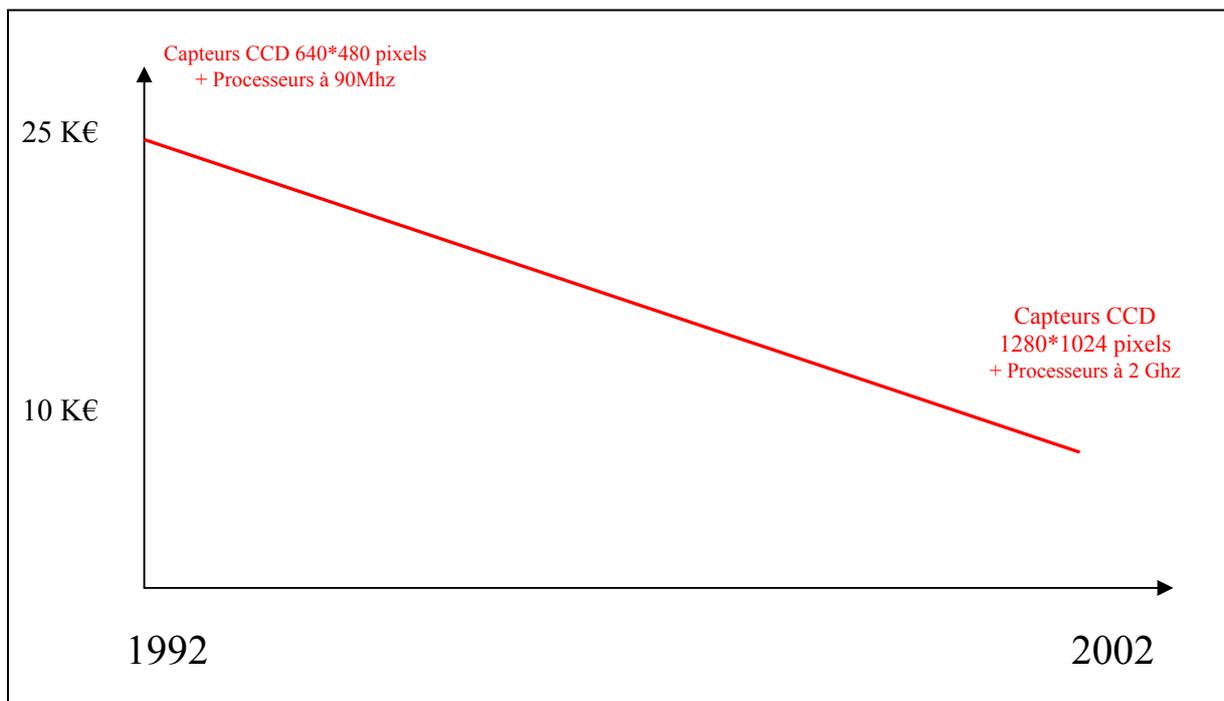


Figure.14 : évolution des prix de capteurs de visions (Tech Innove)

En effet, l'évolution des performances suit celle des processeurs PC. Celle-ci est en évolution continue au fil des années. La baisse des coûts et la puissance des capteurs (précision, répétitivité...) favorisent l'investissement dans ce matériel surtout que la rapidité du système de vision est très importante pour avoir un système de commande réactif.

1.5 CONCLUSION

La contribution de la vision permet d'améliorer la productivité en gardant une réactivité acceptable. Par ailleurs, la vision permet la localisation ainsi que la minimisation du nombre des pièces en rebut. Le remplacement des capteurs classiques par un système de vision permettra un gain matériel et financier et ce au niveau du coût de l'installation et de sa maintenance.

Reste à résoudre les différents problèmes mentionnés, comme la luminosité et le passage du personnel, pour avoir un système robuste et fiable.

Des solutions efficaces ont été trouvées, nous les détaillons davantage dans le chapitre 4 :

- la reconnaissance de forme pour éviter le déclenchement accidentel des actionneurs dans le cas du passage d'un personnel.
- Le traitement d'image à partir d'une capture d'image multi spectrale YCbCr où la luminosité est isolée dans un des plans. Cette représentation multi spectrale est celle de YCbCr, où Y représente le plan de la luminosité indépendant des deux autres plans qui sont Cb (Chrominance bleu) et Cr (Chrominance rouge) représentant les plans de chrominance bleu et rouge.

Le but majeur sera la création d'un système comportant des spécificités techniques pour contrôler non seulement la qualité des produits ou de la production mais aussi le processus de fabrication dans sa globalité. Ce point aura un impact important sur toute la hiérarchie des processus industriels. En n'utilisant que la vision pour le contrôle du processus de fabrication, la qualité de l'information est beaucoup plus riche avec un nombre minimum de capteurs classiques. Dans le prochain chapitre, une étude de faisabilité a été réalisée démontrant la possibilité de remplacer les capteurs classiques et la minimisation du coût de l'installation.

Chapitre II- Étude de faisabilité – Étude préliminaire

Ce chapitre retrace les études faites lors de la première étape jusqu'à la réalisation d'un prototype. Cette phase correspond à l'étude de faisabilité c'est une étude préliminaire qui met en avant les principes de la méthode basée sur l'exploitation de la vision. Une démarche générale est proposée ainsi que l'algorithme de commande par vision.

Dans la partie faisabilité, une étude sur l'application de tri de colis par vision a été réalisée. Cette étude avait pour but, de démontrer la facilité et l'aisance technique dans la mise en œuvre d'un système de commande par vision.

La dernière partie de ce chapitre concernera d'une part la conclusion de l'étude de faisabilité et d'autre part les limites des algorithmes de commande par vision. En effet, différentes conditions de fonctionnement environnementales doivent être prises en compte pour la réalisation de ce type de système.

II.1 INTRODUCTION

Les résultats durant la première partie de la thèse concernant la création d'un système de commande basée sur la vision étaient convaincants (SERPAC, rapport DEA et Document étude de cas Tech Innove). Ces résultats nous ont confortés sur la poursuite des travaux sur le développement d'algorithmes de détection pour différents types de capteurs (présence, niveau, position, colorimétrie....).

Dans le cadre de ce chapitre, la faisabilité consiste à définir une méthode ou un algorithme général du processus de commande. Pour élaborer par la suite dans le chapitre suivant l'impact de la vision sur la commande.

Les travaux concernent les développements suivants :

- La conception d'un système de commande intégrant la vision industrielle,
- La mise en œuvre de l'architecture générale logicielle et matérielle en intégrant la vision
- L'élaboration des modèles de commande exploitant les données de vision
- L'utilisation d'algorithmes de traitement d'image
- L'évaluation de la sûreté de fonctionnement du système de commande par vision.

Tout d'abord l'étude préliminaire effectuée dans l'entreprise SERPAC en collaboration avec le laboratoire d'automatique de Grenoble sera présentée, pour ensuite en dégager les développements réalisés au cours de la thèse.

II.2 PRINCIPE GENERAL DE LA METHODE PROPOSEE

Le rôle primordial de la vision est de remplacer les capteurs classiques en plaçant des capteurs virtuels dans l'image récupérée par la caméra. En plus, la vision a permis d'avoir un autre point d'intérêt c'est de commander. En effet, au cours de l'étude de l'architecture d'un système de commande, la vision peut prendre place autant qu'un outil de commande. En respectant le cahier de charges, le système de vision pourra commander efficacement, il est nécessaire de compléter le système par une interface de commande permettant le transfert d'information, par un port de communication (fibre optique, Ethernet ou RS232).

Tout au début de l'étude préliminaire, tout système industriel a un cahier de charge à respecter. Pour la partie commande, le temps de cycle est le paramètre le plus important à prendre en compte.

En fonction du temps de cycle du processus industriel, nous pouvons déduire la vitesse optimale à atteindre par la partie commande.

Suivant la réactivité recommandée, des conditions concernant la qualité et le temps d'acquisition d'information de la partie commande sont à respecter.

La pré-étude est une tâche longue mais nécessaire. Il faut s'assurer que toutes les tâches, d'acquisition, de traitement et celle de communication avec un périphérique, sont réalisées

grâce à des développements d'algorithmes rapides et efficaces. Pour cela, une grande importance est accordée à cette pré-étude pour assurer ainsi le respect du cahier de charge. Ces étapes sont détaillées dans la suite de ce chapitre. Les modèles de commande concernant chacune de ces étapes seront détaillés dans le chapitre III.

L'organigramme proposé par la figure 15 présente les différentes actions ou tâches qui constitue les premiers pas vers la conception d'une architecture matérielle et logicielle du système de vision.

Ces différentes tâches doivent être complétées par une phase d'apprentissage pour la validation de l'équipement de vision. En effet, c'est une phase nécessaire permettant d'améliorer la réactivité des tâches de contrôle, de commande et de traitement d'image et surtout la validation des deux architectures matérielle et logicielle.

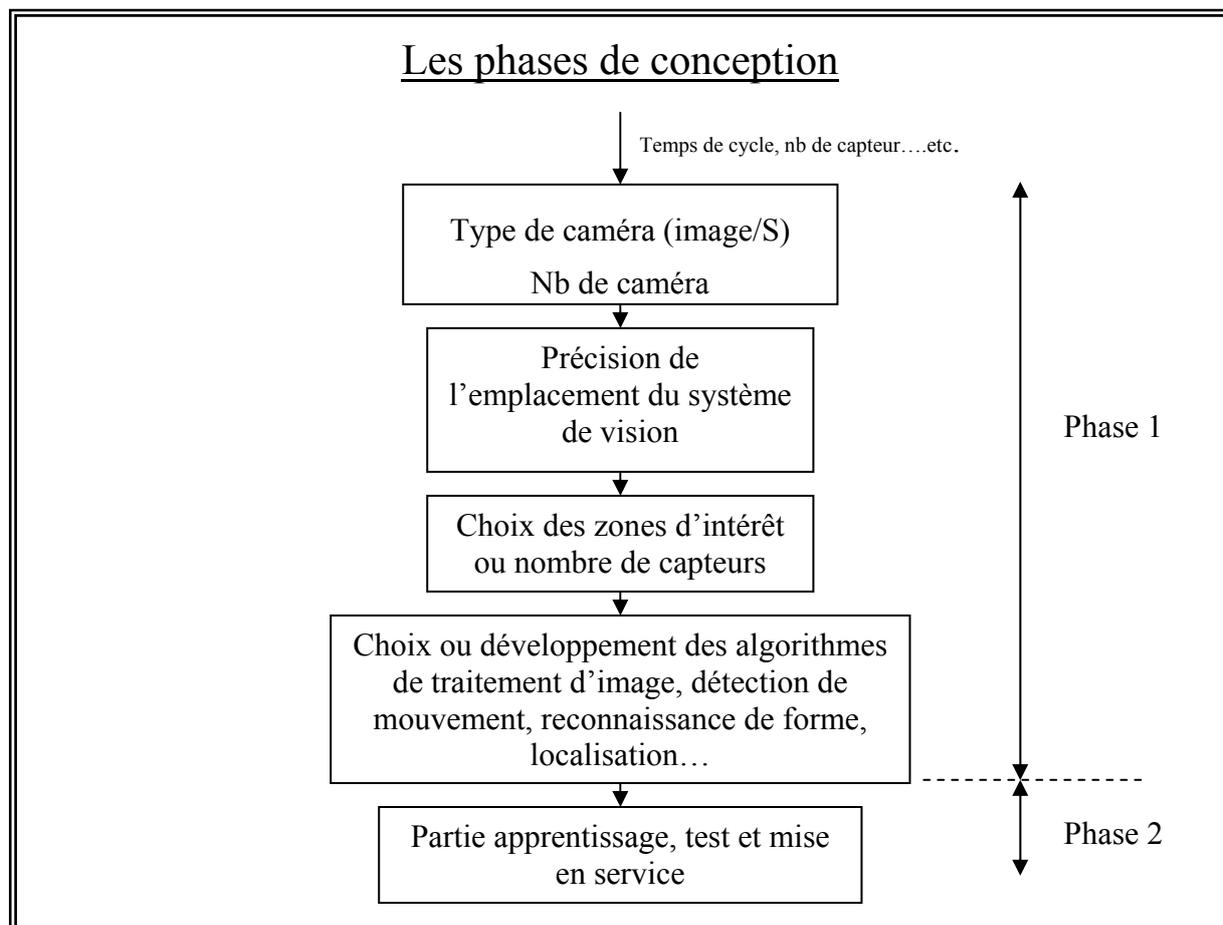


Figure.15 : Conception d'architecture matérielle et logicielle

Le système de vision pour la commande et la détection se repose sur deux phases globales :

Phase 1 : Identification des besoins

Plusieurs points sont à traiter dans cette phase suivant le cahier de charge.

- ✓ Le choix matériel : bien choisir l'équipement de vision avec des performances qui respectent le temps de cycles et la réactivité demandée du système de commande.

- ✓ Le choix spatial : préciser le (les) emplacement(s) des caméras pour couvrir la totalité du champ de vision du processus et choisir les zones d'intérêt. L'usage de plusieurs caméras pour des zones d'intérêt communes augmente la fiabilité du système.
- ✓ Le choix logiciel : le choix des algorithmes pour les différentes zones d'intérêt. En effet, suivant le cahier de charge du processus, nous pouvons alléger la contrainte de temps de réponse en limitant les algorithmes à la détection de mouvement ou de présence dans les zones d'intérêt.

Phase 2 : Apprentissage et la mise en service du système de vision.

Cette phase est très importante, car les tests par apprentissage vont permettre de savoir la fiabilité du système de vision dans des conditions normales.

A la suite de la partie apprentissage, l'algorithme de contrôle et de commande par vision comporte les différentes parties citées dans l'algorithme ci-dessous (figure 16), cet algorithme est exécuté en boucle pour le contrôle et la commande continue du processus de fabrication ou autre processus industriel.

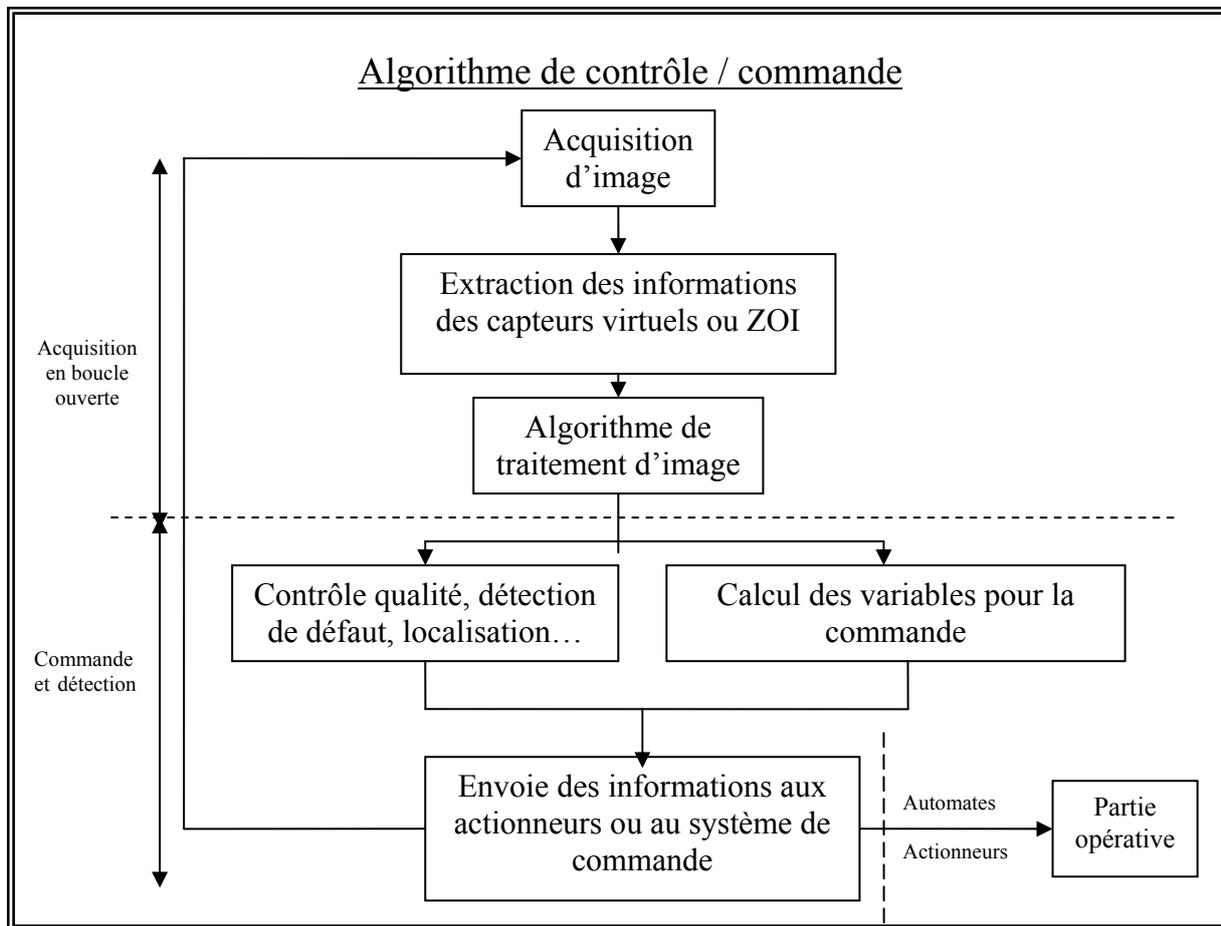


Figure.16 : Algorithme général du système de vision comportant la partie opérative et la commande

Le système de contrôle commande comporte les différentes tâches détaillées dans les paragraphes ci-dessous. Nous constatons que dans l'algorithme, la vision sera responsable d'informer la partie commande et supervision.

La vision remplace les capteurs classiques et devient l'unique source d'information pour la partie contrôle commande. La vision fait aussi la partie de détection nécessaire pour informer en cas de dysfonctionnement ou de mauvaise qualité de production la partie supervision ou agir directement auprès de la partie opérative.

Les informations calculées par le système de vision, sont envoyées directement à la partie opérative comme les automates et/ou les actionneurs.

II.3 ETUDE DE FAISABILITE POUR UN SYSTEME DE TRI PAR VISION, ALGORITHME DE COMMANDE ET DETECTION

II.3.1 Description du processus avec le système de vision:

Le processus étudié concerne un système de tri de colis de différentes tailles. En effet, les colis arrivent d'une façon aléatoire sur un convoyeur. En fonction de certaines caractéristiques définies au préalable, le colis est orienté à gauche ou à droite. L'équipement matériel utilisé dans ce processus est constitué d'un convoyeur, deux vérins pneumatiques, le système de vision, l'organe de traitement et l'automate.

La première partie de l'application est l'acquisition de l'image, et l'exploitation des données récupérées par la caméra. Le choix du système d'acquisition est déjà prédéfini suivant des critères ou des contraintes de temps de réponse.

Les systèmes d'acquisition sont généralement des cartes intégrées sur des postes de PC ou des processeurs embarqués pour l'acquisition et le traitement d'image. Comme dans le cas de système de vision Imasys fournit par SERPAC. Dans l'autre cas de simulation, la caméra utilisée est la Webcam qui fournit via une connexion USB les images au PC. Dans les deux cas, le PC est l'outil de traitement qui sert aux différentes étapes.

L'acquisition d'image utilisant des cartes d'acquisition, nous permet de récupérer les données d'une image en temps réel tout en visualisant l'image, cette fonction nous donne en retour l'image que l'on exploite sous forme matricielle. Celle-ci montre trois matrices représentant l'image dans les couleurs de base. Les trois couleurs de base sont le rouge R, le vert G et le bleu B, sauf dans le cas d'une caméra monochromatique (figure 17, Imasys).

Pour assurer la stabilité du capteur de vision et éviter l'éventuelle vibration, une étape d'initialisation est nécessaire. Elle consiste à étudier le placement de la caméra, l'éclairage ambiant et son effet sur l'acquisition de l'image.

L'image standard sert comme un repère pour le positionnement des capteurs virtuels dans le champ de la caméra. (Figure 17)

La tâche d'acquisition prend un certain temps de cycle de l'algorithme global du système, ce temps dépend du matériel (la caméra et le système d'acquisition) et la technologie utilisée. Une large gamme de choix de ce type de matériel existe pour satisfaire les différentes installations. Les vitesses d'acquisition sont variables allant de 15 images par seconde, comme les caméras USB (dite WEBCAM), ou plus complexes et par ailleurs plus coûteuse, comme les caméras dédiées au système industriel allant jusqu'à une vitesse de plusieurs centaines d'images par seconde (50 images/s caméra Imasys).

Dans le traitement de certains cas, la première image sera le modèle de référence utilisé dans la comparaison avec la séquence d'images récupérées en temps réel. Le but est d'avoir une image standard qui nous permet d'identifier tous les changements qui ont eu lieu dans le champ de vision de la caméra.

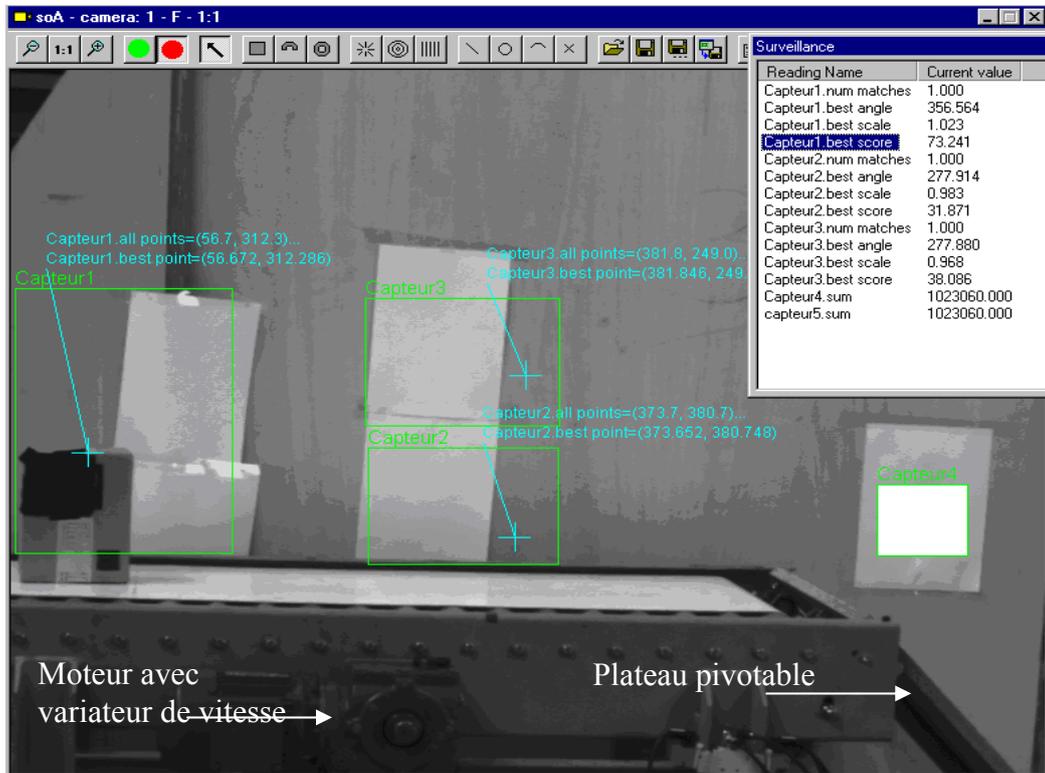


Figure.17 : Image représentant un poste de tri, pour l'étude de faisabilité (SERPAC)

II.3.2 Positionnement des capteurs

Après la tâche d'acquisition d'image standard et le choix de l'emplacement de la caméra dans un champ de vision convenable, une image est prise comme étant l'image type du système global. Cette image sera le modèle de référence pour le positionnement des capteurs virtuels appelés aussi zones d'intérêt (Figure 18).

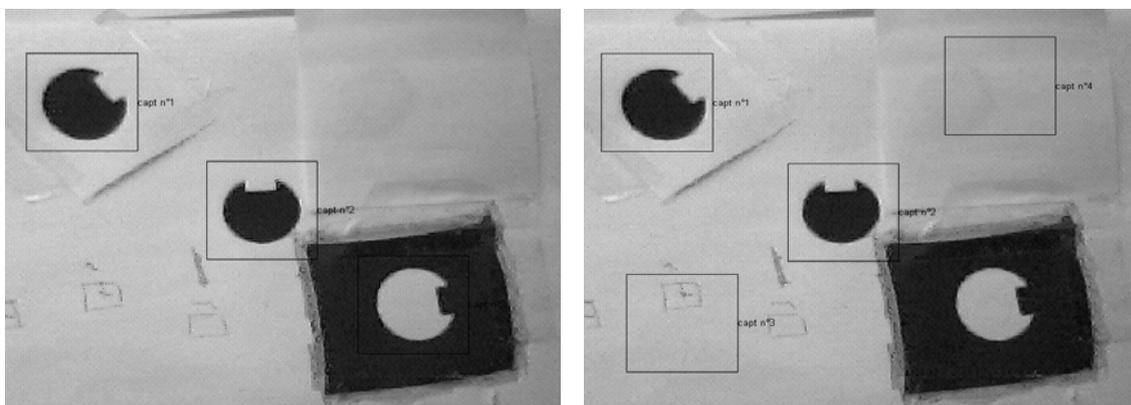


Figure.18 : Deux images montrant les zones d'intérêt ou capteurs virtuels positionnés dans une image

Le temps de traitement dépend de différents paramètres comme, la taille de l'image, le nombre de capteurs virtuels et l'ordre de traitement. Avant de mettre en place chacun des capteurs, il faut préciser leurs critères qui consiste à préciser leurs tailles, c'est-à-dire préciser le nombre de pixels à contrôler en longueur et en largeur des points d'observation. Une fois que la taille est précisée, nous pouvons commencer à installer les capteurs de présence en fonction des besoins de contrôle.

La tâche sera finie une fois que les capteurs nécessaires à l'analyse de l'image sont positionnés. Le positionnement et le nombre de capteurs dépendent fortement de la complexité de l'image.

Toutes les informations sont stockées et mises en place pour la comparaison en temps réel entre l'état des pixels dans l'image standard et leurs états dans les images récupérées pour certains algorithmes comme la détection de mouvement ou détection de présence.

II.3.3 Traitement d'image

Les algorithmes de traitement d'image sont très coûteux en temps d'application, c'est pour cela que seules les zones d'intérêt sont traitées ce qui fait économiser beaucoup de temps.

Les zones d'intérêt choisies dans la partie précédente sont des capteurs virtuels. En effet ces capteurs virtuels sont des parties d'image qui seront traitées par différents algorithmes, comme par exemple la détection de mouvement, reconnaissance de forme....etc.

Les algorithmes de traitement d'image seront détaillés dans le chapitre 4, où nous allons regarder de près les différents algorithmes existants et utilisés pour les différentes applications étudiées au cours de la thèse.

Généralement, comme la majorité des capteurs utilisés dans les applications industrielles sont des capteurs de présence, il est facile de les remplacer par des capteurs virtuels à cause de la simplicité de l'algorithme de détection de présence. En effet, la détection de présence ou de mouvement est très facile à réaliser par un système de vision, mais l'apport technique de la vision est qu'elle remplace plusieurs capteurs classiques ou la totalité si possible pour minimiser l'usage

Même dans ce cas aussi simple, le remplacement des capteurs de présence par un système de vision est rentable à partir de 6 capteurs de présence (SERPAC).

Les algorithmes qui sont plus lourds en calcul comme la reconnaissance de forme ou la détection de défaut ou la localisation et l'orientation d'une pièce, seront utilisés dans des zones spécifiques. L'usage des algorithmes de reconnaissance de forme ou d'identification de défaut seront utilisés surtout dans la partie commande ou dans le cadre d'une cellule robotisée dans l'installation.

II.3.4 Architecture matériel du processus

Une tâche de transmission asynchrone à la fin de chaque cycle de traitement se fait pour rafraîchir l'état des capteurs virtuels auprès de la partie commande. Dans la phase d'initialisation, le nombre de capteurs virtuels peut être défini en fonction de la tâche et doit être testé rapidement pour des réglages afin de trouver le bon positionnement. Voici le flux

d'information tel qu'il est transmis entre les différents modules matériels d'un système de commande par vision (Voir figure19)

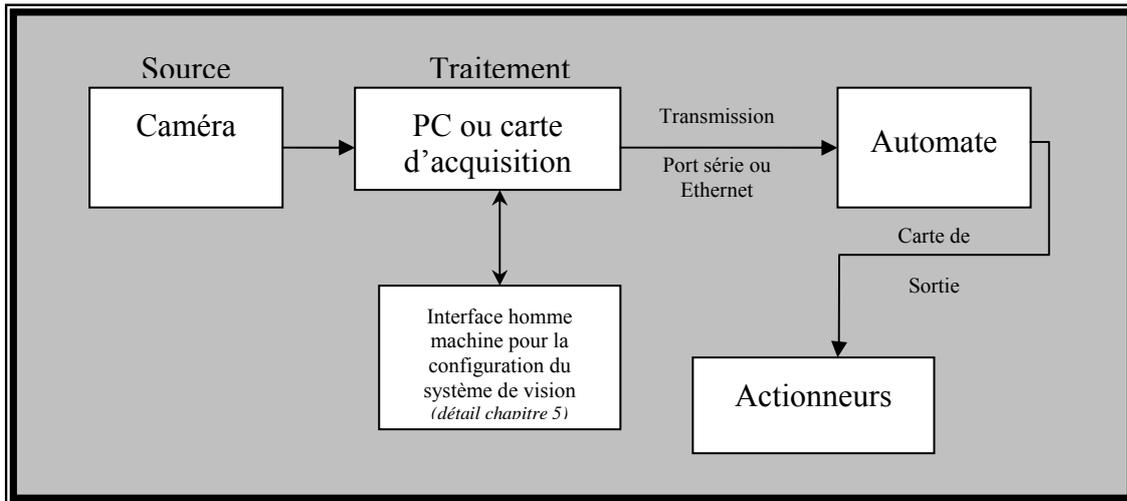


Figure.19 Flux d'information entre les différents modules de la structure matérielle.

Les différents modules matériels d'un système de commande se résument en trois parties, le système de vision, l'automate et les actionneurs. La partie logiciel va se limiter à la programmation automate et la IHM responsable de la configuration du système de vision. Cette IHM permet de faciliter la tâche aux utilisateurs qui connaissent pas les détails du traitement d'image. La programmation IHM sera détaillée dans le chapitre 5.

La transmission peut être faite avec les moyens possibles en informatique comme les ports série, parallèle ou via le câble réseau Ethernet. Dans le cadre de ces essais la transmission se fait entre le PC et l'automate TSX micro via un port série RS232.

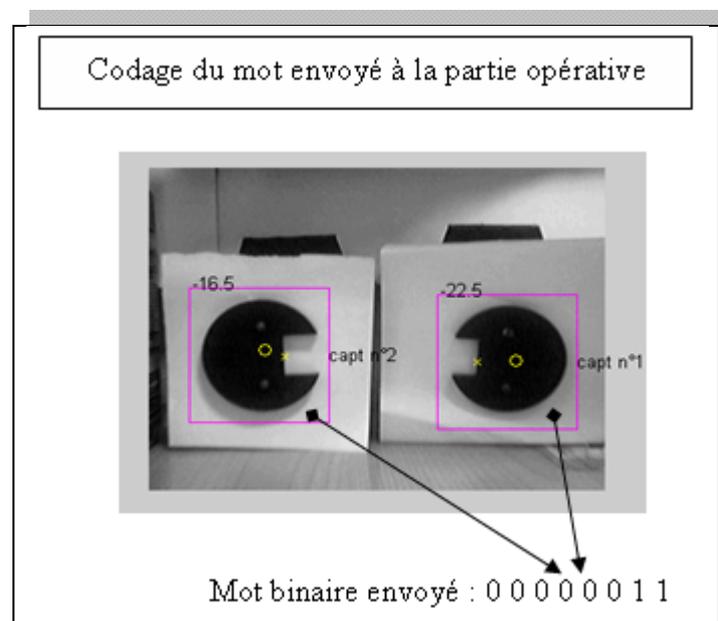


Figure.20 Illustration du codage de deux capteurs de reconnaissance de forme, chaque capteur affecte un bit d'information dans le mot binaire

A priori le nombre de capteur virtuel pouvant être positionné dans l'image peut être illimité. Une trame de données (16 bits), huit bits seulement représentant l'état des huit capteurs, est

envoyée vers l'automate via le port série du PC. Les huit autres ne sont pas utilisés. Ils seront utiles dans le cas d'une extension de l'application.

Pour les tests réalisés, nous avons limité le nombre de capteurs à huit. Chaque capteur est représenté par un poids correspondant à sa place dans le mot binaire envoyé à l'automate. La transmission des données se fait suivant le protocole de communication de port série UNITELWAY, entre le PC et l'automate TSX Micro.

Dans l'exemple de la figure 20, le capteur n°1 et n°2 ont la position 1 et 2 de poids faible du mot binaire envoyé à l'automate, pour une bonne reconnaissance le capteur envoie 1, pour une mauvaise reconnaissance le capteur envoie 0.

Le port série est programmé sur une cadence d'échange bien prédéfinie entre le PC et l'automate. La communication série se fait de façon asynchrone, cela signifie qu'aucun signal de synchronisation (appelé horloge) n'est nécessaire: les données peuvent être envoyées à intervalle de temps arbitraire. En contrepartie, le périphérique doit être capable de distinguer les caractères (un caractère a une longueur de 8 bits) parmi la suite de bits qui lui est envoyée.

C'est la raison pour laquelle dans ce type de transmission, chaque caractère est précédé d'un bit de début (appelé bit START) et d'un bit de fin (bit STOP). Ces bits de contrôle, nécessaires pour une transmission série, utilisent 20% de la bande passante (pour 10 bits envoyés, 8 servent à coder le caractère, 2 servent à assurer la réception).

D'autres ports de communication sont plus élaborés dans le monde industriel comme les ports Ethernet. Généralement, les installations industrielles comportant des systèmes de vision ou un système robotique ont des réseaux Ethernet très élaborés. Avec ce type de réseau, l'installation d'un système de vision pour la commande devient encore plus simple et plus réactif. La vitesse de communication via le réseau Ethernet peut varier selon le partage de ressource et le flux de données sur le réseau. Il existe trois type de vitesse de communication dans le protocole d'échange : 10, 100 et 1000 Mbits/s. le choix matériel du port de communication série était pris pour la simple raison qu'il était disponible pour l'étude de faisabilité de l'application.

II.3.5 Orientations de la thèse

Cette étude de faisabilité a permis de mettre en évidence de nombreux problèmes et de dégager des orientations futures. L'application sur un système de Tri est détaillée dans le chapitre V intitulé « applications industriels ».

Pour que ce type de commande soit robuste et prêt à être installé sur des systèmes réels, certaines améliorations sont nécessaires. En effet, la vision industrielle comme prévue dans les générations existantes sont des développements destinés au contrôle de qualité. Alors les recherches et l'avancement de la thèse ont été basés sur des méthodes ou algorithmes de traitement d'image basique. Cela est dû au fait que la vision est utilisée dans le cadre strict du contrôle qualité et détection de défaut dans les systèmes industrielles ou pour le guidage robotique. Les algorithmes et les précisions sur l'installation de système de commande dépendront d'une façon primordiale des différents critères du système de vision et de la vitesse du processus à contrôler.

II.4 LIMITES DES ALGORITHMES DEVELOPPES, PROBLEME DE LUMINOSITE

Une grande partie du travail de traitement d'image concerne l'atténuation de l'effet de bruit sur l'image. Le facteur le plus gênant pour la vision industrielle est le changement de la luminosité ambiante. Une caméra qui règle automatiquement sa propre luminosité sera très convenable pour atténuer la variation de la lumière sur son champ de vision. Par contre pour des changements locaux de luminosité ou éblouissement, c'est-à-dire ne concernant qu'une partie du champ de vision de la caméra, la caméra ne peut rien faire. Ce qui permet de mettre en évidence les différentes étapes de traitement et d'amélioration.

1. Traitement d'image en niveau de gris : le choix des caméras monochromatiques fournissant des images en niveau de gris permet l'atténuation de l'effet du changement de la luminosité. Ce choix permet ainsi l'atténuation de l'effet de la luminosité. Cette solution est efficace car en choisissant un fond d'image différent de la texture de la pièce, le changement de luminosité sera minimisé. Dans ce cas, on risque moins de défaut sur la capture de présence et la reconnaissance de forme. Par contre, dans le cas de passage d'une personne devant le champ de la caméra, le système sera perturbé en signalant la présence dans les zones des capteurs. La solution sera bien sur détaillée dans la partie de reconnaissance de forme (ce traitement était testé à l'aide du système de vision Sherlock, le logiciel approprié au caméra d'IMASYS).
2. Test de vraisemblance : ce test va nous permettre de calculer la Carte Binaire de Changement Temporelle (CBCT une carte de signalisation par 1 ou 0 pour chaque pixel qui a changé d'état ou pas). Ce test permet de garantir un résultat robuste vis-à-vis du changement de luminosité ambiante. De même l'effet de changement de la luminosité du local sera atténué, car nous ne nous intéressons qu'à des parties de l'image appelées les zones d'intérêt (ZOI- capteur virtuel).
3. Reconnaissance de forme : avec Sherlock 6.1 le traitement est du niveau industriel et la technologie ou les algorithmes utilisés sont inaccessibles. La signalisation ne se fait plus dans le cas d'un changement d'état d'un capteur (ce qui pouvait être fait par le passage du personnel devant la caméra par exemple). Mais le déclenchement des actionneurs se fait après la reconnaissance de forme bien précise d'une partie de la pièce mise en évidence au cours de l'apprentissage des ZOI. Dans l'algorithme, un signe ou un contour bien net et choisi au cours de l'apprentissage nous permet d'avoir une précision de reconnaissance dépassant les 90% même à une distance de 1m50 au cours d'une simulation (application chez SERPAC). Notre système, avec ce type de traitement, devient techniquement un système robuste. Pour la perte d'information liée au passage d'une personne au même instant qu'une pièce, la solution se situe soit dans l'élargissement de la zone de surveillance soit par l'ajout d'un système de vision redondant. Cette solution permet d'augmenter la fiabilité et la sûreté de la commande.

D'autres problèmes rencontrés avec une ébauche de solution qui reste à implémenter:

1. Luminosité : c'est l'un des problèmes les plus importants du monde de vision industrielle. Dans le cadre de cette étude, la caméra est positionnée loin du convoyeur ou des pièces à surveiller et dans un éclairage ambiant.

Le champ de vision sera perturbé par le changement du luminosité ambiante. la variation de la luminosité, même à un facteur faible, sera délicate sur la prestation des réponses de notre système. Ce système pour être industrialisé, doit être robuste et

ayant un taux de défaillance ou d'erreur quasi nul. Une solution est possible : bien choisir l'image type et le fond de la zone de surveillance et la pièce à détecter soit de deux niveaux de gris assez différents. Cette solution sera évoquée dans le chapitre de traitement d'image.

2. Passage du personnel : dans le cadre où le local est accessible au personnel et que la caméra est mise dans une zone accessible à ces mêmes personnes, leur passage devant le système de vision génèrera de faux signaux sur tous les capteurs de présence et de mouvement. Ce type de défaut est difficile à résoudre surtout que le système basé sur la capture de présence n'est pas dédié à différencier les formes. D'autre part, le passage d'une personne devant la caméra peut se produire au même instant qu'une pièce sur le convoyeur. Dans ce cas, l'information est inexploitable. Alors la proposition des algorithmes de reconnaissance de forme ou de l'identification de défaut suivant la couleur aura toute son importance pour résoudre tel problème. La reconnaissance de forme et l'identification de défaut seront détaillées dans le chapitre 4.

Conclusion

Dans ce chapitre, l'étude de faisabilité a permis de mettre en évidence les différentes étapes et les points importants à prendre en compte dans le choix matériel et logiciel pour les projets industriels futurs. Le choix concernera d'une part le matériel pour une vitesse d'acquisition et un temps de traitement convenable au processus et d'autre part les qualités logicielles en développant ou sélectionnant les algorithmes les plus efficaces dans les conditions environnementales de l'atelier.

Les détails de changement structurel dans l'installation de commande sont précisés dans le chapitre qui suit.

Chapitre III- Proposition d'une structure de commande par vision,

Les processus de fabrication classiques sont formés de plusieurs parties : la partie mesure, la partie commande et la partie supervision.

Pour la commande, la source unique d'information provient des échanges avec les capteurs et les actionneurs, ce qui fait que la fiabilité de la partie commande est liée directement à la fiabilité de la partie mesure. Pour améliorer la fiabilité des systèmes de commande et par ailleurs la sûreté de l'installation tout en minimisant les coûts, une étude des différents organes qui composent un processus de fabrication a été réalisée.

Dans ce chapitre, nous proposons une nouvelle structure contrôle/ commande par un système unique de vision. Nous évoquerons les systèmes de commandes de base, leurs architectures logicielles, le processus de fonctionnement à l'aide des modèles de commande.

Dans la seconde partie de ce chapitre, l'impact de la vision sur la commande sera détaillé avec une proposition de processus générale pour le remplacement efficace des processus classiques par un processus de commande par vision.

III.1 INTRODUCTION

La proposition d'une structure de commande par vision constitue l'apport scientifique principal de mon travail de thèse. En effet, il s'agit de remplacer la partie matérielle constituée de différents types de capteurs classiques par une partie logicielle correspondant aux capteurs virtuels (sous forme de zone d'intérêt ou zone de surveillance dans l'image) du système de vision. De plus, le système de vision que nous proposons doit contribuer à la détection et au diagnostic au plutôt. Pour un processus de fabrication, il s'agit non seulement détecter tous les défauts par analyse d'image, mais aussi réagir le plutôt possible. Il est donc nécessaire de développer un algorithme de traitement d'image permettant une bonne réactivité par rapport à la dynamique de production. Quant à la surveillance en temps réel des produits, elle contribue à la maîtrise de la qualité de la production. L'usage de la vision permet une stratégie de maintenance des équipements de production qui peuvent être à l'origine des pertes de production. L'exploitation de la redondance semble être une solution efficace pour améliorer la fiabilité de l'information. Cette solution doit être associée au développement d'algorithmes parallèles efficaces en termes de réactivité.

Dans le chapitre précédent, l'étude de faisabilité a défini les possibilités de la vision et son impact principal sur l'architecture logiciel et matériel d'un processus. Au cours de ce chapitre, nous allons détailler l'impact de la vision sur la structure de commande en proposant une structure générale du système de commande et en étudiant l'impact de la vision sur cette structure.

Dans une deuxième partie, nous présentons l'évolution de l'architecture logicielle des algorithmes de commande. Nous présenterons ainsi, la démarche générale de construction du modèle de commande intégrant la vision. De plus, une démarche d'évaluation de l'architecture basée sur la vision pour la commande et la détection est proposée.

III.2 PILOTAGE D'UN PROCESSUS DE FABRICATION : STRUCTURE GENERALE

Les processus de fabrication classiques utilisent principalement des capteurs sensibles à l'environnement immédiat, à titre d'exemple les capteurs de présence suivant leur niveau de sensibilité peuvent détecter des éléments qui n'appartiennent pas au processus (ombre, fumée, déplacement d'objet...). De plus, une des causes de perte d'information est due à toute la connectique associée aux capteurs (des centaines de mètres de câble pour le branchement des capteurs), ce qui augmente les pertes en ligne (El-Sahmarani, 2004). Ces pertes endommagent la qualité de l'information envoyée en direction de la partie commande. Concernant les défauts de type forme et couleur, les capteurs classiques ne sont pas efficaces.

Le système de vision proposé permet de remplacer plusieurs types de capteurs pour aboutir à une installation simple. En effet, il n'y a pas de complexité dans le branchement ou de configuration (un seul câble de connexion) et il n'y a pas de perte de temps pour l'installation, car le positionnement et la programmation du système sont très rapides. L'extension du système de commande par vision est quasi instantanée car l'intervention ne concerne que la partie logicielle. L'ajout d'une zone d'intérêt ou d'un capteur virtuel ne coûte que le temps de programmation. Alors que dans une structure classique, cette même modification nécessite

plus de temps consacré à l'achat du matériel à ajouter, câblage et programmation de la partie commande sans oublier les tests et la mise en service.

III.3 D'UNE COMMANDE CLASSIQUE VERS UNE COMMANDE PAR VISION

Un processus de fabrication classique est composé de différents organes permettant un pilotage de l'ensemble de l'installation : de la planification des tâches à assurer jusqu'à la commande de la partie opérative, comme le montre la figure 21-a.

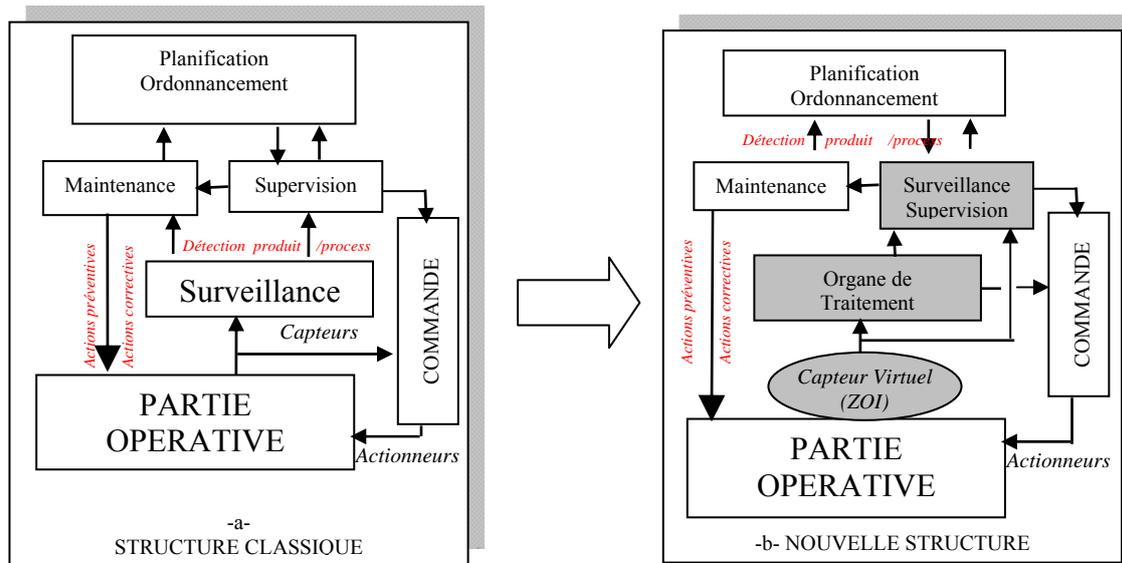


Figure.21 Échange d'information entre les différentes parties d'un processus de fabrication.
a- Structure classique
b- Structure proposée – implémentation d'un système de vision

Dans une structure classique, la commande repose principalement sur les informations capteurs disposés dans la partie opérative.

Notre objectif est de minimiser le nombre de capteurs dans l'installation. Cette caractéristique a un impact direct sur le processus de fabrication :

- ✓ Variétés de capteurs : le nombre de capteur différents existants dans l'installation classique est grand, ce qui fait une perte au niveau de temps de maintenance et de réglage pour chacun des capteurs.
- ✓ La complexité de l'installation : l'installation de différents capteurs dans des conditions industrielles pas toujours simple.
- ✓ Câblage : le câblage des capteurs classiques, de part leur nombre, peut être très perturbant par rapport à la qualité de l'information, en effet la longueur des câbles induit fortement sur la qualité de l'information à l'arrivée. Des câbles sur certaines installations peuvent atteindre des centaines de mètres.

La solution avec la nouvelle structure proposée (voir figure 21-b), est d'intégrer un système de vision simple à installer, facile à programmer et qui ne constitue qu'un seul périphérique à maintenir. Les échanges d'information entre les différents modules sont représentés dans la figure 22.

L'implantation de la vision permet ainsi, d'agir directement sur la partie commande. Notons que pour cette nouvelle structure, le traitement d'image fait partie intégrante de l'algorithme de commande.

Quand à la maintenance et la supervision, leurs données d'entrée sont enrichies par les informations de vision associées aux procédés de fabrication.

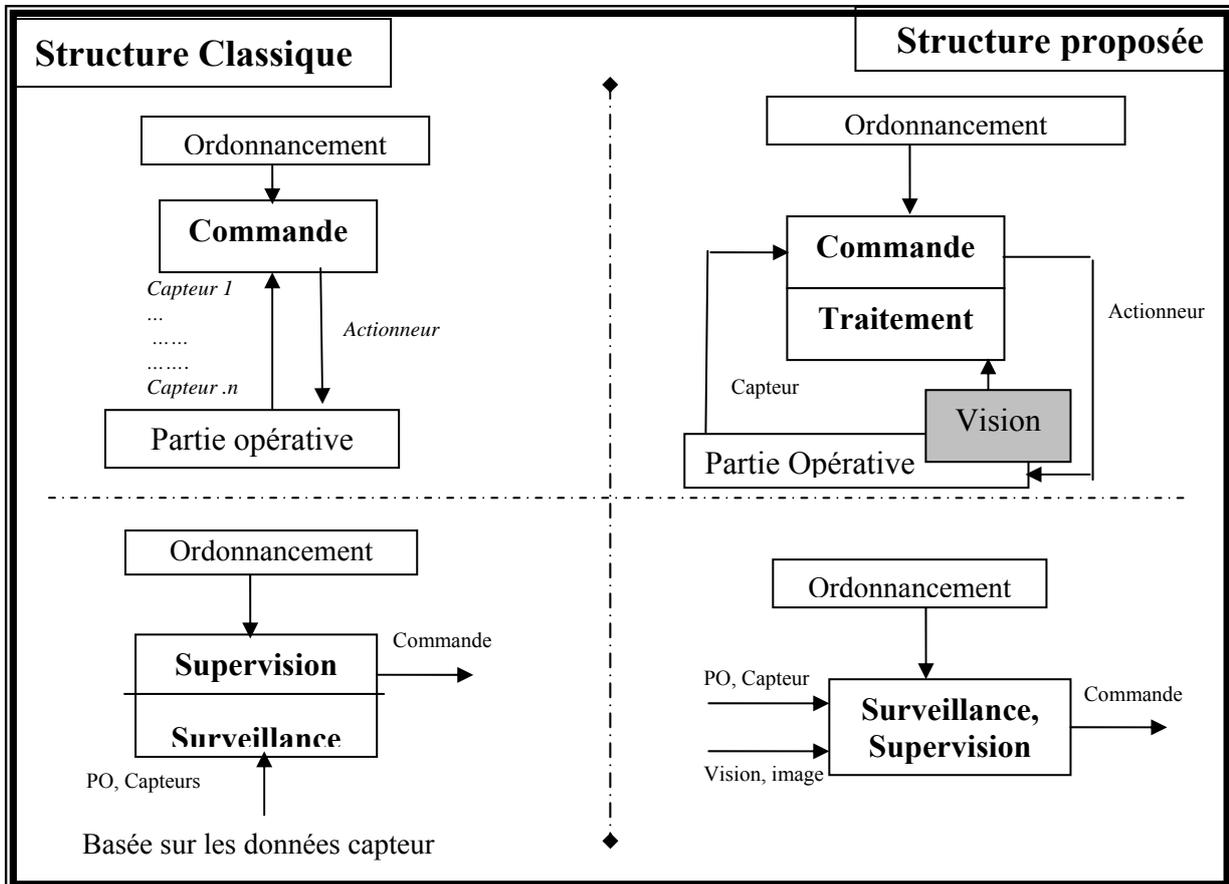


Figure.22 Échange d'information entre différents organes

III.4 RÔLE DES DIFFÉRENTS MODULES DU SYSTÈME DE VISION

L'exploitation du système de vision contribue à l'amélioration des performances au niveau des trois principaux modules:

- Le module de commande
- Le module de supervision et surveillance
- Le module de détection, localisation et diagnostic.

III.4.1 Le module de commande

La contribution du système de vision permettra, avec l'implémentation d'algorithmes robustes, d'améliorer la réactivité et la sûreté de l'installation. Le système de vision permet de

placer un nombre variable de capteurs virtuels dans le champ de vision de la caméra. La possibilité d'avoir un nombre variable de capteurs assure une bonne gestion et une commande optimale du processus. Le placement des capteurs virtuels et la gestion des entrées/sorties seront très simples, efficaces et surtout que le coût de l'installation est fixe.

La combinaison de plusieurs systèmes de vision permettra la détection et l'identification de défauts en plus la commande du processus de fabrication. En utilisant majoritairement des systèmes de vision, l'objectif de l'étude de faisabilité sera atteint en minimisant le nombre de capteurs classiques qui sont la source de défaillance dans un système de fabrication.

Par ailleurs la gestion d'un processus de fabrication recommande un algorithme de commande et de supervision. Cet algorithme sera spécifique et personnalisé à chaque processus de fabrication.

III.4.2 Le module de supervision et surveillance

En augmentant le nombre des zones de redondance entre différents systèmes de vision, la fiabilité du système augmente aussi. En effet, l'usage d'un autre système de vision augmente significativement le prix de l'installation. Mais cela n'influence pas la réactivité et le temps de réponse du système. L'usage de deux systèmes de vision à technologie embarquée, calcule indépendamment leur résultat en parallèle alors nous avons toujours le même temps de traitement. La seule chose qui sera influencé c'est le cycle de communication avec le matériel redondant qui n'est pas trop important par rapport au temps de traitement.

Par ailleurs les technologies embarquées sur certains systèmes de vision permettent :

La gestion des tâches et l'ordonnancement : suivant le nombre des systèmes de vision l'un des systèmes embarqués sera configuré en tant que maître de commande responsable du contrôle et de la commande du processus de fabrication. Le rôle du maître sera de gérer les redondances entre système de vision en cas de défaillance et de gérer les informations arrivants des différents esclaves.

La reconfiguration : en cas d'interruption ou changement de machine, une reconfiguration simple du système est nécessaire. La technologie embarquée permet d'assurer l'indépendance et l'autonomie de chaque système de vision. En effet, à l'aide d'un logiciel de programmation visuel, les systèmes de vision sont programmés facilement avec des outils de programmation prédéfinis. Les outils de programmation sont généralement des algorithmes de reconnaissance de forme, détection de défaut et identification et classification.

La Suivi en temps réel : grâce à leur connexion sur réseau Ethernet, les systèmes de vision peuvent fournir rapidement l'état des différentes caméras, des images en temps réel et les résultats des algorithmes choisis pour la ou les applications désirées.

III.4.3 Le module de Détection, Localisation et Diagnostic

Dans cette partie, ce module démontre les différentes capacités des algorithmes de vision. ces algorithmes contribuent aux applications suivantes :

- **Détection de défauts de fabrication** : dans le cadre du contrôle qualité, des logiciels très performants peuvent identifier et localiser des défauts de fabrications, avec une très

haute précision et une haute cadence (quelques ms). Différents types de systèmes de vision sont dédiés à des traitements de haute cadence et de très haute définition. Certaines caméras peuvent avoir une précision de moins d'un millimètre (à 1m de distance et un champ de 1m² pour la tâche de tri chez SERPAC avec caméra Imasys).

- **Détection d'anomalie en processus de fabrication ou de défaillance** : à l'aide d'algorithmes d'ordonnancement et de supervision, il est possible de détecter des séquences interdites dans le processus de fabrication, autrement dit, il est possible de détecter la perte d'information en contrôlant les informations arrivants de différents systèmes redondants.
- **Mise en rebut si produit défectueux** : la mise en rebut d'un produit défectueux avant la fin de fabrication, évite des pertes significatives. En effet, la détection d'un produit défectueux au début de la chaîne de fabrication permet d'éviter les pertes en cas de montage d'autre pièce car celle-ci pourra être endommagée par le défaut déjà présent. La détection précoce du défaut permet de réduire l'énergie dépensée dans l'usinage et le finissage d'un produit comportant des défauts.
- **Identification de l'origine de la défaillance de processus** : En identifiant le type de défaut d'usinage ou de fabrication de la pièce en cours, l'algorithme de supervision pourra identifier l'origine ou la source de défaut en cas de plusieurs défauts détectés à la suite sur plusieurs pièces en cours de fabrication. C'est la méthode d'identification par comparaison ou corrélation. [ref. 12, 26]
- **Identification et localisation** : l'identification et la localisation est possible grâce à des caméras omnidirectionnelles appelées aussi caméras panoramiques [ref. 16]. Ce type de caméra donne une vue globale de 360° de la zone à surveiller. L'utilisation de ce type de système est exploitée principalement pour le guidage des robots. L'exploitation de l'imagerie panoramique est utilisée aussi pour l'asservissement visuel ou la localisation dans un domaine inconnu. [ref. 3, 33].

III.5 PROPOSITION D'UNE ARCHITECTURE OPERATIONNELLE

De nos jours, l'architecture des systèmes de commande est en constante évolution d'une part pour minimiser le temps d'arrêt pour maintenance et les coûts de l'installation. Elle ressemble à l'architecture des systèmes embarqués dédiés à une application.

En effet l'évolution de l'architecture des systèmes de production est importante pour une réactivité et une sûreté de fonctionnement irréprochable. Ce qui mène à l'orientation vers des systèmes intelligents dans les systèmes de productions et surtout vers les technologies embarquées comme la qualité d'information apportée par les systèmes de vision.

La démarche générale de création d'une architecture de commande, débute par un cahier des charges composé de spécifications fonctionnelles et de contraintes matérielles. Ce travail amène en règle générale à concevoir plusieurs architectures opérationnelles qui pourraient répondre au cahier des charges. Plusieurs critères permettent le choix d'une architecture parmi les choix possibles, comme le coût, la complexité, etc., toujours, en respectant les performances précisées « à priori » dans le cahier des charges.

Dans la suite, seront détaillées, les différentes phases de construction des modules du processus de commande qui intègre la vision avec une analyse des performances de ce système.

III.5.1 Mise en œuvre de l'architecture opérationnelle :

La figure 23 présente la démarche proposée pour l'évaluation de l'architecture de commande. Cette démarche se divise en trois sous-phases, la préparation, la simulation et l'analyse.

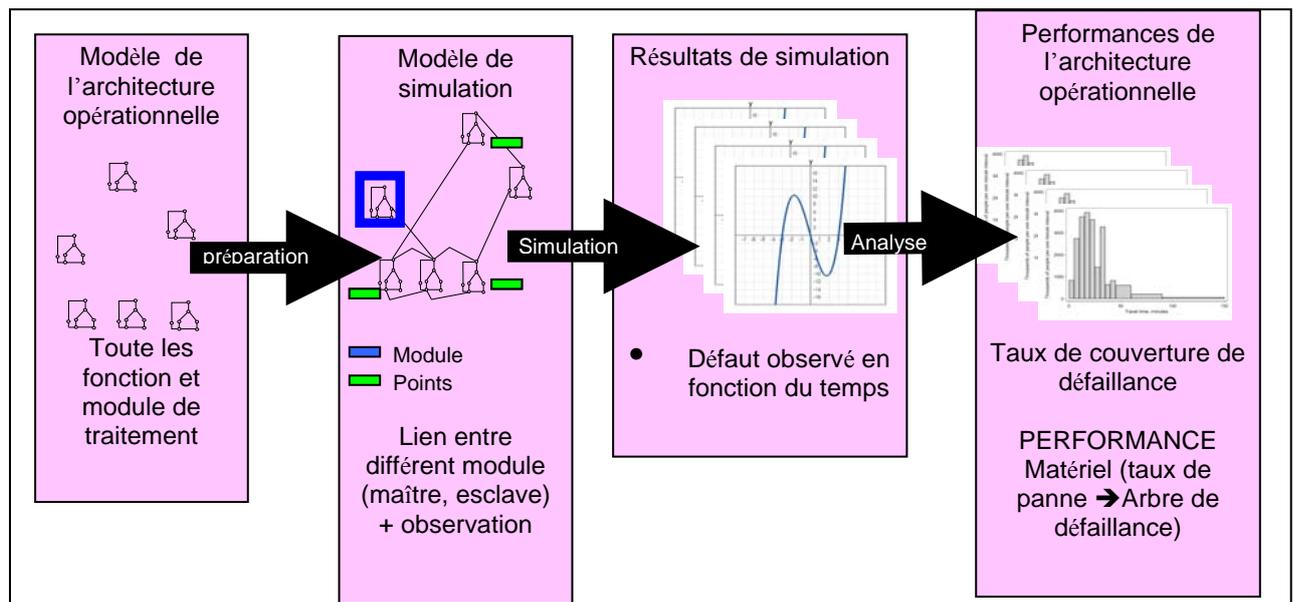


Figure.23 Démarche d'évaluation du modèle de l'Architecture Opérationnelle

L'architecture opérationnelle repose sur deux phases de modélisation, une phase d'analyse des résultats de simulation et une dernière phase d'étude des performances en termes de taux de couverture des dysfonctionnements (du produit et du processus de fabrication). Les objectifs de chaque phase sont les suivants :

- **Modèle de l'architecture opérationnelle** : cette étape consiste à définir tous les modules nécessaires au pilotage de l'architecture opérationnelle. Nous pouvons citer : les modules d'acquisition, détection de mouvement, de localisation et d'identification de défaut. La préparation à ce niveau consiste à définir les étapes d'initialisations du système de commande pour le respect de cahier de charges. (figure 24).
- **Modèle de simulation** : le modèle constitué par les différents modules est défini en précisant l'ordre d'exécution et la dépendance des modules entre eux. En effet, en fonction de l'application, parmi les différents modules prévus dans le modèle de l'architecture opérationnelle, certains ne sont pas utilisés. Notons à titre d'exemple, qu'aucun logiciel de vision industrielle n'exploite tous ses outils de traitement dans un seul processus.

- **Résultats des simulations** : l'analyse du modèle de simulation permet d'en dégager des points négatifs à résoudre et les points forts qui confortent le choix de cette architecture.
- **Performances de l'architecture opérationnelle** : dans cette partie les performances de l'architecture sont testées sur deux niveaux logiciels et matériels. Les essais logiciels permettent d'avoir un taux de couverture des défauts du produit. Les essais matériels permettent d'évaluer la fiabilité de l'installation grâce à l'utilisation d'une représentation logique du système par un arbre de défaillance. A titre d'exemple, la figure 27 représente l'arbre de défaillance d'un système classique. Pour un système de commande avec vision l'arbre de défaillance est représenté dans la figure 28. La figure 29 représente l'arbre de défaillance dans le cas d'un système avec du matériel de vision redondant. Ce type de présentation permet d'évaluer la probabilité de défaillance à partir des éléments de base constituant le système.

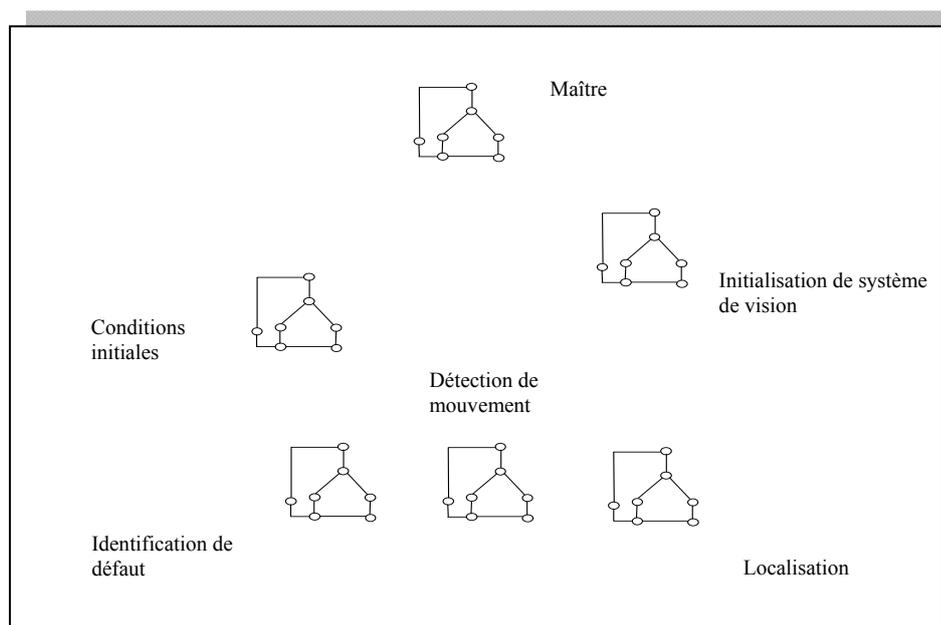


Figure.24 Différents modules de l'architecture opérationnelle

A l'aide des résultats d'évaluation, l'architecture est choisie et mène à un modèle sûr et proche de la réalité. Un système basique de commande ne tiendra pas compte de la possibilité de l'intégration de la vision ou des systèmes intelligents dans son architecture [ref. 25].

Les algorithmes de traitement d'image réalisés et testés dans les chapitres précédents, sont utilisés pour la nouvelle architecture choisie. En effet, après le choix du modèle de commande suivant les résultats des simulations, l'architecture se précise autour des algorithmes de traitement d'image, qui remplacent naturellement une partie du matériel (les capteurs classiques) par des capteurs virtuels. Dans la figure 25, une représentation de différentes étapes de traitement d'image qui forme une macro étape pouvant faire partie du modèle de commande d'un processus type.

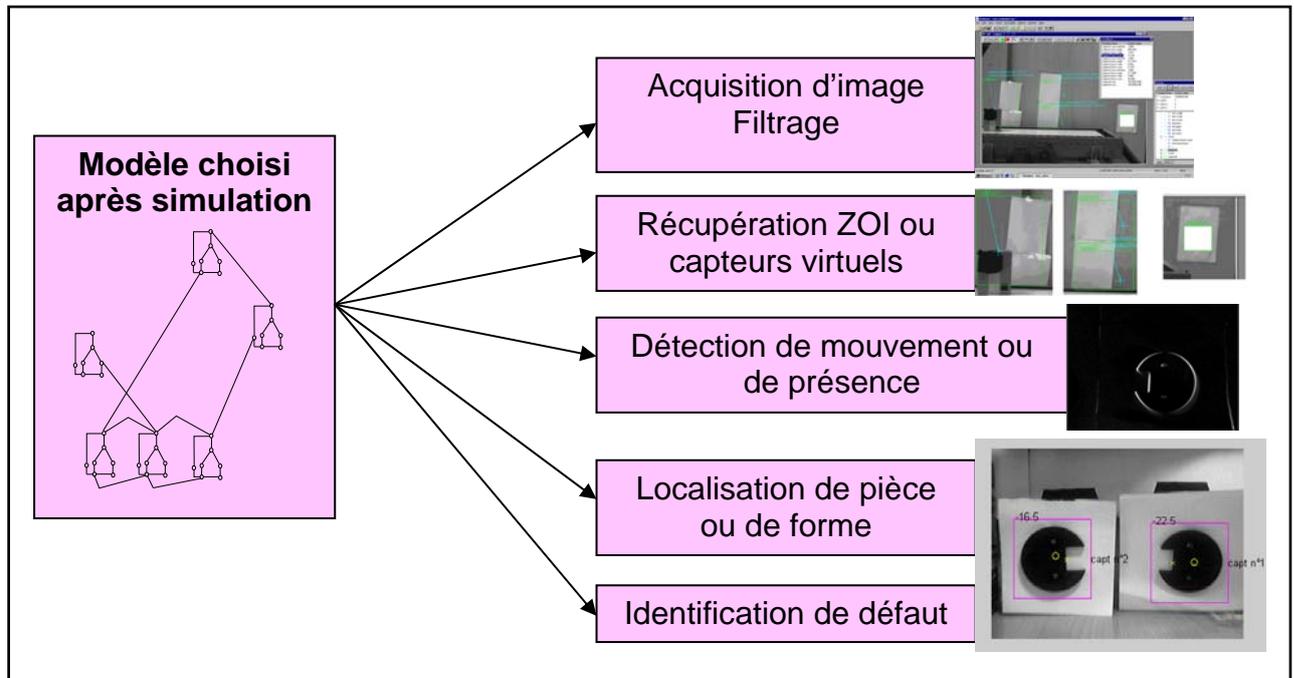


Figure.25 Architecture logiciel, différentes étapes de l'imagerie représentant des macro-étapes

La proposition d'une architecture logicielle permet la mise en place d'un cycle de commande. Comme sera détaillé dans la deuxième partie de ce chapitre.

III.5.2 Proposition d'une structure hiérarchique du système de commande par vision

L'algorithme de commande par vision était détaillé d'une façon fonctionnelle dans le chapitre II, le modèle du système de commande basé sur la vision comporte plusieurs étapes et macros qui sont polyvalents. Ces différentes étapes seront détaillées plus loin dans ce chapitre. Le « modèle maître » gère le déroulement du processus en communiquant des informations avec les macros de traitement d'image, les algorithmes de surveillance et l'état d'avancement du processus.

La figure 26, représente les échanges entre maître/esclaves et l'ordre des macros concernant l'initialisation du système de commande. Les modèles de commande utilisés sont des Grafjets de commande hiérarchiques contenant des macro-étapes et agissant sur d'autres Grafjets grâce à des macro-actions.

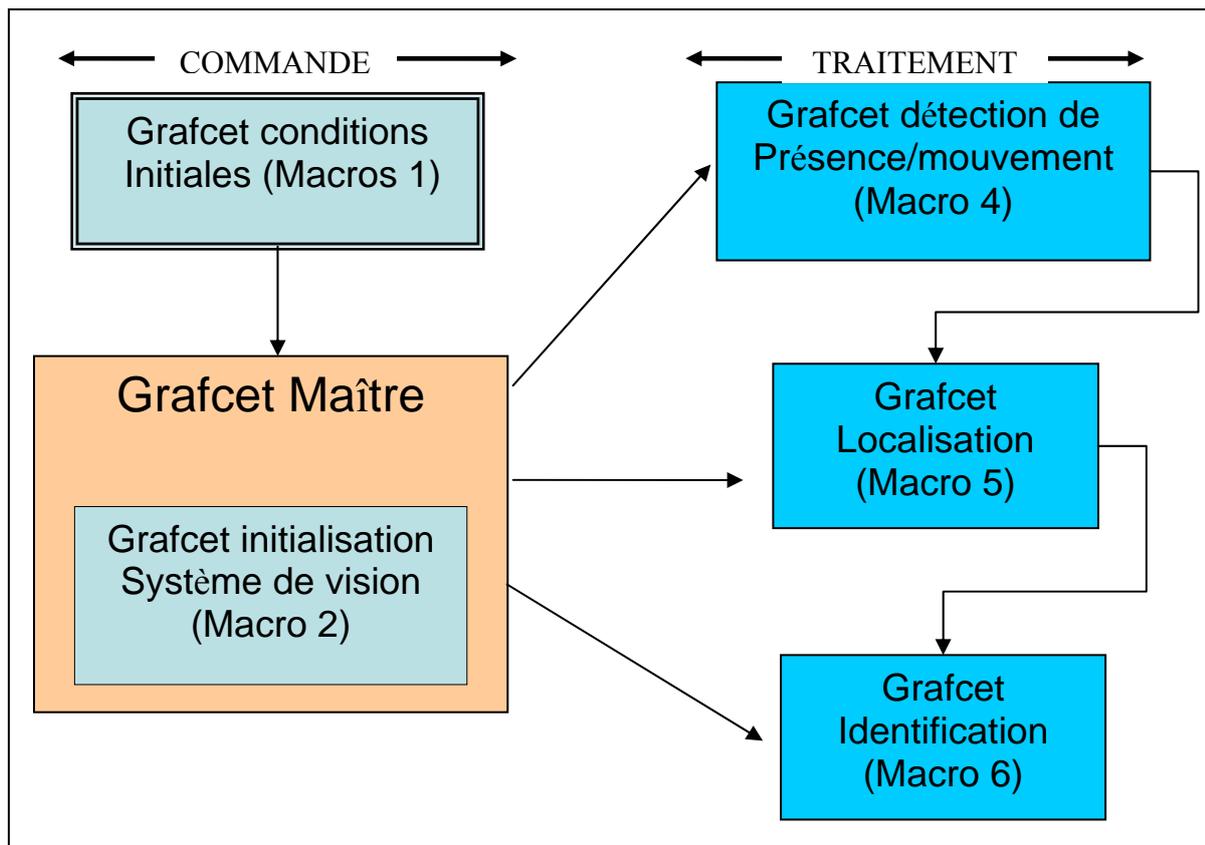


Figure.26 Architecture du Modèle de commande par vision

III.5.3 Évaluation de l'architecture opérationnelle

Pour l'arbre de défaillance du système classique, nous pouvons constater que la fiabilité du système de commande est directement dépendante de l'état de marche de tous les capteurs classiques. Ce qui n'est pas le cas avec le système de commande avec vision où la fiabilité dépend que d'un capteur qui est le système de vision.

L'impact de la défaillance de la vision est divisé par deux en utilisant un système de vision redondant basée sur deux caméras.

Concernant la justification de choix des méthodes appliquées, la redondance permet de gagner beaucoup à ce niveau en minimisant la défaillance et le blocage du système de commande.

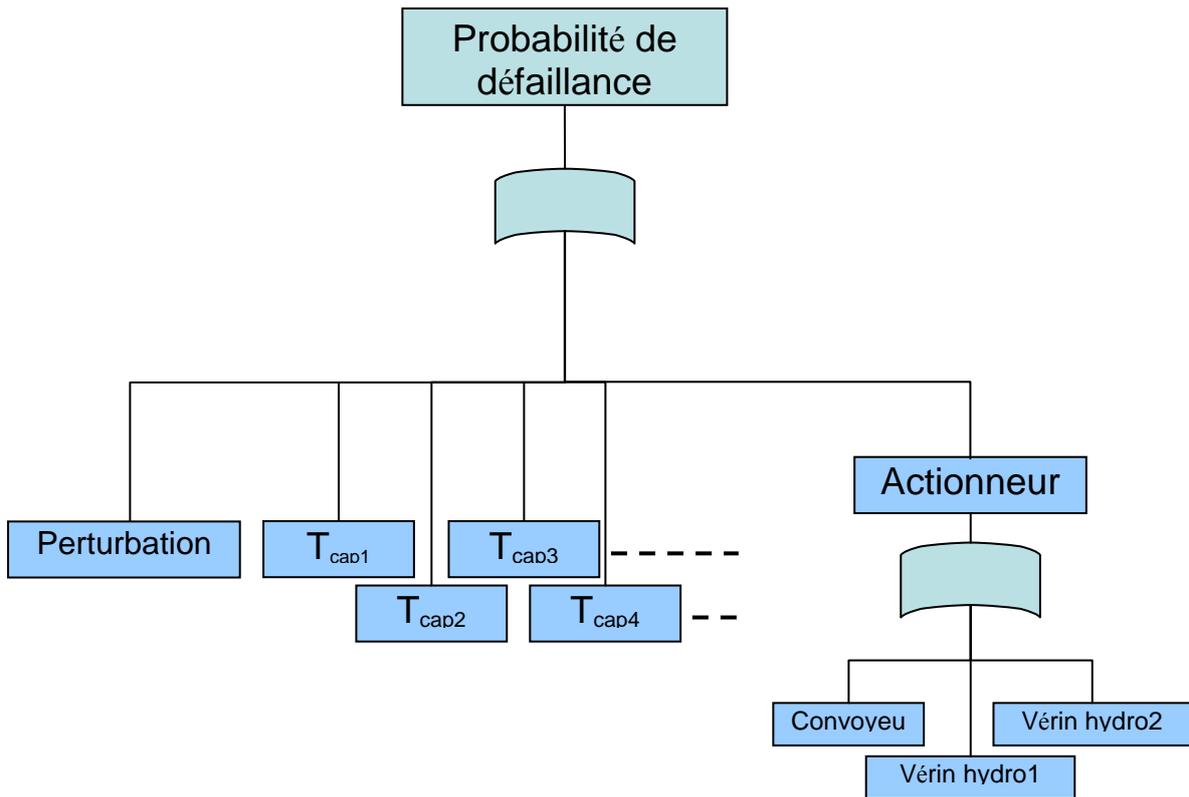


Figure.27 : Arbre de défaillance d'un système de commande basique

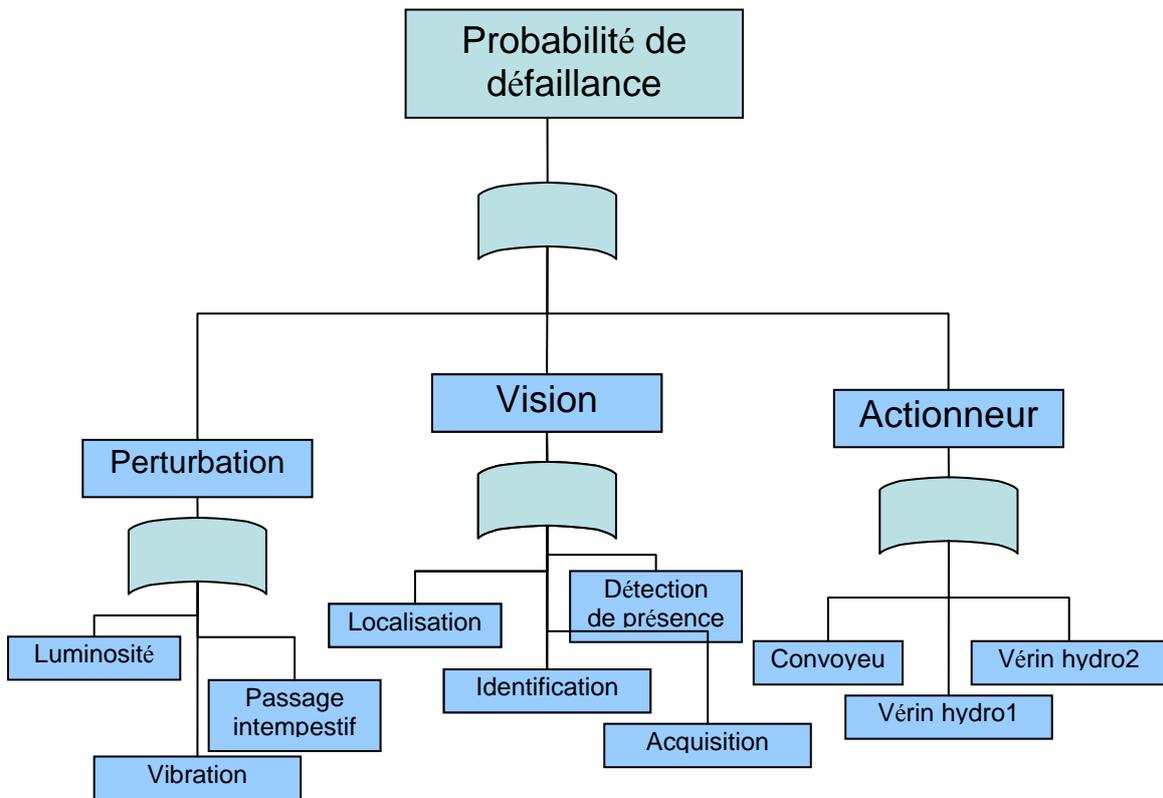


Figure.28 : Arbre de défaillance d'un système de commande avec vision.

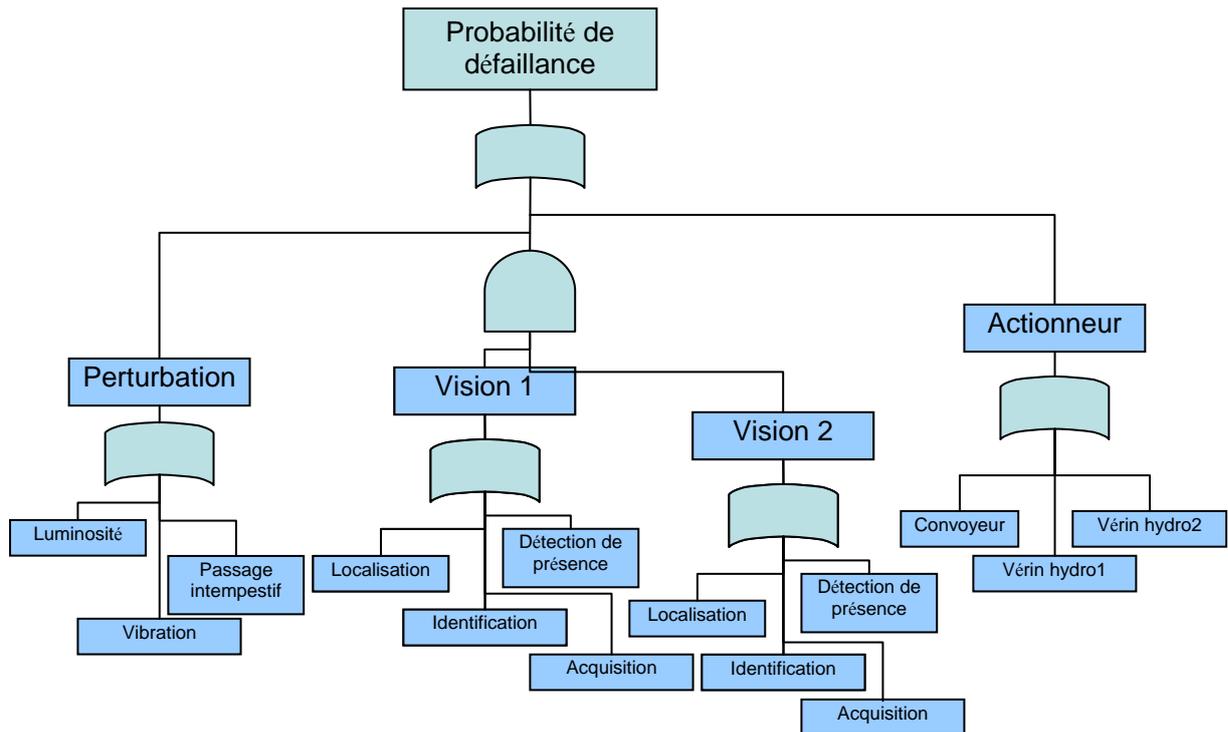


Figure.29 : Arbre de défaillance d'un système de commande avec un système de vision redondant.

Nous pouvons constater que la probabilité de défaillance d'un système de commande utilisant la vision est certainement équivalente ou même plus petite que celle d'un système classique. En effet, la probabilité de défaillance du système est majoritairement affectée par la somme des différentes probabilités de défaillance des capteurs classiques. (P c'est la probabilité de défaillance global, P_{cap} = pour celle des capteurs, P_{per} = pour celle de perturbation, P_{vis} = celle du système de vision)

$$P_{def} = P_{cap} \cdot P_{act} \cdot P_{per}$$

De la même façon, la probabilité de défaillance d'un système de commande avec vision s'écrit :

$$P_{def} = P_{vis} \cdot P_{act} \cdot P_{per}$$

Et enfin, la probabilité de défaillance du système de commande se présente de la façon suivante :

$$P_{def} = P_{vis1} \times P_{vis2} \cdot P_{act} \cdot P_{per}$$

En ajoutant un système de vision redondant, le système de commande devient encore plus compétitif vis-à-vis des systèmes de commande classique ou le système de commande avec un système de vision simple.

III.6 RECAPITULATIFS DES DIFFERENTES ETAPES D'UN SYSTEME DE COMMANDE PAR VISION

En se référant à l'algorithme d'un système de commande, figure 16 dans le chapitre 2, représenté dans la figure 30, cet algorithme s'exécute en boucle, comme un système à temps réel, pour une réactivité instantanée. Nous pouvons préciser que la commande se fait d'une

façon cyclique et asynchrone, en fait la communication entre la commande et la partie opérative se fait à la fin d'un temps de traitement qui n'est pas fixe.

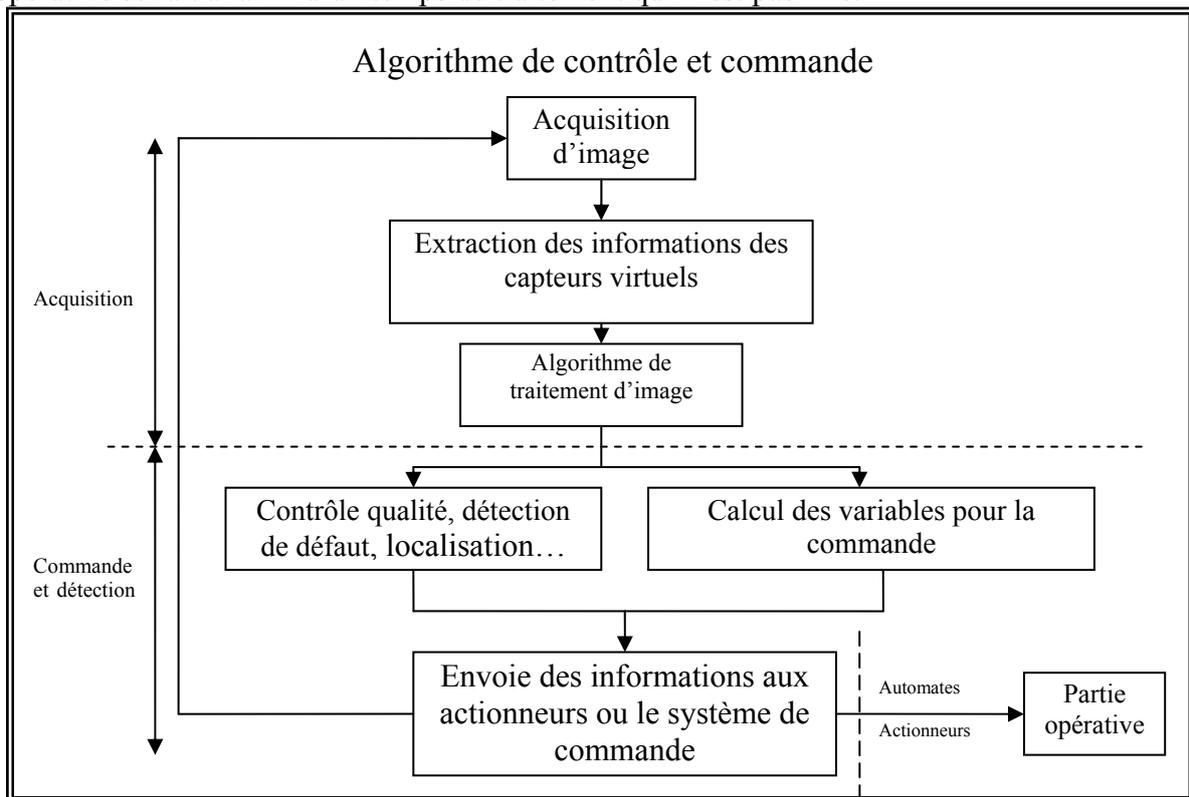


Figure.30 Algorithme d'un système de contrôle et commande par vision

Suivant cet algorithme, une forme de Grafcet se propose. En effet, plusieurs étapes sont répétitifs dans le Grafcet générale ou « modèle maître », alors ils seront regroupés en Grafcet esclave ou macro-étapes. Nous définissons les macro-étapes et les macro-actions comme suit :

1. **Macro-étapes** : Etape construit par un Grafcet indépendant dans le but d'être exécuté une ou plusieurs fois au cours d'un processus représenté par un Grafcet Maître, dans le cas de figure d'un système de commande par vision, les macros étapes sont les esclaves. Ces macro-étapes sont les parties de programme représentant les algorithmes de détection de mouvement ou de présence, la localisation, l'identification.
2. **Macro actions** : Forçage, figeage et masquage, ces trois actions ont pour but de forcer un Grafcet ou une macro-étape à se positionner à une action précise, à bloquer l'exécution de différentes actions, ou le masquage qui n'est pas utilisé fréquemment. Ces actions sont utilisées en cas de dysfonctionnement ou de défaut, etc. d'une partie du processus
3. **Maître et esclaves d'un système intégrant la vision** : Cette partie représente d'une part, un exemple pratique et complet de l'implantation d'un système de vision dans un système de commande. D'autre part l'impact de la vision sur un grafcet de commande et l'apport fonctionnel sur ce processus.

III.6.1 Grafcet Maître d'un système classique

Un système de production, basé sur les capteurs classiques et les équipements de commande, sera très primaire par rapport aux technologies embarquées et la vision industrielle. En effet un système de production classique aura la capacité de la commande sans aucune notion de supervision ou autre.

Voici le modèle de commande de base dans la figure 31 (ce modèle est détaillé dans le paragraphe II.3.1), représentant un système de commande avec les capteurs classiques comme ceux de présence, position de vannes de tri (dans le cas de cet exemple).

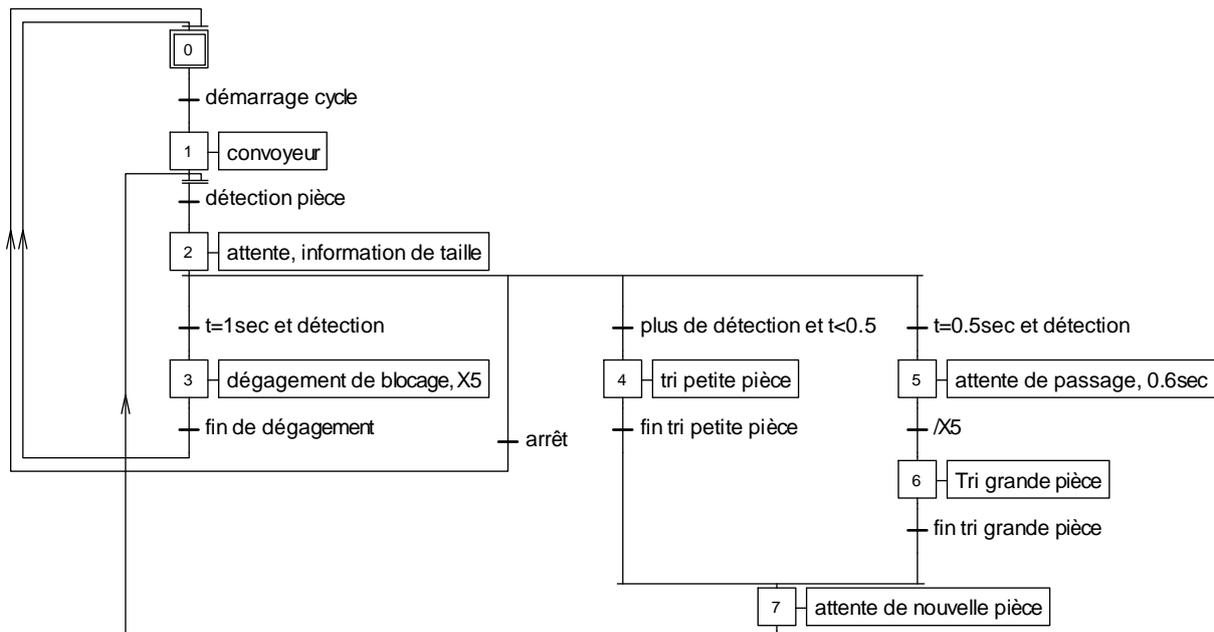


Figure.31 Grafcet d'un système classique

III.6.2 Grafcet maître d'un système avec vision :

Ce Grafcet maître fait appel à plusieurs macro étapes ou Grafcet esclaves, la complexité de ce Grafcet par rapport au Grafcet classique vient du fait que la mise en service et l'apprentissage du système de vision sont une partie intégrante du processus. En effet, la mise en service et l'apprentissage remplace l'installation matériel des capteurs classiques et qui ne font pas partie du processus de commande alors que l'initialisation du système de vision et l'étape d'apprentissage sont deux étapes purement logiciels. Ce qui implique la réalisation d'un outil de configuration ou IHM pour faciliter cette tâche à l'utilisateur. (Figure 32)

Ce Grafcet maître comprend les différentes étapes de mise en œuvre et l'apprentissage du système de vision qui n'ont jamais fait partie des systèmes de commande dans le monde industrielle mais la partie complémentaire. La vision était toujours une partie indépendante utilisée pour un poste de contrôle qualité par exemple.

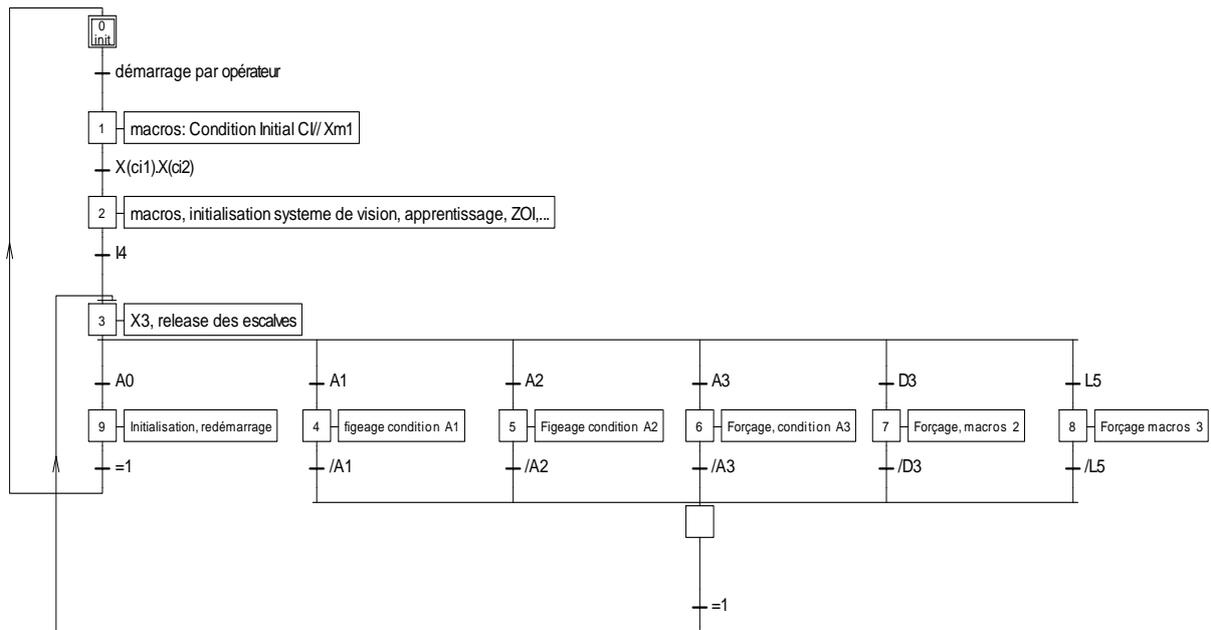


Figure.32 Maître d'un Grafcet avec vision intégrée

Le Grafcet maître est le noyau du processus de commande. Dans un système classique, les autres macros comme la surveillance et la sécurité sont indépendants ou dépendant mais partiellement. Avec le système de vision, le Grafcet maître se complète avec les macros de vision pour former un système de commande complet, solide et sûr.

III.6.3 Conditions initiales :

Cette macro est la partie d'initialisation du système de commande. L'initialisation consiste à un test général du processus, la luminosité pour le système de vision, condition de sécurité et environnement. (Figure 33)

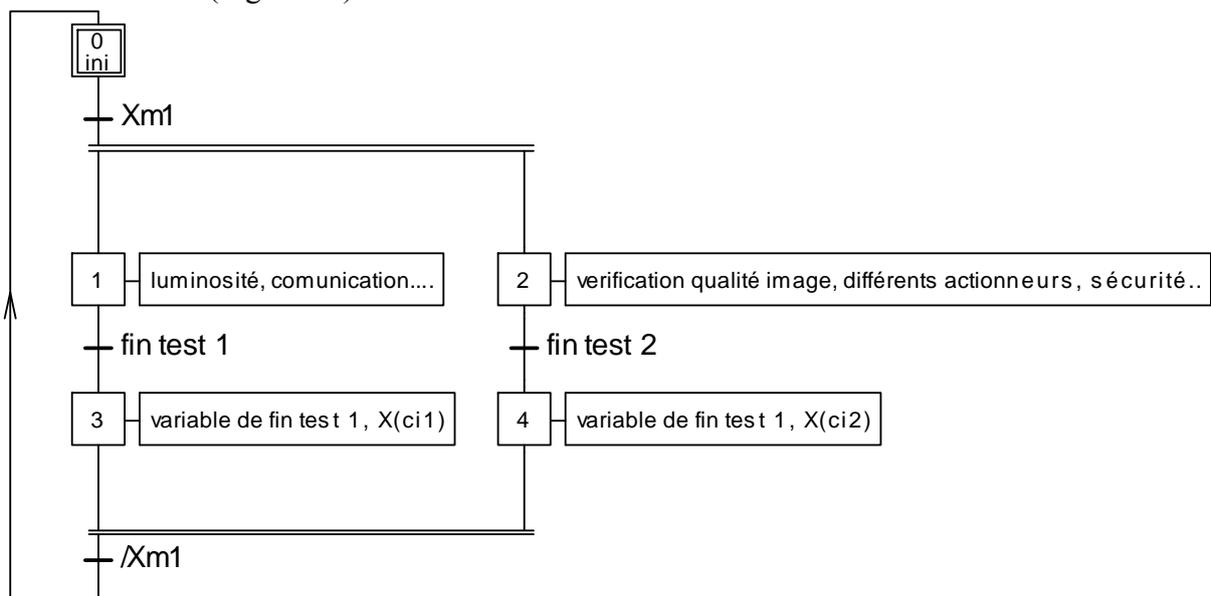


Figure.33 Esclave 1, tâche initialisation et test

III.6.4 Initialisation de système de vision

Cette étape est définie pour la mise en place du système de vision et l'apprentissage pour améliorer la précision des algorithmes de traitement d'image. Le positionnement du système de vision et le choix des zones d'intérêt ou capteurs virtuels est une partie sensible. Cette macro est le pilier de la sûreté du système de commande. La partie apprentissage validera le choix de position et des zones d'intérêt. (Figure 34)

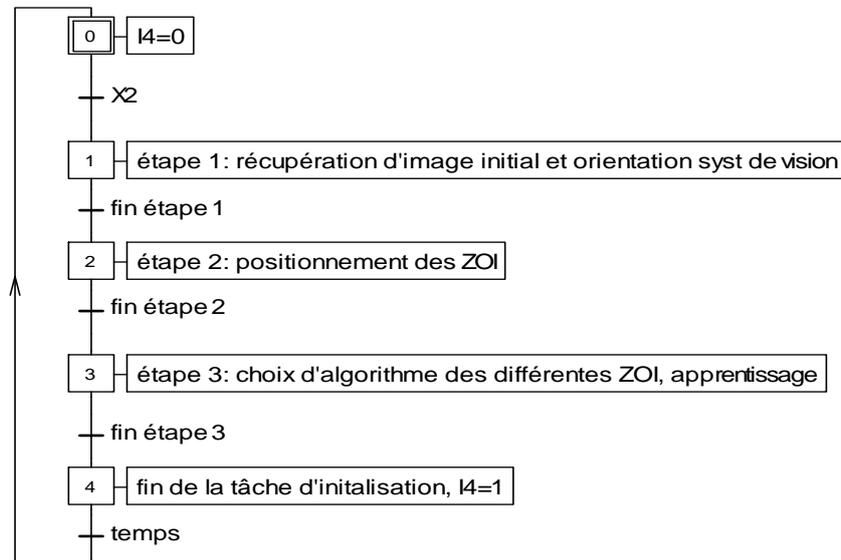


Figure.34 Esclave 2, initialisation et apprentissage du système de vision

III.6.5 Surveillance

Cette macro se résume à l'état de l'acquisition d'image et la surveillance en temps réel à l'aide de la vision, l'information à propos des différents actionneurs, pour l'exécution de l'algorithme dans des conditions satisfaisantes. (Figure 35)

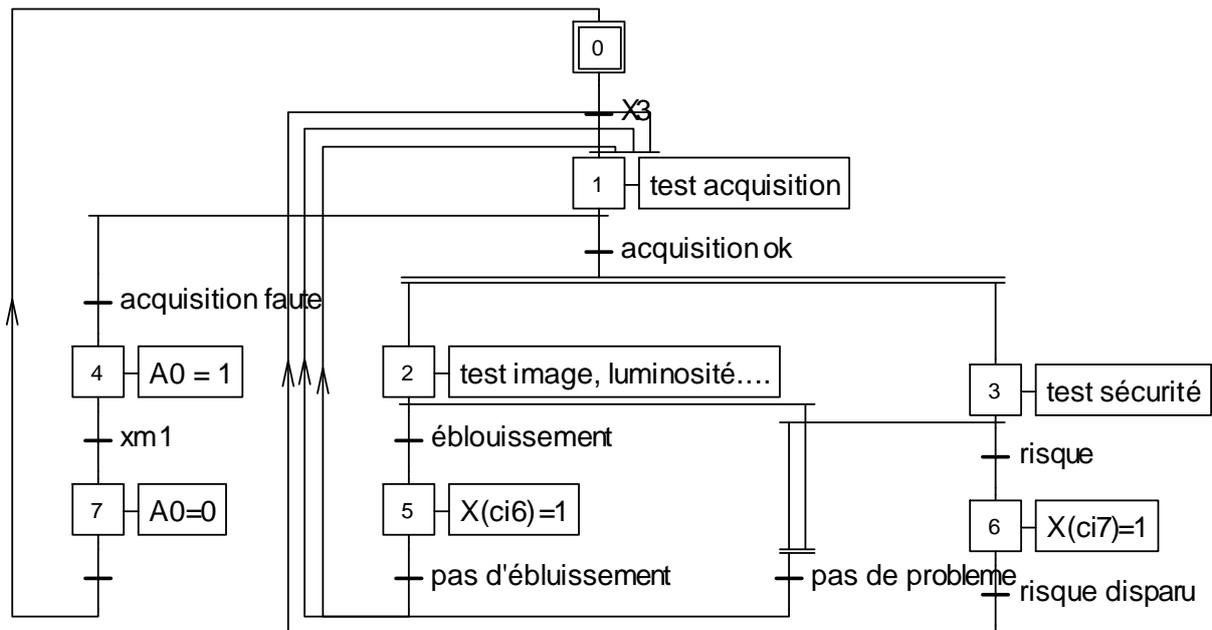


Figure.35 Esclave 3, surveillance et sûreté de fonctionnement

III.6.6 Détection :

C'est l'algorithme concernant la détection de mouvement ou de présence dans les ZOI ou capteurs virtuels. (Figure 36)

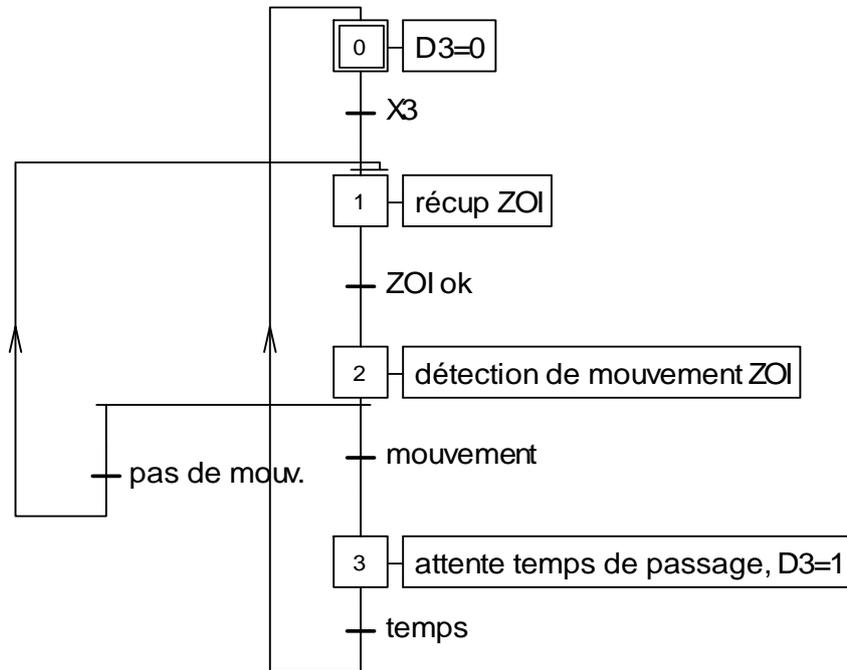


Figure.36 Esclave 4, Grafset de détection de mouvement ou de présence

III.6.7 Localisation :

Cette macro est un algorithme de localisation d'une classe d'objet prédéfinie dans la partie apprentissage de la partie CI. Cette macro peut être appelée pour certains ZOI ou capteurs virtuels. (Figure 37)

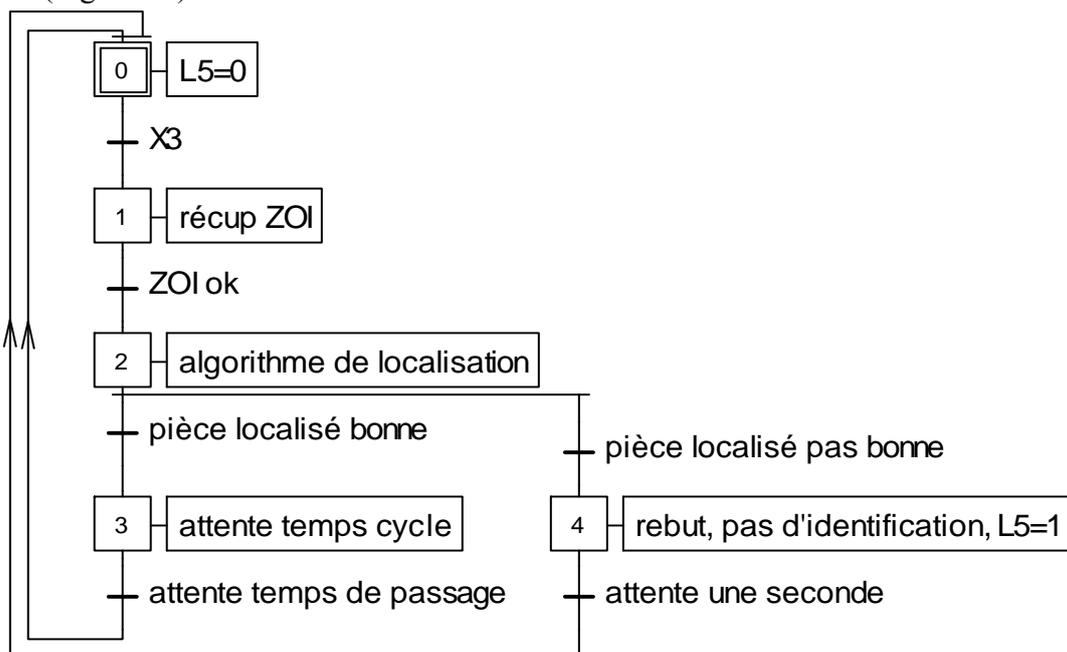


Figure.37 Esclave 5, tâche de localisation

III.6.8 Identification

C'est l'algorithme d'identification de défaut ou de forme, cette partie a pour but de minimiser les pertes des pièces qui seront sûrement en rebut. Normalement, cet algorithme dépend de la macro de localisation. Si le résultat de la localisation est positif cet algorithme s'exécutera. D'autre combinaison d'exécution est possible, lié l'identification à la capture de mouvement ou de présence, etc. (Figure 38)

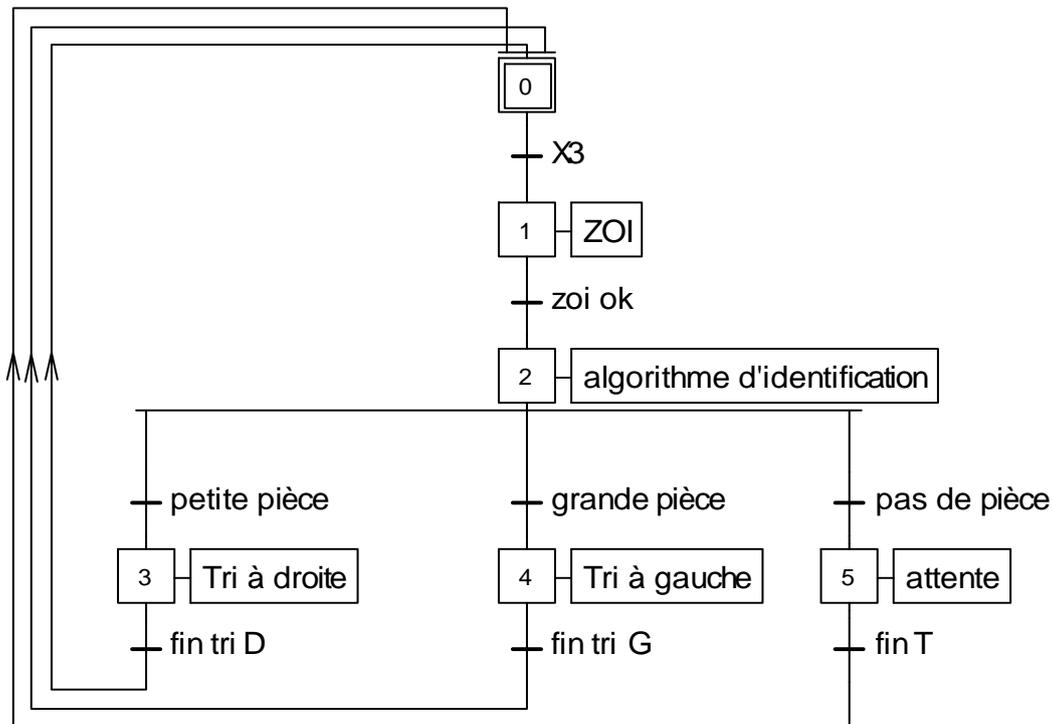


Figure.38 Esclave 6, identification de défaut

III.7 PUISSANCE DU SYSTEME DE VISION

Il est évident que l'usage de la vision, rend complexe l'architecture de programmation, mais sans doute améliore la qualité d'information fournit à la partie commande. Voici les différents points que la vision peut mettre en avant en l'intégrant dans un système de commande classique.

1. Temps de cycle : avec le système de vision, le processus de commande est réactif et peut avoir une grande vitesse de traitement.
2. Économie au niveau du coût de l'installation qui intègre le système de commande et la surveillance/ détection.
3. Limitations des rebuts, en effet à l'aide de la vision, le contrôle des défauts permettent une limitation des pertes. Les pertes consistent aux couts d'industrialisation des pièces défectueuses et le prix des pièces ajoutées ou montées sur une pièce défectueuse
4. Richesse en choix algorithmique, le Grafcet est devenu plus complexe mais en même temps comporte beaucoup plus de possibilités pour la surveillance ou autres extensions.

5. Le remplacement des capteurs classiques par un seul capteur, le système de vision. Toutes les actions dans les Grafcet sont acquittées par le système de vision (capteurs virtuels) à la place des états des capteurs classiques.

III.8 APPLICATION : SIMULATION SUR UN SYSTEME DE TRI, ARCHITECTURE ET RESULTATS

L'application testée est un système de tri basique, au sein de SERPAC industries à Lyon. Les détails de cette application sont dans le chapitre applications industrielles. La même application était testée à l'aide de deux équipements différents, le premier est constitué d'une webcam et de Matlab, le deuxième équipement est basé sur un équipement de vision Imasys.

Une économie de temps de montage et de réglage est constatée. Avec le premier équipement, une faible réactivité est remarquée. En effet, la webcam n'est pas un équipement dédié à l'acquisition et le traitement d'image. Pour le deuxième équipement, la réactivité est beaucoup plus importante, sachant que l'équipement est d'une qualité moyenne. Malgré cela, la réactivité de ce système est de l'ordre de 10 images par seconde.

Les essais sont convaincants avec un temps de réactivité allant à 100ms avec le système Imasys, appliquant des algorithmes de reconnaissance de forme et détection de mouvement. L'impact de l'usage d'un système de vision à technologie embarquée peut être enrichissant pour la fiabilité et la sûreté de l'installation. Un système de vision forme aussi un outil de détection d'information pour la politique de maintenance. En effet, pour la détection d'usure ou pour une déformation de type visuelle, un système de production doit avoir un système de vision.

Le Grafcet d'un système de production basique n'intègre pas la surveillance et la maintenance. Un système intégrant la vision peut respecter le même cahier des charges pour la commande d'un même système de production.

L'action de remplacement des différents capteurs classiques par un système de vision approuve une amélioration attendue dans le cadre de la qualité de l'information. Par ailleurs, l'impact fonctionnel ne se manifeste que pendant le fonctionnement normal du processus. En effet l'impact au niveau de la maintenance, la surveillance et la sécurité, permet l'isolation des problèmes à résoudre.

L'entretien de moins de matériel minimise aussi le coût d'entretien et la probabilité de défaillance.

La réactivité d'un système de vision est variable suivant la qualité de l'équipement mais reste d'une façon générale fiable et très modulable, avec des systèmes sûrs et des temps d'acquisition qui peut avoisiner les quelques millisecondes. En fait, les systèmes de vision avec des technologies embarqués, comme ceux proposés par cognex, peuvent donner des résultats assez convaincants, suivant leur fiche technique, ils ont des systèmes de traitement qui vont jusqu'à 100 images /secondes.

III.8.1 Influence du nombre de capteurs virtuels dans la vitesse de traitement.

Le système de vision s'intègre facilement dans un système de commande sans être un problème de taille pour le processus ou la maintenance. Le système de vision rapporte une

stabilité et une efficacité pour les deux critères les plus importants, la qualité et le coût du processus.

Concernant la comparaison de traitement, le temps de réactivité du système de vision pour l'application de Tri peut être compétitif par rapport à un système basique. En effet, avec un équipement de vision primaire et non dédié à l'industrie, la vitesse de traitement reste acceptable. (Figure 39)

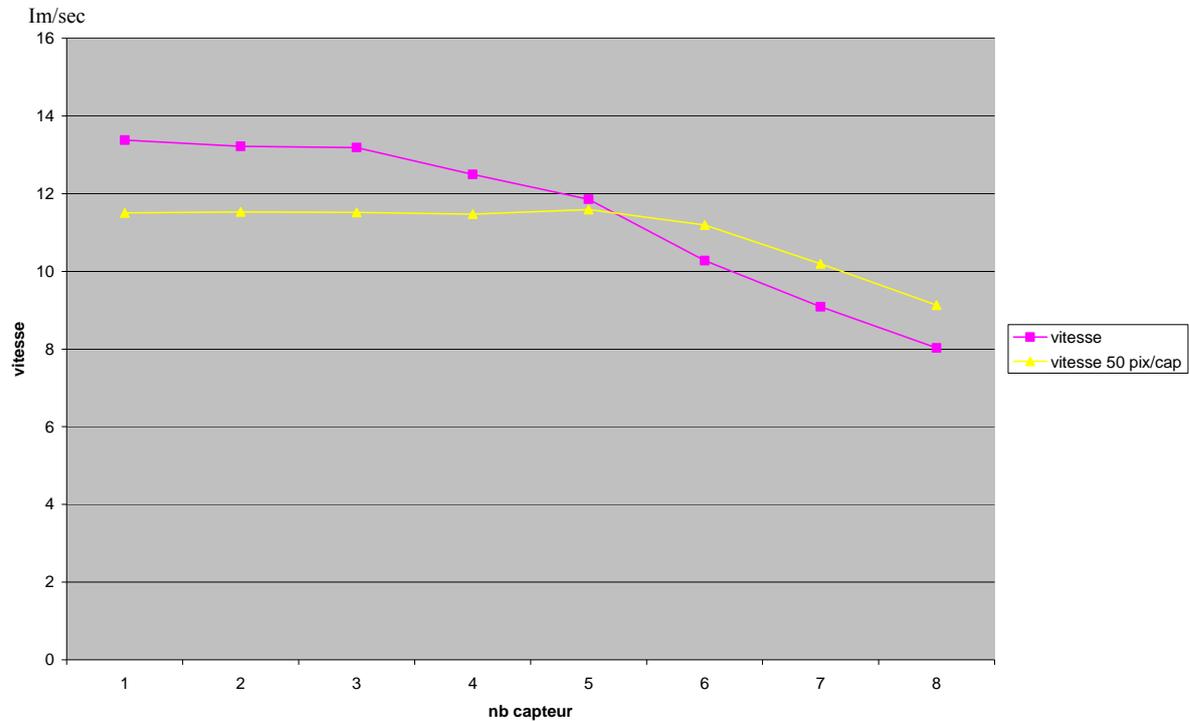


Figure.39 Vitesse de traitement d'image en fonction du nombre de ZOI

Dans la figure ci-dessus, deux graphes représentant la vitesse de traitement d'image en fonction d'un nombre de capteur précis. La vitesse de traitement d'image varie, selon le nombre de capteur virtuel dans l'image mais aussi suivant la taille de la ZOI. Dans le graphe mauve, la vitesse varie entre 8 et 13 images par seconde. Pour des capteurs virtuels de plus grande taille (taille en nombre de pixels des ZOI), dans le graphe en jaune, la vitesse varie entre 9 et 11,5 images par seconde.

La sûreté du nouveau système est assurée avec des algorithmes de localisation et d'identification assez précis. Le système de vision devient moins réactif en augmentant le nombre de ZOI et en choisissant des algorithmes complexes de traitement. En effet, le choix d'algorithme complexe veut dire combinaison de plusieurs filtres et donc une série d'algorithme qui se cumule aux temps d'exécution.

Généralement les systèmes classiques sont des systèmes à réactivité moyenne qui convient parfaitement à la réactivité des systèmes de vision. Les systèmes automatisés même ayant besoin de temps de réactivité assez important reste de l'ordre de 100 millisecondes. Ce temps de réactivité est le temps retrouvé pendant les essais chez SERPAC industries représentés dans le chapitre « Applications industrielles ».

III.9 CONCLUSION

Ce chapitre démontre que la vision s'intègre facilement dans le Grafcet d'un processus industriel. Par ailleurs, ce chapitre valide l'intégration réussie du matériel de vision et des algorithmes de traitement d'image dans le processus de commande.

Ce chapitre dégage des points positifs cités ci-dessous :

1. Système de commande par vision englobe le système de commande classique mais l'améliore aussi. En effet, un système de vision peut remplacer certains capteurs classiques. La vision intègre le système de commande et le complète en fournissant des informations importantes à la surveillance, sécurité et la maintenance.
2. Le système de Grafcet par vision permet l'extension ou la modification par une simple affectation d'un algorithme à un capteur virtuel (équivalent aux changements des algorithmes pour une ZOI).
3. le remplacement d'acquiescement des actions par l'état des capteurs virtuels remplaçant les capteurs classiques est plus fiable.
4. un système de vision permet la mise au point d'une politique de surveillance assez étendue. Par ailleurs, un système de vision permet d'augmenter la sûreté de fonctionnement du processus, la possibilité d'étendre la politique de maintenance et la sécurité.

Le chapitre de traitement d'image démontre l'efficacité des algorithmes même étant simple. A l'aide des algorithmes de traitement d'image et de l'architecture de programme proposée dans ce chapitre, les applications et simulations dans les chapitres suivants mettront en évidence la sûreté de ces méthodes.

Chapitre IV- Développement d'algorithmes robustes pour le traitement d'image et commande

Ce chapitre concerne la partie traitement d'images de la thèse. Différents algorithmes pour la détection de mouvements et de défauts ont été étudiés. Les performances attendues des algorithmes de traitement résident au niveau du temps de réponse (pour la réactivité de la commande) et de la robustesse face au changement de luminosité (pour la précision de l'image).

Une étude comparative des performances de chacun a été réalisée. Une proposition d'algorithme de commande par vision est proposée. Par ailleurs, les algorithmes de traitement d'image augmentant la robustesse et l'efficacité de la commande sont mises en œuvre. Les algorithmes de traitement d'image sont des suggestions qui servent pour des simulations sur un prototype et ne sont pas d'une très grande qualité vis-à-vis des algorithmes de vision industrielle.

IV.1 PRINCIPE GENERAL DE LA METHODE

Le principe général du contrôle et de la commande par vision est présenté dans la figure 40. Il s'agit d'un cycle de traitement, allant de l'acquisition des données au traitement de l'image pour la commande. La détection des défauts dans l'image permettra une évolution plus avancée de la commande.

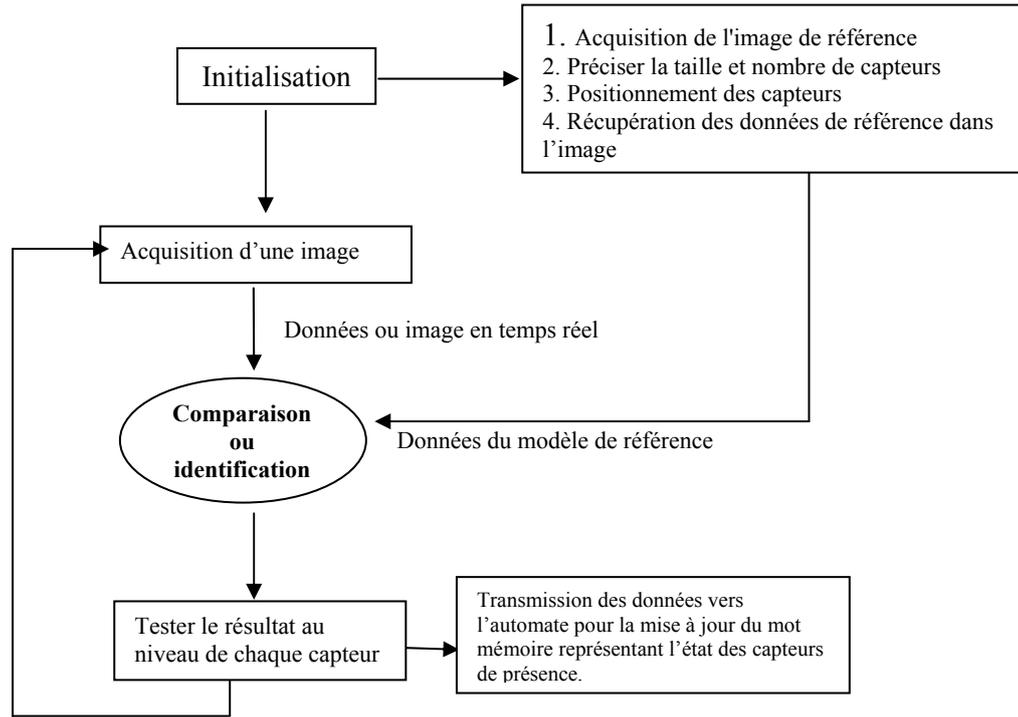


Figure.40 : Les différentes étapes à suivre pour un cycle de traitement

Une fois l'étape d'initialisation est terminée, des données représentant un modèle de référence est exploité. Le modèle peut être une zone initiale des capteurs virtuels (pour la détection de présence ou de mouvement). D'autre modèle qui représentent un ou différents contours de pièces à rechercher ou à reconnaître dans les zones d'intérêt sont à prévoir. En effet, le principe général de cette méthode est basé sur la comparaison d'une image ou d'un modèle type de référence et l'image ou les zones d'intérêt récupérées en temps réel.

Pour la détection de mouvement, l'image couleur sera transformée en une image de niveau de gris, un algorithme de traitement sera appliqué. Deux types de traitement se succèdent pour les différentes applications, l'un est basé sur le traitement d'image à partir du niveau de gris, l'autre est basé sur les images couleurs et ce dans le cadre de l'identification des défauts à partir de la couleur.

IV.2 ANALYSE DE L'EXISTANT

Une image est une projection d'une scène tridimensionnelle dans un plan bidimensionnel. Pour chaque zone d'intérêt ou capteur virtuel placé, l'information provenant de l'image peut être à niveaux de gris (une bande) ou multi-spectrale (plusieurs bandes) [ref. 1]

Dans le cas des images à niveaux de gris, des phénomènes physiques (mouvement, vitesse et accélération), géométriques (forme des pièces) et photométriques (changement de couleur) dans la scène, engendrent des variations au niveau de gris dans l'image. Pour retrouver et bien localiser ces variations, un algorithme appelé détection de contour est mis en place. Il existe plusieurs types de contours dont les marches, les lignes et les jonctions. Les contours de type marche (figure 41.a) ont fait l'objet de nombreuses études, et plusieurs détecteurs ont été proposés. Une classe importante de détecteurs de contours est celle comportant le calcul des dérivées de l'image.

Les contours de type marche sont détectés aux maxima de la valeur absolue de la première dérivée (figure 41.b) ou aux passages par zéro de la seconde dérivée (figure 41.c). En deux dimensions, la première dérivée se traduit par le gradient et la deuxième par le Laplacien ou la deuxième dérivée directionnelle dans la direction du gradient. Dans le cas des images multi spectrales, les contours sont cependant moins bien définis.

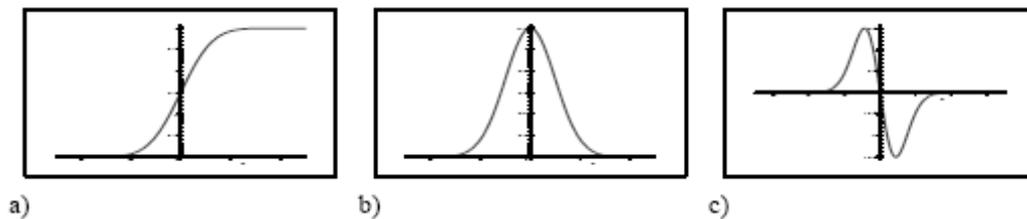


Figure.41 Différents graphes représentant le contour 'a', la première dérivée 'b' et la seconde dérivée 'c'

Il existe un détecteur gradient multi-spectral ainsi qu'une deuxième dérivée directionnelle, mais aucun Laplacien n'a encore été défini. Ainsi, dans un premier temps, nous développons un tel opérateur Laplacien à l'aide des définitions présentées dans l'article de Cumani [ref. 7].

Cumani définit un opérateur du second ordre basé sur la dérivée directionnelle (dans la direction du gradient) d'une fonction de contraste calculée à partir de plusieurs bandes. Plus récemment, Drewniok, qui s'est basé sur les travaux de Cumani et Di Zenzo, a montré comment étendre le concept de gradient à une image multispectrale. Ce détecteur est applicable à des images contenant un nombre arbitraire de bandes sous deux conditions, la première étant que les informations dans les différentes bandes doivent être corrélées et la deuxième étant que le niveau de bruit doit y être équivalent.

En se basant sur la définition de la fonction de contraste de Cumani, il est utilisé un opérateur Laplacien multi-spectral. Mentionnons que le Laplacien, montre des propriétés utiles dans la détection de certains types de jonctions [ref. 1]. L'identification de contour à partir des images en couleurs était étudiée par Wesolkowski S. [ref. 35]. Il utilise la linéarisation entre les trois plans couleur pour l'identification de contour, ce qui différencie chaque couleur existante dans l'image et par ailleurs le contour de chacune des textures ou couleurs existantes dans l'image. (voir figure 42 et 43)

Concernant les images de textures, il n'existe, à notre connaissance, aucun détecteur de contours de texture basé sur les images des moments supérieurs, même dans les méthodes les plus simples. Nous proposons alors un algorithme pour la détection de contours de texture basé sur les moments de l'image.

Le choix algorithmique de détection de contour est une matrice gaussienne qui est un filtre formé par une répartition de point bidimensionnelle, conseillée par différents chercheurs du domaine comme DiZenzo 1986, Cumani 1991, Lee 1991 ou N. Malpica 2003, a pour but d'identifier des détails spécifiques en négligeant le reste d'information parmi lesquelles se trouve le bruit ambiant. Ainsi dans le cadre de mon travail, j'ai pu élaborer un algorithme spécifique de détection de contour basé sur une gaussienne bidimensionnelle avec lequel nous pouvons identifier les détails voulus dans une image à niveau de gris. (voir paragraphe VI.3.2 détection de contour pour des résultats)

Dans mon travail, la détection de contour est appliquée sur des images de niveau de gris. Plus loin dans ce chapitre, le choix d'une gaussienne multispectrale aurait été judicieux mais l'algorithme serait toujours à la merci du changement de luminosité. Pour cela l'algorithme d'identification de défaut suivant la couleur utilise d'autres techniques.

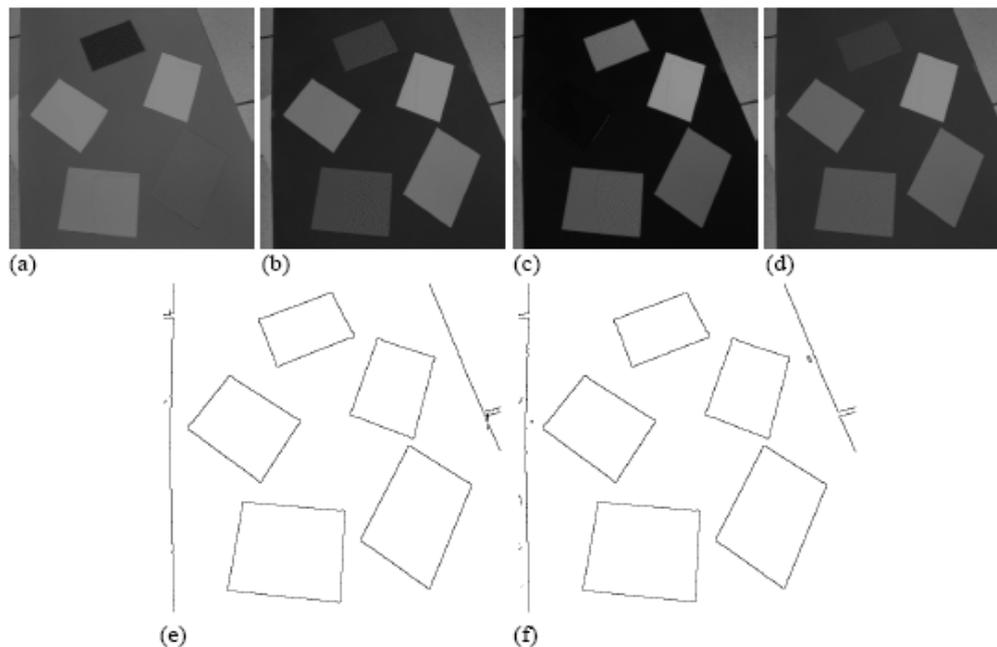


Figure.42 Image réelle (INRIA-Syntim c, copyright). (a) Bande rouge. (b) Bande verte. (c) Bande bleue. (d) Image d'intensité. (e) Contours de l'image couleur obtenus par le Laplacien multispectral ($\sigma=3$). (f) Contours de l'image d'intensité obtenus par le Laplacien sur l'image 2d ($\sigma=3$).

Le calibrage du filtre gaussien aura différent résultat de détection de contour en l'appliquant sur un des spectres R, G ou B de l'image. Alors le choix du spectre à traiter aura toute l'importance pour la mise en évidence du contour de pièce recherché (Figure 42). En effet le choix d'un spectre où la couleur de la pièce est favorisé va nous permettre de choisir un algorithme de détection de contour moins gourmand en temps de calcul mais toujours basé sur le filtre gaussien. En autre terme nous favorisons un filtre gaussien basé sur le spectre sélectif qui favorise la pièce recherchée.

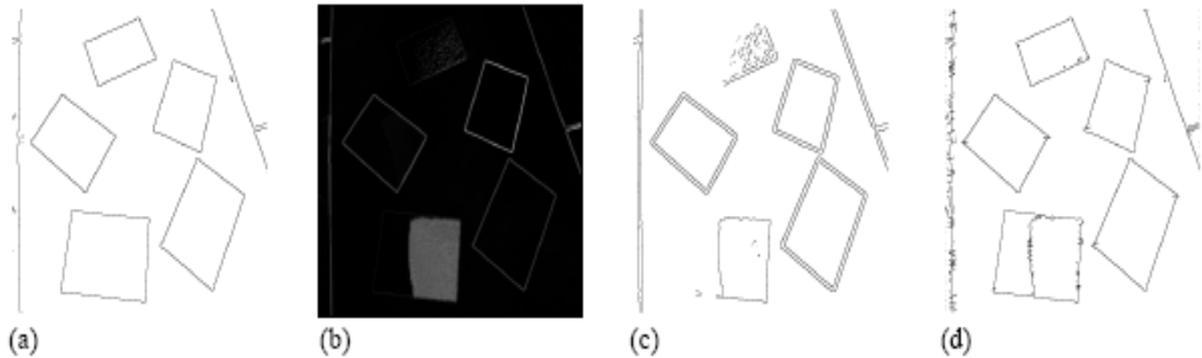


Figure.43 Image réelle (INRIA-Syntim c, copyright). (a) Contours de l'image 3b obtenus par le Laplacien de la Gaussienne ($\sigma = 3$). (b) Image de variance de 3b ($\sigma_m = 1$). (c) Contours de l'image de variance obtenus par le Laplacien de la Gaussienne ($\sigma_{d1} = 2.83$). (d) Contours de L'image originale et de l'image de variance obtenus par le Laplacien multispectral (non-corrigé) ($\sigma_{d1} = 3$ et $\sigma_{dm} = 2.83$).

Où σ_{d1} est l'échelle utilisée pour calculer les dérivées de l'intensité, σ_m est l'échelle utilisée pour le calcul du moment et σ_{dm} est l'échelle utilisée pour calculer les dérivées du moment.

En effet, dans la figure 43, avec les différentes valeurs du filtre Laplacien gaussien appliqué sur différents spectres, l'algorithme de détection de contour fait ressortir les différents contours des zones qui sont de couleurs différentes sauf que pour un résultat parfait et pour faire ressortir tous les détails apparents dans l'image principale, l'algorithme est basé sur les différents spectres traités. D'où la notion multispectrale qui combine les résultats de détection de contour de plusieurs spectres rouge, vert et bleu.

Le fait d'appliqué l'algorithme sur les différents spectre permettra de définir le meilleur spectre à utiliser pour faire ressortir les critères recherchés dans l'image ou la combinaison de certains pour une meilleure précision. Le choix de l'algorithme de détection de contour sera alors mise au point en fonction de ces essais. Pour les deux méthodes de détection de contour, la première concerne la reconnaissance de forme alors l'algorithme de détection de contour est ainsi défini pour isoler les contours des pièces en question.

Un autre intérêt de cette méthode, la détection de contour concerne la localisation du mouvement qui est calculé à partir d'un différentiel simple entre deux images distantes dans le temps. Dans cette méthode la détection de contour consiste à ressortir tous les détails pour bien délimiter les zones où un mouvement a eu lieu.

Le choix de l'algorithme de détection de contour s'oriente vers le filtre de Canny qui est basé sur un filtre gaussien modulable. Ce filtre représente une gaussienne bidimensionnelle avec un seul caractéristique qui précise la dimension du filtre et sa répartition[ref. 4].

D'autre part l'identification prend une autre tournure avec la vision industriel avec les recherche de Kovesi (1996-2003) [ref. 20] ce type de reconnaissance et d'identification se base sur la localisation de certaines spécificité géométrique comme les coins des pièces.

Des algorithmes dans l'imagerie médicale consistent à détecter le contour des formes aléatoire et avec beaucoup de précision. En effet, ces algorithmes de détection de contour peut délimiter avec précision le contour des os de la main [ref. 8], à savoir que les images sources sont des radiologies alors toujours monochromatiques.

IV.3 METHODOLOGIE PROPOSEE

Cette méthodologie tient compte des contraintes révélées au cours du chapitre 2. En effet, certains problèmes sont identifiés concernant la mise en place d'un système de contrôle et commande par vision.

Les problèmes identifiés sont les suivants :

- ✓ La luminosité : ce problème est un cas général de toute installation industrielle, en plus dans le cadre de mon travail, la vision est encore plus sensible parce que la caméra est placée à une certaine distance de l'installation.
- ✓ Reconnaissance de forme : ce cas de figure a deux intérêts, la première concerne la résolution du problème de passage d'un objet devant la caméra ou dans une zone d'intérêt. La deuxième est de donner la possibilité de reconnaître la forme d'une pièce parmi d'autres dans le champ de la caméra.
- ✓ Généricité de la méthodologie proposée : la solution de ce problème est un acte majeure, en fait chaque installation a son propre cahier de charge et des caractéristiques différentes. La possibilité d'avoir une seule méthodologie qui pourra convenir à toutes les applications industrielles est un vrai challenge. L'application de cette méthode sera quand même limitée au processus de fabrication

Une première partie, consacrée à l'étude du processus est nécessaire. Cette partie comporte l'étude des positions des capteurs classiques, les algorithmes des capteurs virtuels qui peuvent les remplacer et finalement les critères morphologiques des pièces à contrôler.

Ensuite le système de vision est installé de façon à avoir un champ de vision global de l'installation. Dans la figure 44, un organigramme illustre les différentes étapes successives formant ainsi les deux grandes tâches, la première c'est l'étape d'analyse et la deuxième c'est l'application d'algorithme d'identification.

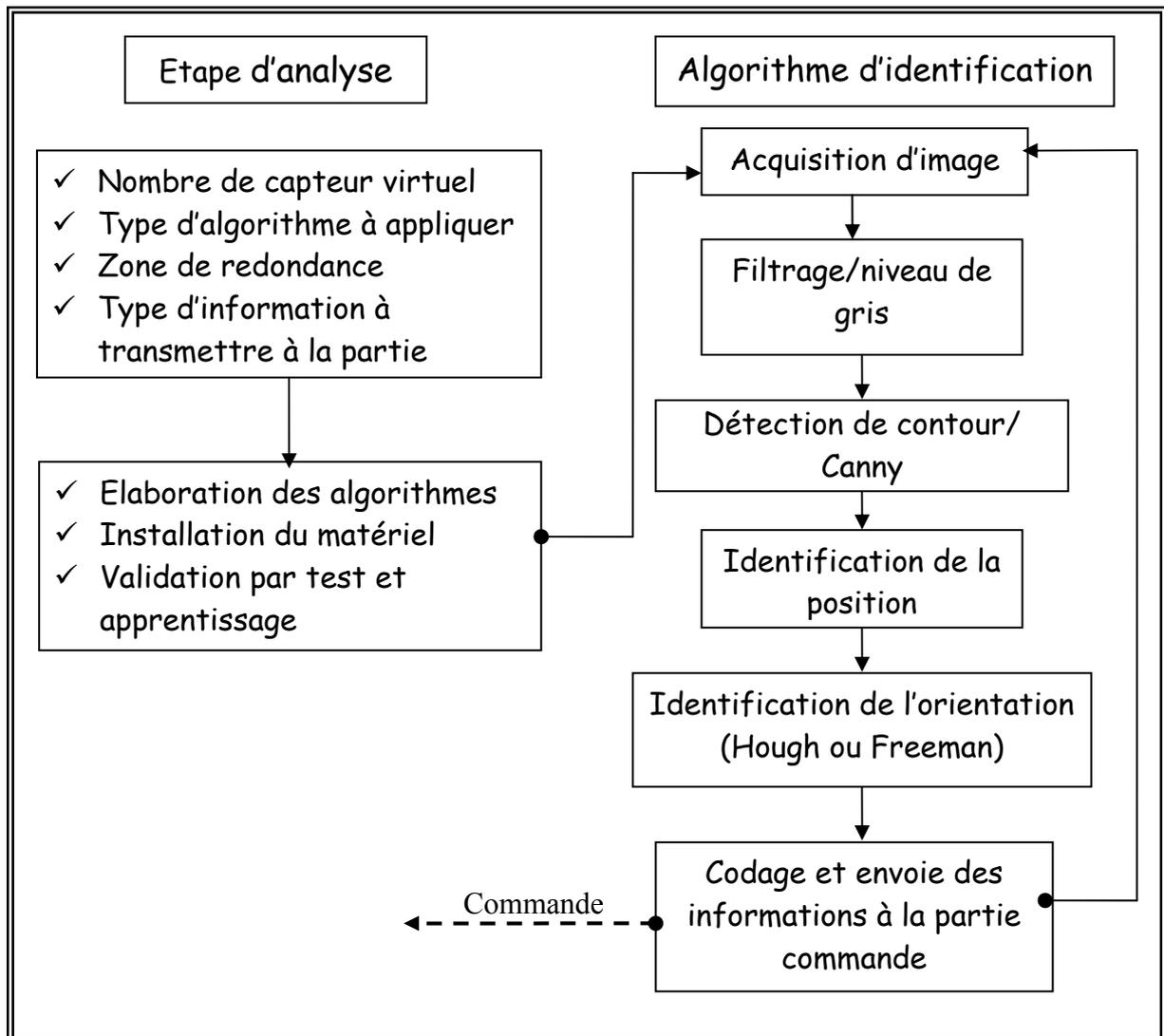


Figure.44 : Organigramme représentant les deux étapes d'analyse et des algorithmes de traitement d'images

Une fois la validation des critères est faite par test et apprentissage, l'algorithme d'identification pourra être utilisé en toute sécurité. Les différentes étapes de cet algorithme peuvent convenir pour une application plus complexe qui est la reconnaissance de forme et l'identification de défaut. En effet les méthodes comme Freeman ou Hough sont utilisés pour les étude morphologique des contours.

Ce degré de complexité est choisi pour que le système soit applicable pour un cahier de charges complexe, comme une luminosité ambiante, sous contraintes de passage du personnel devant la caméra. Les caractéristiques importantes sont, d'une part, la rapidité du temps de traitement pour une réactivité convenable du système de contrôle et d'autre part la possibilité de valider la reconnaissance de forme en se basant sur un algorithme simple.

IV.3.1 Choix de la chrominance et filtrage

Différentes méthodes de traitement d'image sont étudiées durant cette thèse. Les grands constructeurs du système de vision industrielle le fournissent sous forme de boîte noire, avec une interface de programmation.

Les informations concernant les méthodes de traitement d'image restent totalement secrètes. Malgré cela, des méthodes scientifiques basées sur des algorithmes simples sont étudiées dans

le cadre de cette thèse. En effet les algorithmes de traitement d'image concernent plusieurs étapes de cette thèse, ces étapes sont le filtrage, détection de contour, reconnaissance de forme, identification de défaut (suivant la forme ou la couleur).

Concernant la première partie du traitement, le filtrage, différentes possibilités ont été étudiées dans le but d'absorber les perturbations dues à la luminosité et surtout pour garantir la robustesse des algorithmes de reconnaissance de forme et d'identification de défauts.

A partir du choix de l'information acquise par le système de vision, le type de filtrage peut être choisi. La plupart des systèmes de vision industrielle sont des caméras monochromatiques, dans le cas contraire, un choix peut être opéré. A partir des spectres RGB (Rouge, Vert « Green » et Bleu) ou YCbCr (Y = luminosité, Cb = Chrominance bleu, Cr = Chrominance rouge), une seule matrice représentative (R, G, B, Cb ou Cr) peut être choisie ou une combinaison de plusieurs matrices [ref. 27]

Le calcul de la matrice monochromatique, appelé aussi image à niveau de gris, est en quelque sorte un filtre qui servira à diminuer l'influence de la variation de la luminosité. En effet en favorisant un spectre plus que d'autre dans le calcul de l'image à niveau de gris, cela permet la mise au point d'une certaine couleur. (Voir figure 45)



Figure.45 : Image couleur RGB

Image à niveau de gris

Dans les images de la figure 45, l'image à niveau de gris est le résultat d'un calcul typique de changement de résolution d'une représentation RGB en niveau de gris.

$$\text{Image à niveau de gris} = (a.R+b.G+c.B)/3$$

Où a, b et c sont des coefficients correspondant à l'accentuation d'un plan de couleur (Rouge, Vert ou Bleu).

En effet l'amplification d'un plan de couleur par rapport à d'autre permettra de faire ressortir une texture ou couleur dans l'image de niveau de gris qui sert l'intérêt de notre processus et par ailleurs améliore les résultats des algorithmes de détection de contour. [Ref. 30]

Une autre solution est aussi utilisée au cours de cette thèse dans le but de l'identification de défaut (par couleur). Cette solution est basée sur le choix de l'identification d'une couleur préchoisie dans une des matrices de R, G, B, Cb ou Cr.

IV.3.2 Détection de contour

La deuxième étape concerne la détection de contour. A partir de la matrice filtrée, l'application de l'algorithme de détection de contour donnera une image ou matrice où les contours importants sont mis en évidence et sont faciles à identifier.

Plusieurs algorithmes de détection de contour ont été étudiés, différentes méthodes et algorithmes ont été testés jusqu'au choix de la méthode de Canny [ref. 4]. Cette méthode

permet, en contrôlant la répartition ou l'écart type ' σ ' du filtre gaussien et la largeur de la matrice filtre de détection de contour (4x4 ou plus) d'éliminer des impuretés de linéarisation et d'avoir des contours larges des pièces comme le montre la figure 46.

D'autre méthode de détection de contour, comme Laplacien ou Laplacien multi-spectral [ref. 1, 7, 8] et la méthode Harris [ref. 13] sont deux méthodes lourdes en calcul mais pas aussi efficace pour la localisation et l'identification qui sont le cœur de l'algorithme de reconnaissance de forme qui succède à cet algorithme [ref. 27]

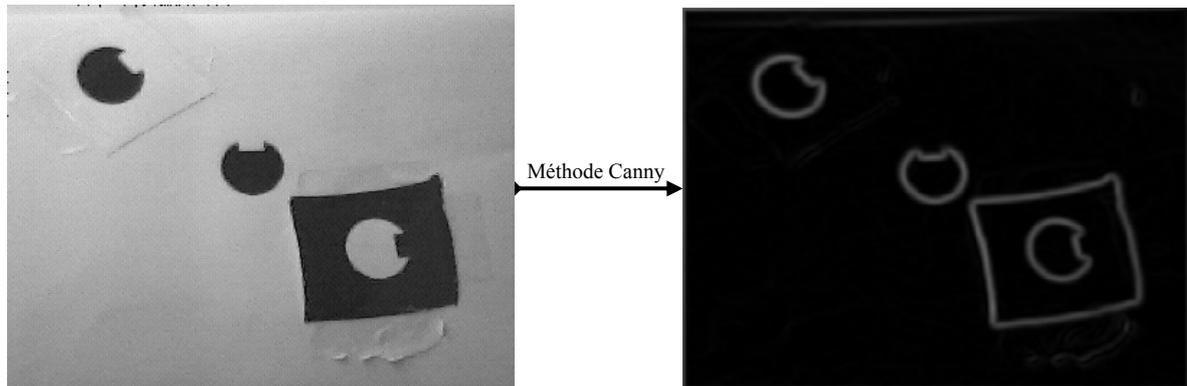


Figure.46 : Détection de contour avec la méthode Canny

Les algorithmes les plus efficaces à ce niveau sont toujours les filtres bidimensionnels. Ces filtres ressortent la globalité des contours existants dans l'image avec une intensité et une largeur bien choisies. Le choix reste très important parce qu'il existe beaucoup d'algorithmes bidimensionnels pour la détection de contour. Normalement, le filtre ou la matrice bidimensionnelle peut prendre des formes géométriques (disque, carré, ellipse...etc), pour ressortir des courbures importantes pour la détection de contour ou la localisation de défaut par la suite. L'algorithme choisi parmi les différentes méthodes est l'algorithme de 'Canny'. Il est basé sur une matrice bidimensionnelle formée par un signal gaussien. L'intensité du signal gaussien et la largeur de la matrice donneront des résultats variant suivant l'image traitée. La répartition d'un signal gaussien bidimensionnel est représentée dans la formule ce-dessous

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

et un exemple de masque 5x5 (dimension du filtre) discret avec $\sigma=1,4$:

$$\frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

En effet, l'intensité permet de ressortir les contours, et la largeur permet de minimiser les faibles bruits ou contours parasites existants dans l'image. L'intensité et la largeur du filtre Canny sont calculées à partir d'un seul paramètre qu'on appelle facteur Canny ' σ '. [ref. 4]

Par ailleurs, la méthode Canny, de détection de contour, apparaît la plus adaptée pour compléter la partie filtrage et mettre en évidence les contours qui vont servir à la reconnaissance de forme. La méthode de Canny fournit, en fonction du choix du facteur de détection, des contours de certaines intensités et de largeur plus important en fonction de la largeur de la gaussienne utilisée dans l'algorithme de détection. Dans les images en noir et blanc, la méthode de Canny, est très efficace et l'algorithme donne des résultats satisfaisants pour une large gamme de valeur du facteur Canny. Par contre dans les images avec différentes couleurs et contrastes, le choix de la valeur du facteur de Canny peut être très important pour des résultats efficaces et bien précis.

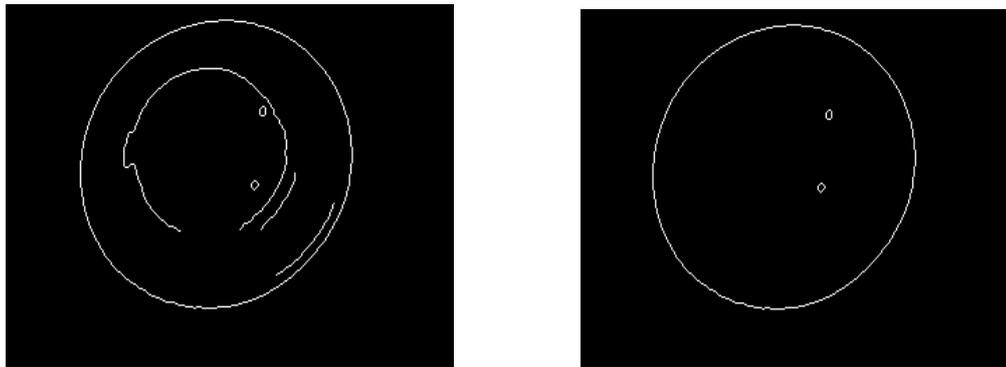


Figure.47 : détection de contour de la figure 45, Canny ($\sigma=0.3$) Canny $\sigma=0.5$

L'application de l'algorithme de détection de contour, suivant la méthode de Canny, donne les deux résultats représentés dans les deux images de la figure 47. En effet, en changeant le facteur Canny, la qualité du résultat change aussi. Pour des meilleurs résultats, dans la partie pré-étude ou apprentissage, en testant différentes valeurs pour la détection de contour, le ou les valeurs du facteur Canny peuvent être sélectionné en se basant sur les qualités ou les contours les plus attendus ou recherchés dans l'image originale. Ce qui fait de ce caractère un facteur très important pour minimiser les bruits de luminosité et l'identification de certains contours négligés par d'autre méthode ou pour d'autre valeur du facteur Canny comme le montre les deux images de la figure 47.

IV.3.3 Détection de mouvement

Pour l'algorithme de détection de mouvement, la méthode adoptée est la méthode différentielle. En effet, le différentiel est calculé à partir des deux images consécutives permet de retrouver des pièces en mouvement dans le champ de vision de la caméra. La seule chose qui différencie les algorithmes de détection de mouvement est le filtrage qui accompagne le calcul différentiel. Dans cette thèse, pour minimiser les perturbation un filtre est choisi pour accompagner la détection de mouvement est le calcul de la Carte Binaire de Changement Temporel (CBCT). Cette carte représente le résultat de l'algorithme de détection de mouvement en minimisant l'influence de la luminosité.

Un petit exemple est illustré dans la suite pour montrer l'algorithme de détection de mouvement qui se fait grâce au calcul de différence entre de deux images successives (figure

48 et 49 à l'instant t et $t+\Delta t$). En plus, un filtrage est nécessaire pour éliminer les petites variations qui sont dues aux vibrations ou aux variations de luminosité.

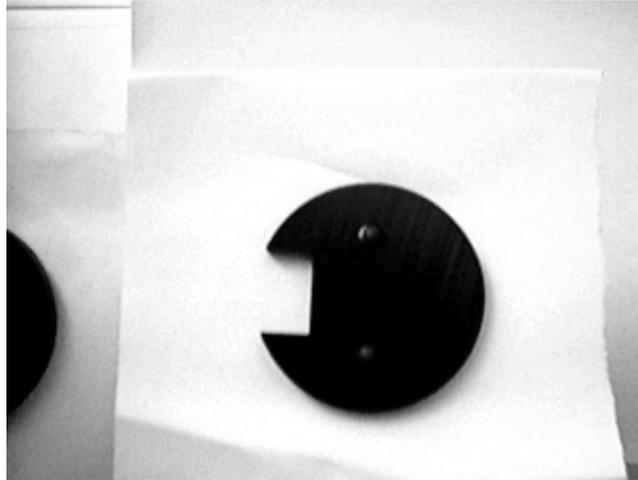


Figure.48 : Première image à l'instant t_0 , considéré comme background

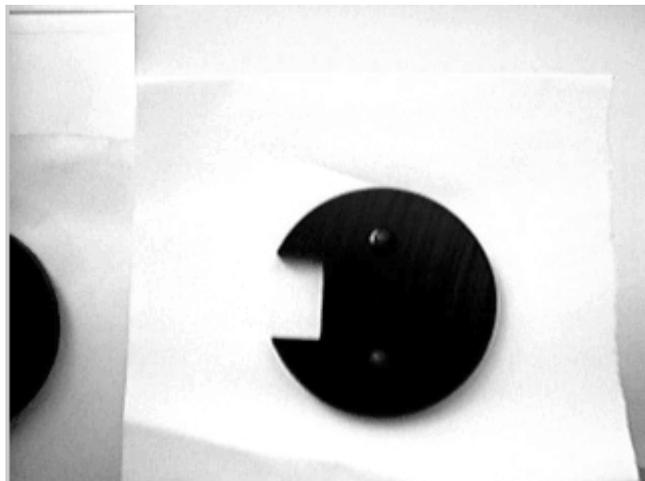


Figure.49 : Deuxième image à l'instant $t_0 + a$, pièce en mouvement. 'a' est le temps entre deux acquisition

La matrice de mouvement est obtenue par le calcul de la valeur absolue de la différentielle entre les deux images. Puis vient un calcul de stabilisation pour l'élimination des fautes présentes dans la matrice de détection de défaut et pour minimiser l'influence de la luminosité et des vibrations.

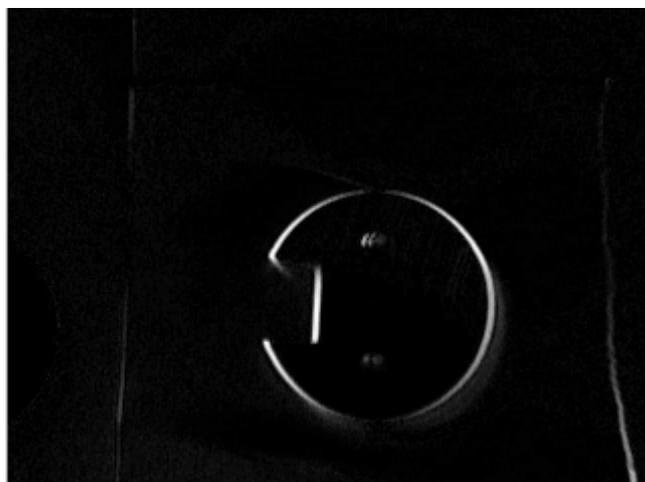


Figure.50 : Les pixels qui ont changé d'état sont blancs, et représentent le mouvement

Le résultat de ce calcul est nommé la Carte Binaire de Changement Temporel, (CBCT). La CBCT, évite les perturbations de luminosité, et les éventuelles vibrations, ce qui forme deux des problèmes importants à résoudre pour la vision industrielle. (Figure 50)

Pour améliorer les résultats, à l'aide de la vectorisation du signal de deux dimensions [ref. 2], la direction de mouvement est mise en évidence dans l'intérêt de l'application. En effet, en fonction de la direction du mouvement, un filtrage est possible pour éliminer toute impureté en cas de déplacement unidirectionnel.

IV.3.4 Reconnaissance de forme et identification de défaut

Pour la méthode de la reconnaissance de forme, différents algorithmes existent :

La transformée de Hough, le code de Freeman en partant toujours du résultat de la détection de contour. En effet, les deux méthodes de Hough et Freeman concernent l'étude morphologique des contours contenus dans l'image [ref. 41].

Il existe d'autres méthodes comme celle basée sur la corrélation entre un contour d'une pièce type et l'image résultante de la détection de contour ou encore des méthodes d'étude morphologique plus complexes à réaliser, comme l'identification dans la transformée de Fourier ou à l'aide des réseaux neuronaux [ref. 29], la transformée de Hough [ref. 21, 22], code de Freeman.

Ces méthodes sont utilisées pour des calculs de précision, dans le cadre du filtrage ou aussi dans le suivi de flux de données, en effet en identifiant la présentation fréquentielle d'un objet dans une image, il suffira de localiser cette fréquence pour pouvoir localiser l'objet à poursuivre. Les deux méthodes d'études morphologiques détaillées dans la suite de ce chapitre sont les deux transformées qui sont simples à réaliser et faciles à implanter dans le cas d'une application industrielle [ref. 40, 42, 43].

IV.3.4.1 Transformée de Hough

IV.3.4.1.1 Principe

Cette méthode est basée sur la projection de l'intensité de l'image suivant une direction fixée. Cette méthode consiste à calculer la somme des points dans une matrice suivant un angle ou une direction bien précise qui est l'angle de projection. En projetant sur 180° , nous aurons suffisamment de données pour identifier différents alignements ou formes géométriques bien précis et présents dans l'image. Cette méthode est comparable à la méthode d'apprentissage par identification de classe. [ref. 34]

La Transformée de Hough est caractérisée par les coordonnées (ρ, θ) où « ρ » est la distance entre le centre de l'image et le point localisé représentant un alignement et « θ » l'angle que fait la normale de la ligne avec l'axe des abscisses (Ref. 14, 21, 22 et 32).

Autrement dit, la transformée de Hough c'est l'ombre de la projection suivant un angle bien précis, pour l'illustrer sur l'exemple simple de la figure 51, appliquons la transformée de Hough sur la pièce (couleur verte) ; L'intensité retrouvée dans le vecteur $Rq(x')$ est la largeur du corps suivant l'angle de projection comme le montre la figure 51.

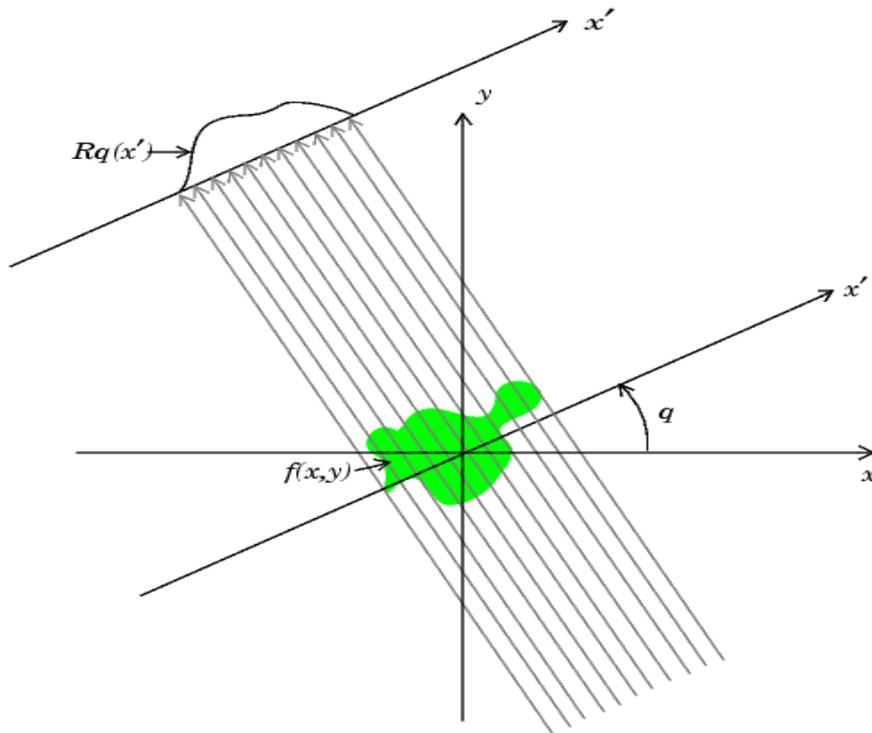


Figure.51 : $Rq(x')$ est la transformée de Hough de l'image suivant l'angle q .

L'application de la transformée de Hough se fait sur le contour des pièces localisées dans l'image initiale. Suivant la signature de la transformée, nous arrivons à identifier des alignements et par ailleurs les différentes dimensions de la pièce.

Voici un exemple très simple pour la localisation d'un alignement, dans les deux figures ci-dessous (figure 52 et 53). La figure 53 représente la transformée de Hough d'une droite de la figure 52. La transformée de Hough est une représentation paramétrique qui fournit le résultat en fonction de l'angle de projection θ et la distance par rapport au centre ρ .

Le but de cet essai est de démontrer comment se fait la localisation d'une droite ou d'un alignement de point graphiquement dans une image (Figure 52).

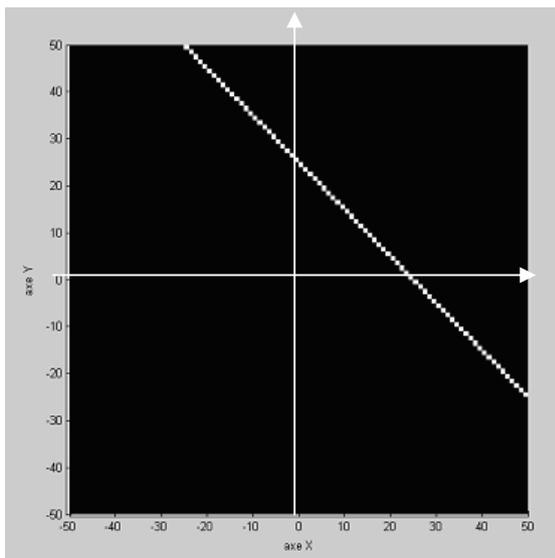


Figure.52 : alignement de point qui représente une droite qui fait -45° avec l'axe des X

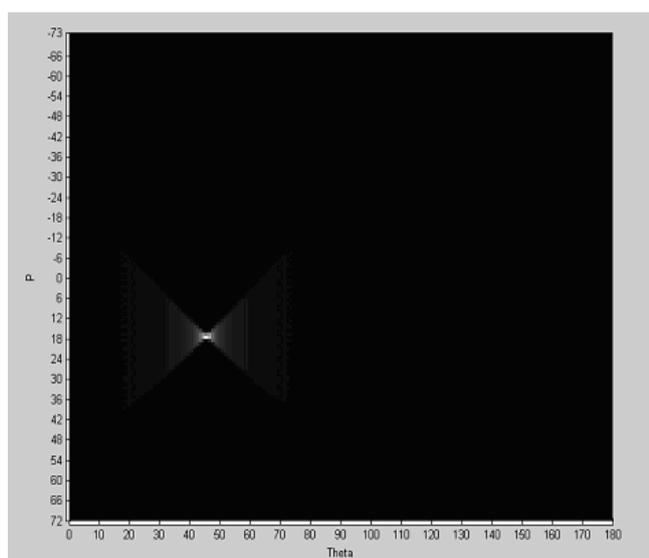


Figure.53 : La transformée de Hough de la droite

La localisation de la droite représentée dans la figure 52, se fait par la localisation du maximum local (point blanc), dans la figure 53, pour $\Theta=45^\circ$ et $\rho \sim 17$, représente la normale qui part de l'origine vers la droite. Alors le point d'intersection de la normale avec la droite est :

$$X = \rho \cdot \cos \Theta = 17 \cdot \sqrt{2}/2 = 12.$$

$$Y = \rho \cdot \sin \Theta = 17 \cdot \sqrt{2}/2 = 12.$$

Dans la figure 53, le résultat de la localisation est visualisé par le point blanc. Les coordonnées de ce point, correspondent à l'angle et la distance entre le centre de l'image et l'alignement des points qui forment la droite.

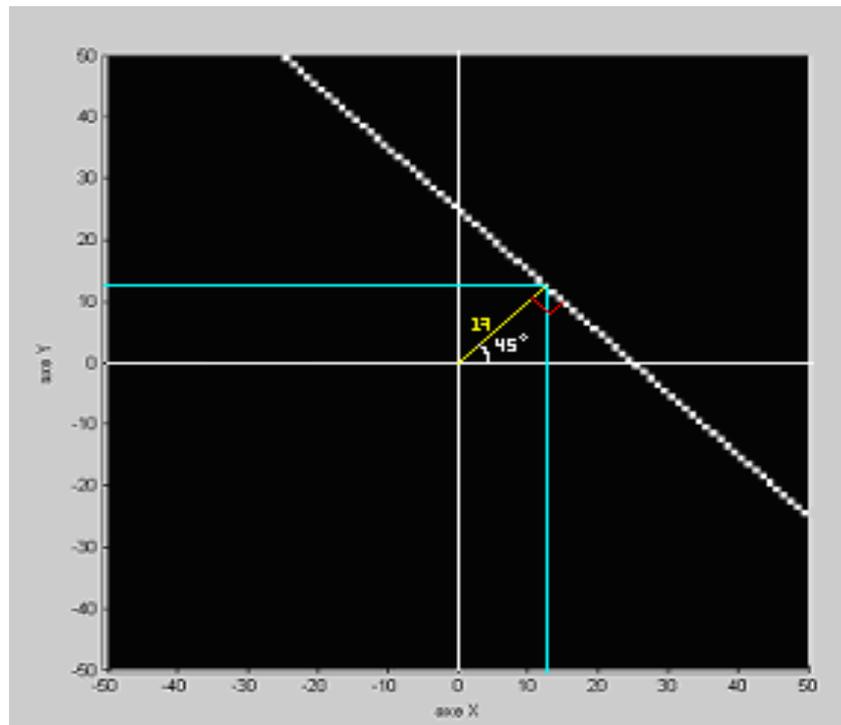


Figure.54 : La droite est localisée par la normale de la droite passant par le centre

Par cette méthode la direction de la ligne et sa distance sont précisées par rapport au centre de l'image. La localisation des lignes se fait facilement avec cette méthode.(figure 54)

L'identification des formes géométriques sera plus complexe. En fait, l'identification de plusieurs caractéristiques géométriques augmentera la complexité de l'algorithme. Le temps de calcul et les caractéristiques qu'il faut identifier sont plus nombreux.

Des études sur l'identification d'une forme géométrique par ressemblance dans la transformée de Hough ont eu lieu avec des chercheurs comme Di Sciascio [ref. 10]

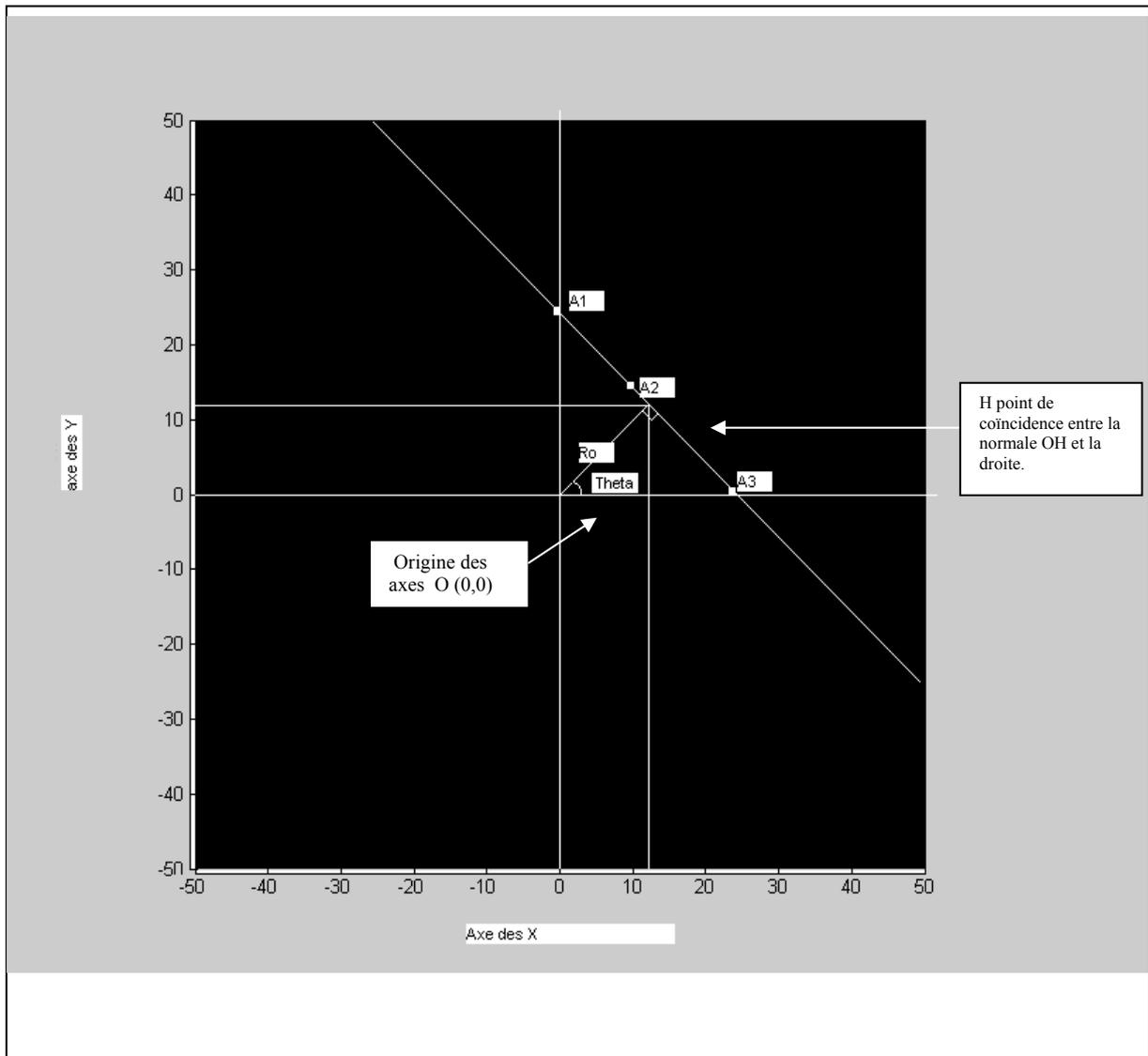


Figure.55 : Voici les trois points A1, A2 et A3 appartenant à la droite de la figure 54

D'autre part, si l'image ou le contraste n'ont permis qu'une capture partielle de la ligne, ou simplement quelque points, la transformée de Hough permet de retrouver la direction de ces points (A1, A2 et A3 dans la figure 55) et par ailleurs la direction de la droite à laquelle elles appartiennent.

Pour retrouver la direction de la droite représentant ces trois points, il suffit de retrouver dans la transformée de Hough la projection ou l'ombre des trois points coïncident dans la même projection. (Voir la fig. 56)

Dans la transformée de Hough, les trois points appartenant à la même droite seront confondus à un point qui sera le cumul de l'intensité des points projetés dans cette direction précise. A partir de ce point, l'identification de la droite et sa direction est possible. Alors la direction de la droite retrouvée est la même que celle retrouvée avant. L'importance de cette

méthode est que dans le cas de présence de la droite dans une répartition de point de bruit aléatoire, l'algorithme reste robuste et certain. En effet, la répartition aléatoire des points sur l'image n'aura aucun impact sur la transformée de Hough. En plus, la localisation du maximum local appartenant à la droite dans la transformée de Hough reste toujours exploitable sauf dans le cas d'éblouissement. Mais le critère de l'intensité du maximum local peut jouer dans la faveur de la méthode pour éliminer toute éventualité d'une intensité anormale. Et en limitant la valeur du maximum local recherché dans la transformée de Hough, nous précisons la longueur de l'alignement recherché et éliminer par ailleurs tout les bruits plus ou moins intenses.

Les coordonnées retrouvés représentent comme dans le premier cas (pour la droite complète) $\Theta=45^\circ$ et $\rho \sim 17$.

D'autre part, la possibilité de réduire ou de paramétrer la transformée de Hough permet d'alléger le temps de calcul et d'avoir une réactivité assez importante pour le bien du système de commande. [ref.11, 32]

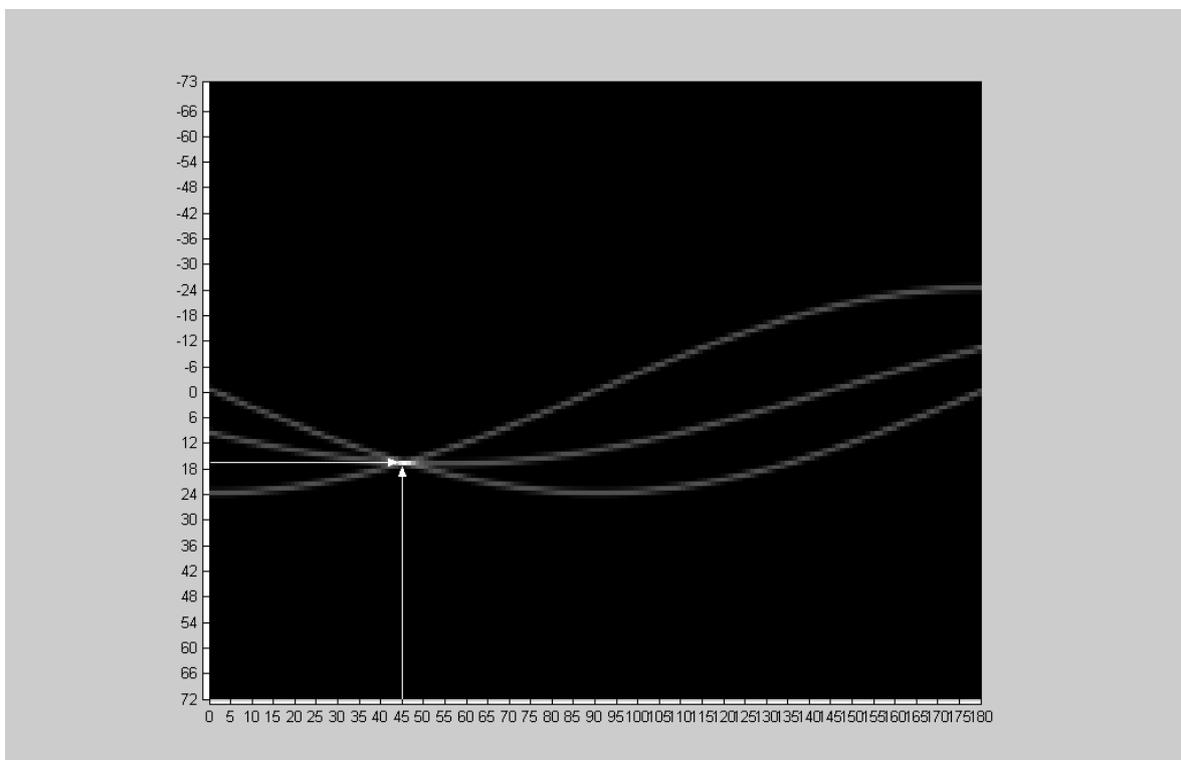


Figure.56 : La transformée de Hough des 3 points

IV.3.4.2 Code de Freeman

IV.3.4.2.1 Principe du codage :

Le code de Freeman consiste à trouver le premier point blanc appartenant au contour de la pièce et ensuite à retrouver la succession des autres points et ce en testant les 8 pixels qui entourent le premier pixel trouvé. Chaque pas ou test valide d'un pixel blanc à coté du présent pixel précisera la direction qui est codé de 0 à 7 (8 directions) figure 57. L'idée est que cet algorithme retrouve la succession de point blanc formant le contour de la pièce localisée mais aussi calcule la distance entre le centre de la pièce localisé et les pixels successifs formant le contour de la pièce. Le code de Freeman se fait une fois la pièce est localisée.

Ayant le centre de la pièce et les coordonnées de chaque pixel formant le contour, il sera possible de calculer la distance entre le centre de la pièce et le contour.

Plusieurs critères peuvent être identifiés pour retrouver certaines informations morphologiques ou critères géométriques de la pièce. Cette idée sera détaillée et testée dans la même application qui utilise la transformée de Hough.

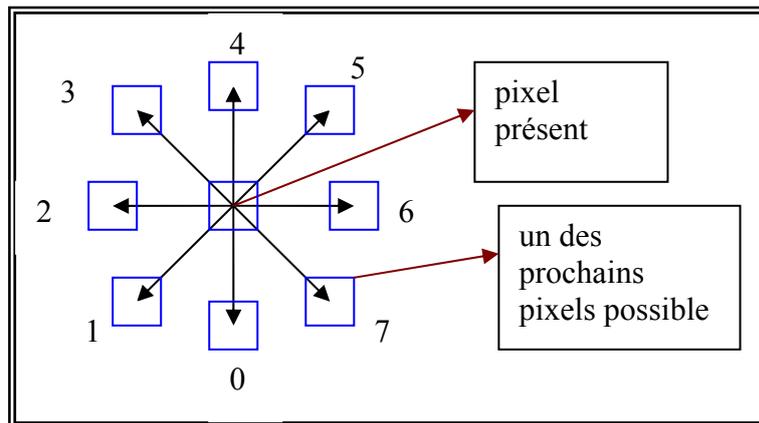


Figure.57 : Représentation de la méthode de Freeman

➤ codage des directions suivant la méthode de Freeman

Le code de Freeman sera par exemple : 0 1 0 0 0 1 0 7 0 7 6 1 3 2 6 7 4 1 2 3 ... etc.

Alors qu'un carré de 5 pixel sera codé par 0 0 0 0 0 6 6 6 6 4 4 4 4 2 2 2 2

Dans le cas suivant nous utilisons le code de Freeman pour retrouver le chemin du contour de la pièce détectée et pour calculer l'orientation de la pièce dans l'image.

IV.3.4.2.2 Algorithme :

A l'aide de la méthode du code de Freeman, nous allons pouvoir calculer la distance de chaque pixel appartenant au contour de la pièce par rapport au centre. Le centre de la pièce pourra être retrouvé par Hough ou corrélation par exemple.

En calculant la distance de chaque pixel par rapport au centre de la pièce nous retrouverons la description du contour de notre pièce. Pour identifier l'encoche à localiser, il suffit de déterminer la distance minimale par rapport au centre. En effet, la distance entre l'encoche et le centre du cercle est la distance la plus courte (voir figure 58). L'algorithme démarre au premier point non nul (pas noir) en haut à gauche dans l'image.

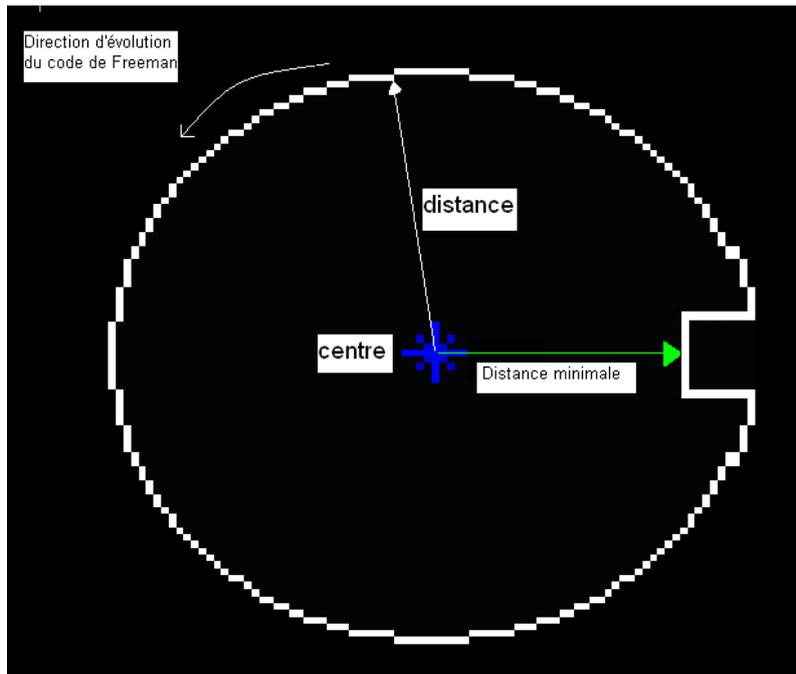


Figure.58 : Evolution et calcul de la distance entre le centre et le contour de la pièce, distance minimale en vert.

La figure 59 représente le graphe généré par le calcul de la distance entre le contour de la pièce et son centre. Pour localiser l'encoche de la pièce, il faut retrouver le minimum, représentant l'encoche du contour de la pièce, par ailleurs cette information peut être utilisée dans la validation de la pièce, et nous permet de connaître la distance entre le centre et l'encoche et aussi la taille de l'encoche. Ce graphe nous permet de reconnaître des critères morphologiques du contour de la pièce.

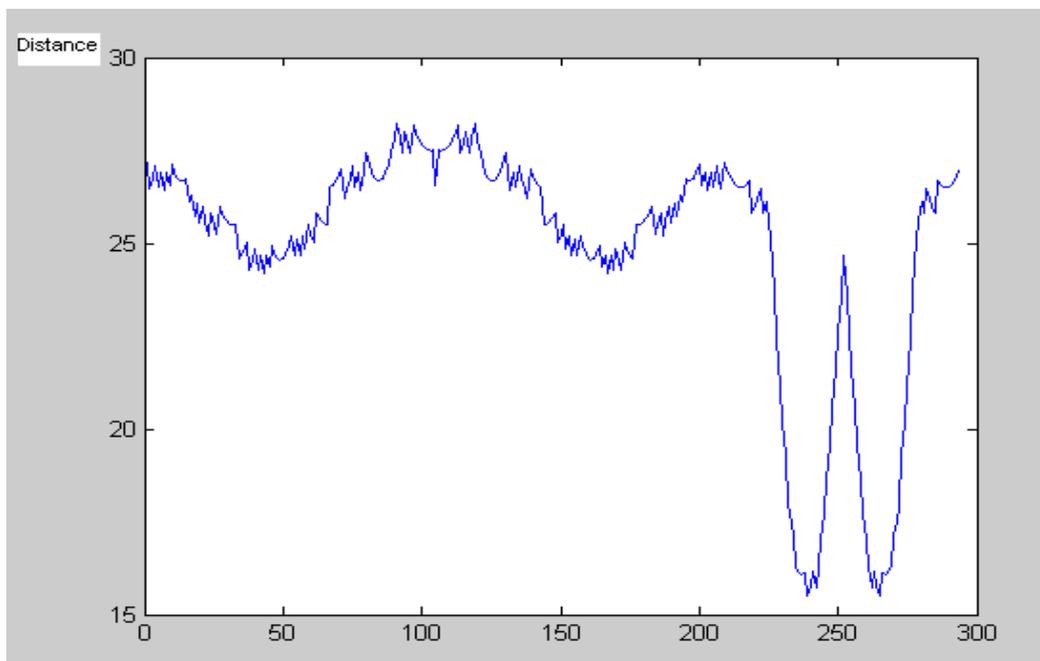


Figure.59 : Distance entre centre et contour de la pièce.

L'algorithme s'arrête automatiquement en repassant par des points précédentes ou s'il retrouve une discontinuité dans le contour testé d'où sa sensibilité. L'existence des deux minimums locaux est due au repassage de l'algorithme par ces points.

IV.3.4.3 Corrélation

La corrélation est une méthode efficace et rapide pour la localisation de certaines formes géométriques. Les méthodes de reconnaissance de forme proposées par Hough ou Freeman sont des méthodes d'étude morphologique, mais elles nécessitent un temps de calcul important dans le cas des formes géométriques complexes (Hough) ou des contours discontinu (Freeman). L'algorithme de corrélation est une méthode efficace et simple qui permet de localiser une forme bien précise en corrélant un contour type avec les contours détectés dans l'image (image de référence). L'algorithme de corrélation est sensible au changement de l'échelle, mais reste assez compétitif du fait que la méthode de détection de contour de Canny nous permet de ressortir des contours assez large qui convient parfaitement à la localisation par corrélation.

Dans les figures ci-dessous, la corrélation d'un contour d'une pièce type et les contours dans l'image acquise par le système de vision, donneront des résultats très convaincants (voir figure 60). En effet en regardant la figure 61, la première image représente un résultat visuel de la corrélation, ce qui signifie que les points de cette image ont une intensité qui représente le résultat de la corrélation. En localisant les maximums locaux qui ont une intensité proche du maximum de l'auto-corrélation du contour de la pièce type, les pièces seront précisément localisées.

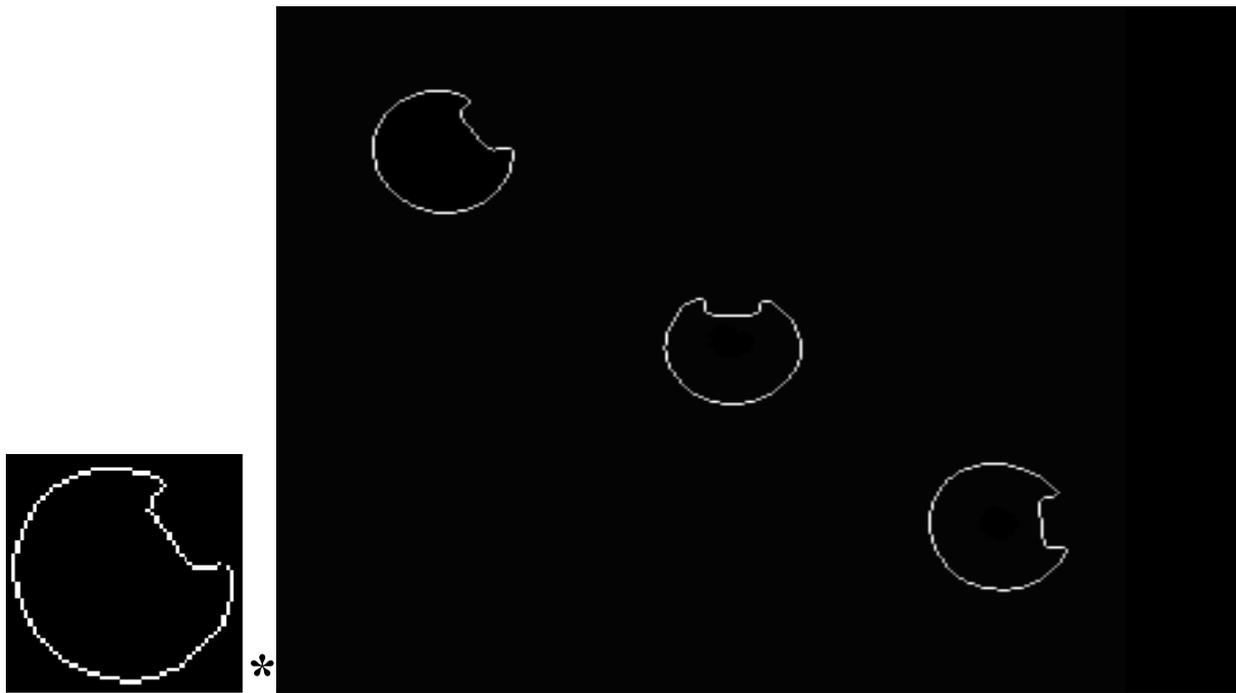


Figure.60 Contour d'une pièce type et le contour des pièces dans une image

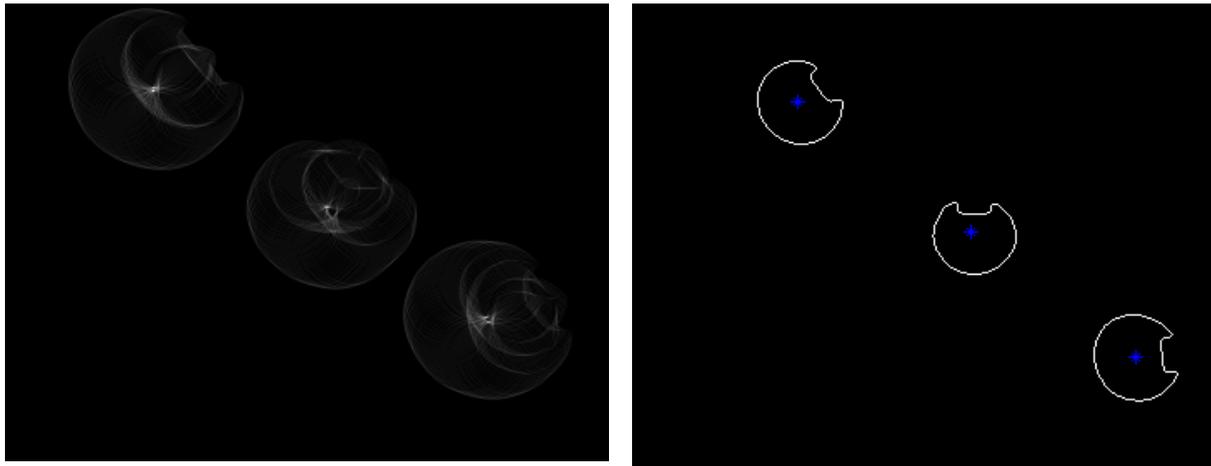


Figure.61 La corrélation de la pièce type avec les contours des pièces dans l'image

Dans la figure 61, à gauche, c'est le résultat de la corrélation des deux images. Les coordonnées retrouvées en localisant les maximums locaux sont représentées par des astérisques bleus dans l'image à droite de la figure 61. Ces points représentent la position du centre de chacune des pièces localisées.

IV.3.4.4 Identification de défaut :

Différents algorithmes concernant la méthode d'identification de défaut sont étudiés. Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés aux défauts de couleurs et de forme. Concernant l'identification de défauts par les deux méthodes connues, Hough ou Freeman, l'algorithme de traitement s'applique se fait une fois les pièces sont localisées par corrélation et dans le cas de présence de plusieurs pièces dans l'image ou dans la même zone d'intérêt représentant le capteur virtuel.

Une simulation sur l'étude de la morphologie d'une pièce était faite dans le cadre de cette thèse, avec l'identification de défauts par les deux méthodes, elle sera détaillée par la suite.

L'illustration sera faite avec une étude morphologique d'une pièce circulaire représentant une encoche de profondeur différente, la pièce sera jugée bonne en fonction de la distance entre le centre de la pièce et le fond de l'encoche. Cette forme est choisie juste pour illustrer l'application des différents algorithmes et leurs efficacités.

IV.3.4.4.1 Localisation et identification par Hough :

Dans cet exemple l'alignement localisé existe dans une image représentant le contour d'une pièce circulaire avec une encoche de certaine dimension représenté dans la figure 62. L'idée de cette application, permet de démontrer les possibilités de retrouver dans une forme géométrique présentant par exemple le contour d'une pièce à localiser et à retrouver son orientation. D'après l'image nous avons les dimensions de la pièce en pixel ce qui va nous donner des repères pour identifier les résultats retrouvés avec la transformée de Hough.

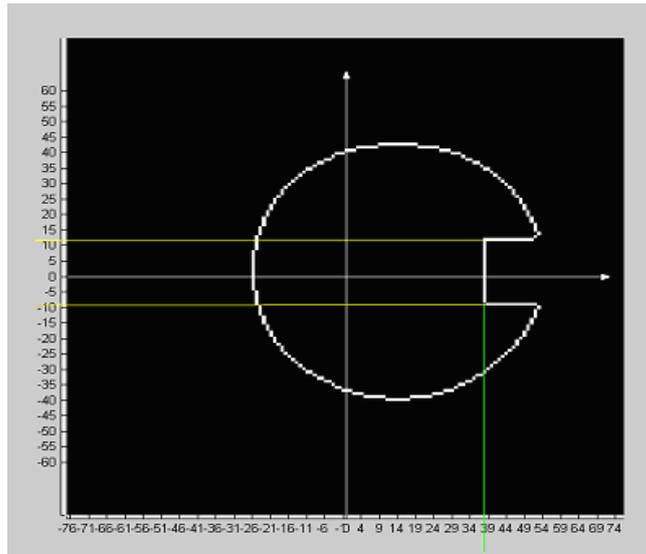


Figure.62 : La ligne la plus longue d'abscisse $X=38$ est à localiser.

En localisant le maximum dans la transformée de Hough, comme dans la figure 63, nous arrivons à localiser la position de l'alignement le plus long représentant l'encoche. En effet le cercle a une répartition uniforme dans l'image, c'est-à-dire que la projection dans n'importe quel sens de ces points, donnera les mêmes résultats dans toutes les directions, alors si un alignement de points existe dans l'image, il sera facilement identifié en localisant le point le plus lumineux dans la transformé de Hough.

Par ailleurs le raisonnement graphique est appliqué dans le sens où les critères recherchés sont des alignements ce qui facilite la localisation et les focalise sur les points les plus lumineux dans la Transformée de Hough. Si les critères sont plus compliqués c'est-à-dire s'il s'agit de carrés ou de cercles, les critères sont combinés pour pouvoir localiser la forme géométrique recherchée dans l'image [ref. 5, 21, 28].

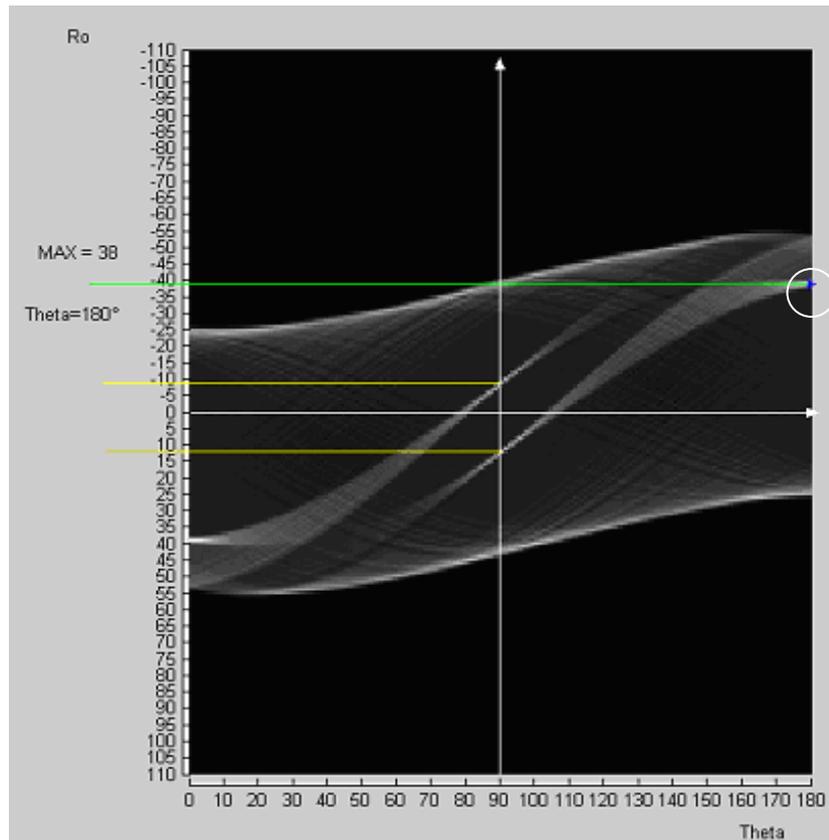


Figure.63 : Transformée de Hough, représentée en fonction de θ et ρ

Le maximum de la transformée de Hough (entouré par un petit cercle blanc), sur la figure 63, représente la série de point le plus long dans l'image, donc logiquement, le bas de l'encoche représenté dans l'image principale. Rappelons que 'Theta', c'est l'angle de projection et non pas l'angle de l'alignement par rapport à l'axe horizontal.

Pour revenir dans le repère de l'image de la pièce, et calculer les coordonnées des droites :

$$X = \rho * \cos \theta$$

$$Y = \rho * \sin \theta$$

$$\text{Dans ce cas précis, } X = -38 * \cos(180^\circ) = 38 \text{ pixel}$$

$$Y = -38 * \sin(180^\circ) = 0 \text{ pixel}$$

Donc nous trouvons la position de la partie carrée de la pièce. Si nous regardons de près à $180 - 90 = 90^\circ$ dans la Transformée de Hough, nous allons trouver deux maximums locaux décalés de 20 pixel (l'écart de l'encoche vu dans l'image principale), comme le montre la figure 64.

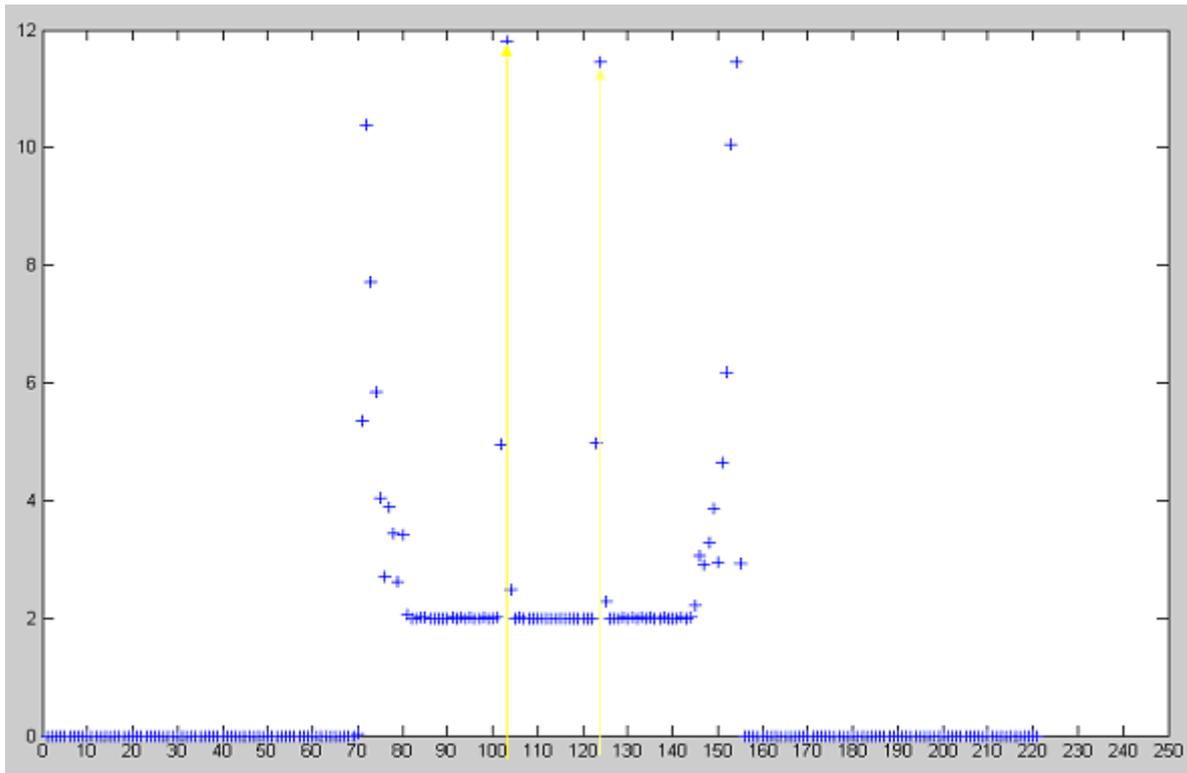


Figure.64 : la projection de Hough de l'image à 90°

Deux maximums locaux à 103 et 123 sont retrouvés, alors l'encoche de la pièce a une largeur de 20 pixels. La pièce alors est identifiée avec l'algorithme qui permet de vérifier la conformité de la pièce localisée en fonction de la largeur de l'encoche et sa profondeur. Notons que les autres maximums locaux sont les extrémités de la pièce circulaire, c'est l'un des défauts de la pixellisation des cercles.

IV.3.4.4.2 Identification par Freeman :

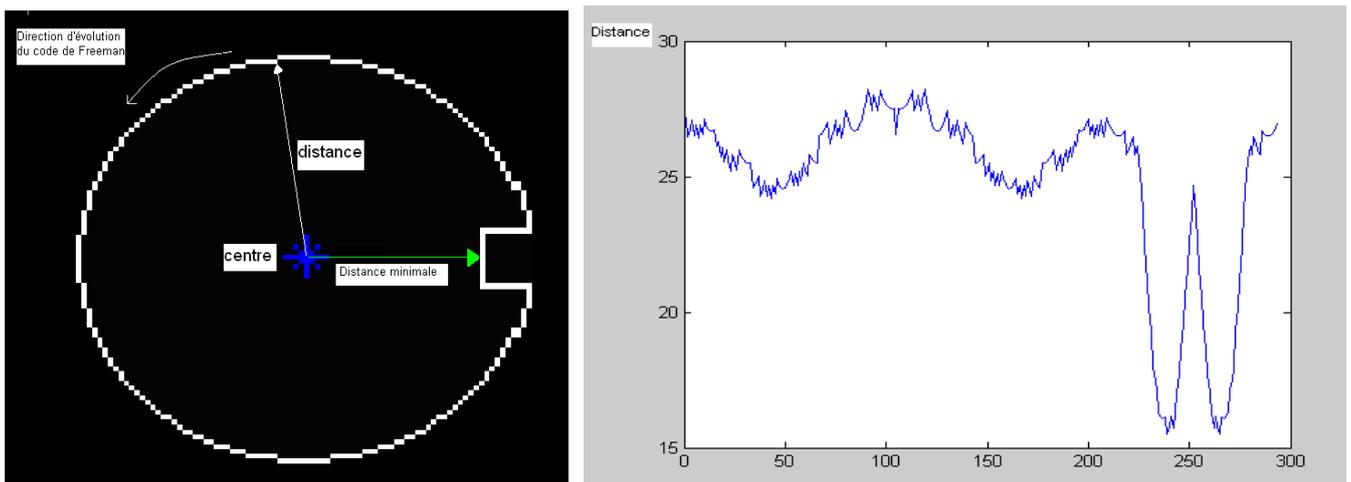


Figure.65 : Distance entre centre et contour de la pièce.

L'étude de la pièce dans la figure 65, représente une encoche à une distance fixe. Suite à la localisation d'une telle pièce dans l'image en temps réel par corrélation, l'application du code de Freeman permettra de retrouver la distance entre le centre de la pièce et le contour et par ailleurs l'encoche.

La distance entre le centre et l'encoche est calculée, le graphe à droite dans la figure 65 représente la valeur de la distance en pixel entre le centre de la pièce. Le minimum représente obligatoirement la distance entre le centre de la pièce et l'encoche. Ce minimum là déterminera la qualité ou la caractéristique selon laquelle la pièce est en défaut ou pas.

Dans le cas d'un autre type de pièce, où le contour n'est pas circulaire mais plutôt une combinaison d'alignement, la localisation des alignements avec Hough ou Freeman est toujours possible. Cela permet d'identifier les angles entre différents alignements et par ailleurs la morphologie de la pièce.

IV.4 SIMULATION ET RESULTATS

IV.4.1 Principe de l'analyse

Dans le cadre des applications mises en place au cours de ces travaux, différentes méthodes sont utilisées dans le but de démontrer la robustesse de chacune d'elles.

En effet un mixage de méthodes est nécessaire pour arriver à résultat satisfaisant. Dans le cas de l'identification et la reconnaissance de forme, en cas de présence d'une ou de plusieurs pièces dans le champ de vision de la caméra, l'usage des méthodes comme le filtrage, la corrélation pour la localisation, puis l'application de Freeman ou Hough pour la reconnaissance de forme doit être effectué dans la série des algorithmes appliqués.

D'autre part, en cas de présence d'une pièce dans le champ de la caméra, l'application directe du filtrage puis d'un algorithme de reconnaissance de forme par Hough ou Freeman peut donner des résultats aussi efficaces et en plus l'identification de défaut se fait typiquement de la même façon. Bien sûr l'identification de défaut dépend d'une certaine différence avec une bonne pièce type.

Le choix des méthodes n'est pas fixé pour toutes les applications. En effet dans les applications, différentes méthodes sont utilisées pour la localisation, la reconnaissance de forme et l'identification de défaut. En fonction du cahier de charge de l'application, de la vitesse de déplacement, du contrôle pièce par pièce ou plusieurs pièces par image, du défaut dans la forme donc le contour de la pièce ou dépendant de la couleur, une identification de la couleur sera nécessaire pour la localisation et l'identification de défaut.

Donc les algorithmes ou la combinaison de plusieurs algorithmes permettront de remplacer un large panel des capteurs classiques. En utilisant, la détection de mouvement, de présence, la reconnaissance de forme et l'identification de couleur, une majorité des capteurs classiques sera remplacée. Ce qui approuve la faisabilité d'un système de contrôle et de commande entièrement basé sur la vision industrielle.

Les critères de choix des méthodes sont liés aussi à leurs facilités d'implantation et leur vitesse d'exécution. Ces deux critères sont très importants dans la réalisation d'un système de vision entièrement nouveau, où les parties matériels et logiciels seront en fonction de la fiabilité et de la réactivité suivant l'application visée.

Les différentes méthodes de traitement d'image citée dans les paragraphes ci-dessous sont très faciles à mettre en œuvre et s'exécutent rapidement (10 Im/sec avec le système ImaSys).

Nous pouvons confirmer que les méthodes choisies comme la transformée de Hough ou le code de Freeman ou l'identification par couleur, sont des algorithmes qui sont très simples à implémenter et très rapide à l'exécution.

Dans la partie qui suit, une simulation sur un exemple d'application consiste à la localisation de pièce de forme circulaire et l'identification de défaut.

Le défaut à localiser sera la taille de l'encoche, autrement dit la profondeur de l'encoche par rapport au centre de la pièce.

IV.4.2 Choix de la pièce par apprentissage, définition des critères

Cette partie comporte l'identification d'un corps ou d'une forme précise et la localisation de certaine forme dans une image. Après les étapes précédentes, les algorithmes d'identification et de localisation de forme se base sur l'image de niveau de gris ou monochromatique, évidemment cette partie est basée sur les différentes méthodes de la transformée de Hough, le code de Freeman et la localisation par corrélation.

En effet la combinaison des deux méthodes va permettre une localisation très précise de la pièce voulue dans une image et en plus de trouver son orientation.

Par exemple la localisation par corrélation se fait par une simple corrélation bidimensionnelle suivie de l'identification par Hough ou Freeman. Dans l'image ci-dessous (figure 66), l'image filtrée (par détection de contour) est corrélée avec le contour de la pièce type. Le résultat de la corrélation va donner la localisation de la pièce ou des pièces présente(s) dans l'image.

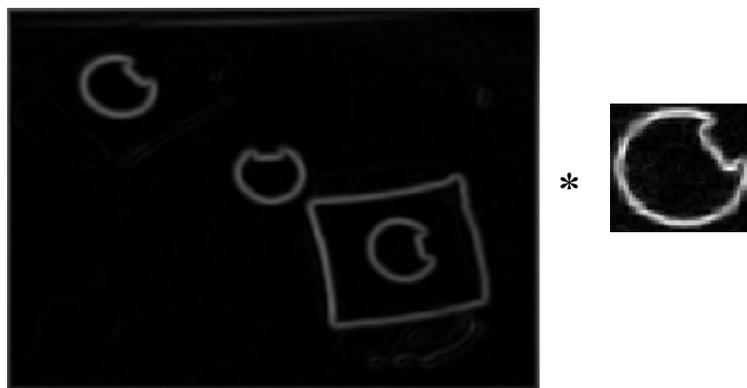


Figure.66 : Contour de l'image réel. *Le contour d'une pièce type choisi par apprentissage

La corrélation va permettre de retrouver les coordonnées de chaque pièce présente dans l'image comme le montre l'image ci-dessous (figure 67).

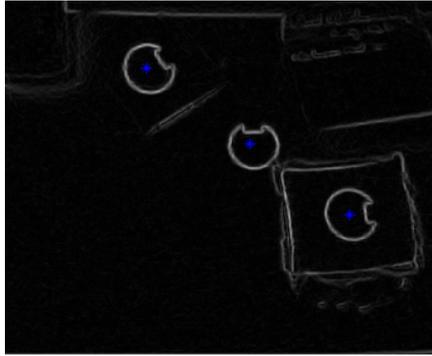


Figure.67 : Le résultat de la corrélation sont les coordonnées marqués par « * »

Normalement les coordonnées représentent les centres des pièces à localiser. Une fois cette étape est achevée l'algorithme d'identification est appliqué sur les tranches concernées, c'est-à-dire là où les pièces étaient localisées.

Alors à l'aide de la transformée de Hough ou le code de Freeman l'identification de forme se fait. Dans cet exemple, l'application consiste à identifier la direction et l'épaisseur de l'encoche. Dans la figure 68 qui suit l'encoche est trouvée, elle est marquée par un « + ».

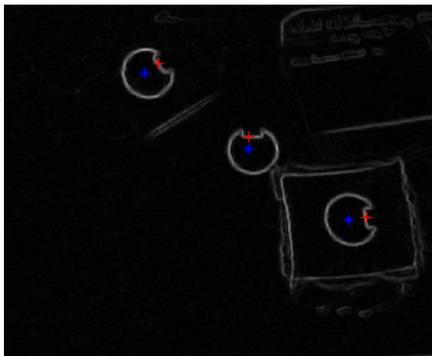


Figure.68 : L'identification de l'encoche est faite par la transformée de Hough

La transformée de Hough donne l'orientation de l'encoche et la distance entre le centre de la pièce et l'encoche.

Comme le code de Freeman, la transformée de Hough est appliquée après la détection du contour. La reconnaissance de forme est liée principalement à ces deux algorithmes.

La localisation peut se faire directement d'après le résultat de l'algorithme de détection de contour mais il ne doit y avoir qu'une seule pièce dans l'image traitée. L'utilisation de la localisation par corrélation avant l'identification permet de diminuer la taille de l'image sur laquelle la transformée de Hough est appliquée, ce qui diminue le temps de traitement.

IV.4.3 Filtrage et détection de contour

Plusieurs algorithmes de détection de contour ont été étudiés, différentes méthodes et algorithmes ont été testés avant de choisir la méthode de Canny.

Cette méthode permet, en changeant l'intensité de détection de contour, d'éliminer les défauts de linéarisation et du bruit et en même temps d'avoir des contours larges des pièces Figure 69. La largeur est importante pour l'algorithme de localisation par corrélation qui suit cet algorithme de détection de contour.

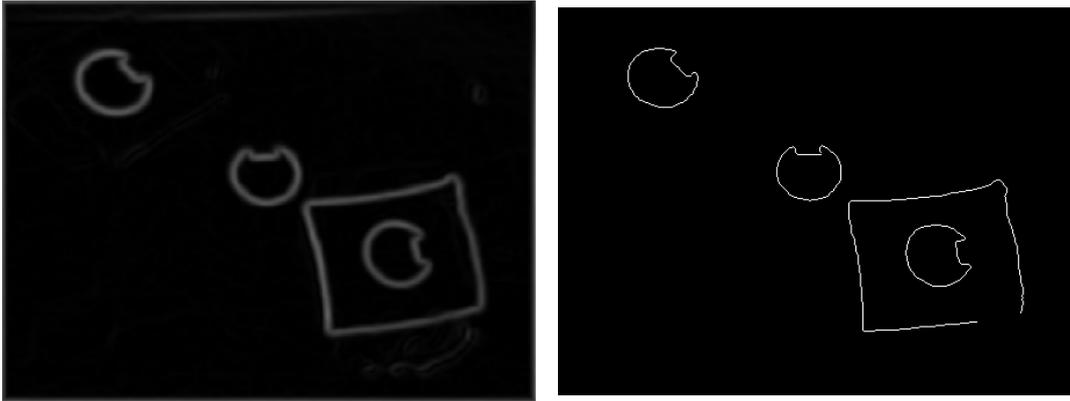


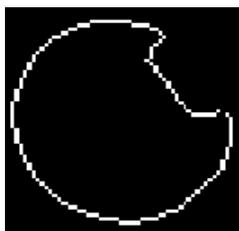
Figure.69 : Détection de contour avec la méthode Canny, avec deux valeurs différentes du facteur Canny ' σ '

La méthode Canny, de détection de contour, apparaît la plus adaptée pour compléter la partie filtrage et mettre en évidence les contours qui vont servir à la reconnaissance de forme. La méthode de Canny fournit, en fonction du choix du facteur de détection, des contours de certaines intensités et de largeur plus importante, et ce en fonction de la largeur de la gaussienne utilisée dans l'algorithme de détection. Dans les images noires et blanches, la méthode de Canny, est très efficace et l'algorithme donne des résultats satisfaisants pour une large gamme de valeur du facteur Canny. Par contre, dans les images avec différents couleurs et contrastes, le choix de la valeur du facteur de Canny peut être très important pour des résultats efficace et bien précis.

D'autres recherches effectuées portent sur la détection de contour et la détection de coin réalisées par des chercheurs, comme Kovese P. [ref. 19], pour faciliter la reconnaissance de certains objets ou la dimension de forme géométrique réel des pièces retrouvées [ref. 20]

IV.4.4 Localisation et orientation :

L'application est la même que celle utilisé dans la partie précédente qui consiste à la localisation de l'encoche d'une pièce circulaire. Le contour de la pièce à rechercher est la suivante (Figure 70) :



Ce contour provient de l'image suivante :



Figure.70 : Image de la pièce et du contour par l'application de filtre Canny.

Généralement, les outils de corrélation sont utilisés pour la localisation d'un contour précisé par une image type dans l'image récupérée en temps réel. (Voir figure 71)

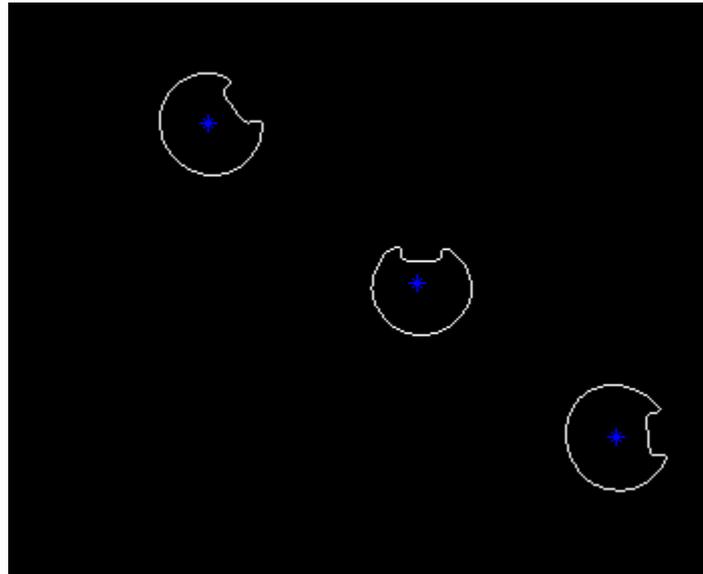


Figure.71 : Trois pièces localisées à l'aide de la corrélation

Les centres des pièces sont représentés par des astérisques au milieu des pièces, la prochaine partie du traitement est consacré à la localisation de l'orientation et à l'identification de la distance entre le centre et l'encoche de la pièce.

Traitement par Hough :

En utilisant la transformée de Hough, nous arrivons à localiser un maximum pour la partie inférieure de l'encoche (le plus long alignement alors sa projection sera la plus intense).

Dans les figures (72, 73 et 74) qui suivent, nous allons voir l'angle le plus proche et la distance de l'encoche par rapport au centre de la pièce.

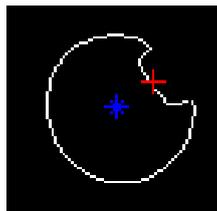


Figure.72 : La première pièce dans l'image, vu en haut de l'image temps réel à gauche.

Concernant les coordonnées de la butée (présenté par un +) les résultats numériques sont présentés dans la fenêtre de matlab. Voir le paragraphe ci-dessous pour les résultats numériques.

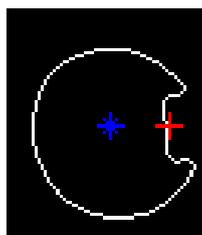


Figure.73 : Pièce localisée en bas de l'image temps réel à droite.



Figure.74 : La deuxième pièce dans l'image, localisée au milieu de l'image en temps réel.

Voici les résultats trouvés sous Matlab :

1. Pour la figure 72

or = 35° → orientation de la butée, l'angle en degré

distance = -16.5 → distance du fin de la butée par rapport au centre.

X = -13.5

Y = -9.46

} → → → Les coordonnées du point présenté par un + dans les différentes figures

2. Pour la figure 73 :

or = 6

distance = -17.5

X = -17.4 & Y = -1.82

3. Pour la figure 74 :

or = 90

distance = -14.5

X = 0 & Y = -14.5

Les résultats de l'algorithme seront dans une pile qui est « resultat », sous matlab :

resultat =

16.5 35

17.5 6

14.5 90

Le nombre de lignes représente le nombre de pièces localisées, la première colonne présente la distance entre le centre de la pièce et l'encoche. La deuxième colonne représente l'angle que fait l'encoche par rapport à l'horizontal passant par le centre de la pièce, alors nous avons les coordonnées de toutes les caractéristiques des pièces à localiser. Nous avons le centre, la distance avec l'encoche et l'angle de l'encoche par rapport au centre.

Donc la figure finale sera comme la figure 75, nous représentons les centres de différentes pièces localisées par des astérisques et l'orientation de chaque encoche d'une pièce par une petite croix.

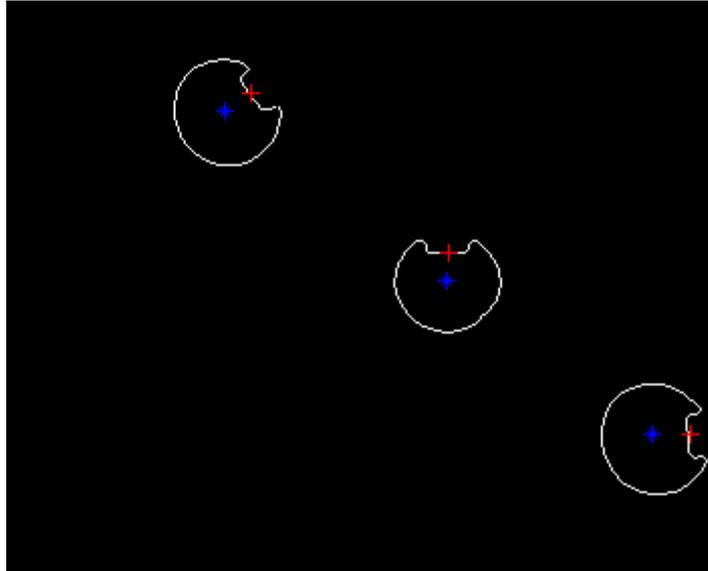


Figure.75 : Les pièces localisées et l'orientation de chacune de ces pièces.

Traitement par Code de Freeman

La validation de cette méthode s'est faite en appliquant la méthode de code de Freeman sur le même type de pièce qu'avec la transformée de Hough. En localisant le minimum, représentant la distance entre le centre et l'encoche, nous retrouvons les coordonnées du pixel et par ailleurs la position exacte de l'encoche par rapport au centre, il suffit donc d'un petit calcul pour retrouver l'angle. Voici dans la figure 76 un résultat de la simulation.

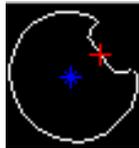


Figure.76 : Le contour de l'image de la pièce type avec la localisation de l'encoche à l'aide de la méthode de Freeman.

Au cours de la simulation, nous trouvons des résultats conformes et satisfaisants, nous arrivons à calculer l'angle et la position de l'encoche dans l'image principale. (Figure 77)

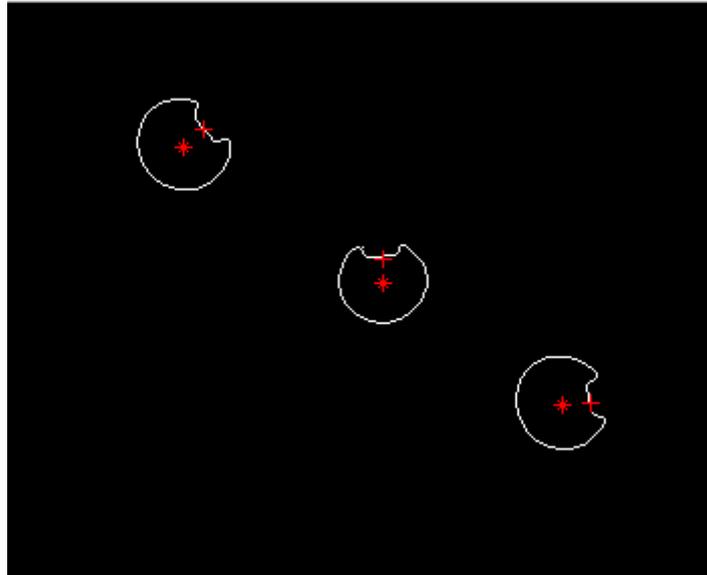


Figure.77 : Les trois pièces localisées et l'orientation calculé à partir de la morphologie mathématique et code de Freeman.

Ayant les coordonnées des pixels représentés par un '+' dans l'image nous arrivons à calculer l'angle et la distance de l'encoche par rapport au centre de la pièce localisée.

Alors pour les coordonnées suivantes :

X	Y	
73	68	→ coordonnée du centre 1, C1
84	57	→ coordonnée de l'encoche 1, E1
188	144	→ coordonnée du centre 2, C2
185	130	→ coordonnée de l'encoche 2, E2
292	213	→ coordonnée du centre 3, C3
306	208	→ coordonnée de l'encoche 3, E3

Donc la distance entre le centre 1 et l'encoche 1 est $D1 = \sqrt{(11^2 + (-11)^2)} = 15.55$ pixels.

Pour l'angle : $\theta1 = \text{Arccos}(11/15.55) \approx 45^\circ$.

Donc $D1 = 15.55$ pixels et $\theta1 = 45^\circ$

Même calcul pour les deux autres pièces,

$D2 = 14.3$ pixels et $\theta2 \approx 102^\circ$

$D3 = 14.8$ pixels et $\theta3 \approx 19^\circ$

Pour ce type d'application, les deux méthodes Hough et Freeman ont démontré une certaine efficacité et la stabilité des résultats dans des conditions ambiantes. En effet, ces essais ont eu lieu dans des conditions normales sans luminosité artificielle ou industrielle.

IV.5 ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTS ALGORITHMES, HOUGH ET FREEMAN

A ce stade, la comparaison entre les deux méthodes doit prendre place,

Au niveau de l'implantation :

Une facilité évidente dans l'implantation de la méthode de Freeman, l'algorithme n'est pas trop compliqué à réaliser sous différents langage de programmation, alors que la difficulté avec la transformé de Hough est évidente, la somme sous différentes angles de projection est lourde en temps de calcul, alors que la méthode de Freeman ne fait que chercher la succession des différents pixels blancs dans l'image, ça se résume à la succession des valeurs non nuls dans une matrice.

Au niveau des performances :

Un défaut inévitable provoque une instabilité des résultats pour la méthode de Freeman, la discontinuité du contour peut provoquer des résultats complètement faux. Par contre, la transformée de Hough, ne pose aucun problème parce qu'elle n'est pas basée sur la succession des pixels. N'oublions pas que la discontinuité du contour ne doit pas avoir lieu, surtout si le contrainte de la luminosité est respecté pour l'algorithme de détection de contour.

Les résultats simulation sont regroupés dans le tableau ci-dessous, notons que les deux méthodes sont un peu sensibles au niveau de la résolution de l'image. Il faut néanmoins s'assurer d'une présentation de contour bien réel de la pièce. Quand la résolution est faible le contour de la pièce surtout circulaire s'aplatit, on perd alors de l'information.

Pour la comparaison numérique entre les résultats des deux algorithmes :

Méthode Cercle	Transformée de Hough		Morphologie par Freeman	
	Distance	Angle θ	Distance	Angle θ
C1	15.5	41°	15.55	45°
C2	17.5	96°	14.31	102°
C3	16.5	12°	14.86	19°

Tableau N°4. Tableau représentant les résultats de morphologie calculés par Hough et Freeman

Nous remarquons une légère différence des angles à cause des légers différends entre les méthodes Hough et Freeman, mais surtout de la faible résolution de la caméra. Au niveau de la distance aussi mais ça c'est dû à l'algorithme de calcul par Freeman qui nous donne les coordonnées du centre de la pièce et la position de l'encoche, la transformée du Hough fournit aussi en résultat les cordonnées de la pièce et l'encoche. Ces différences de calculs sont très faibles car cela reste à l'échelle d'un ou deux pixels voir fig.78

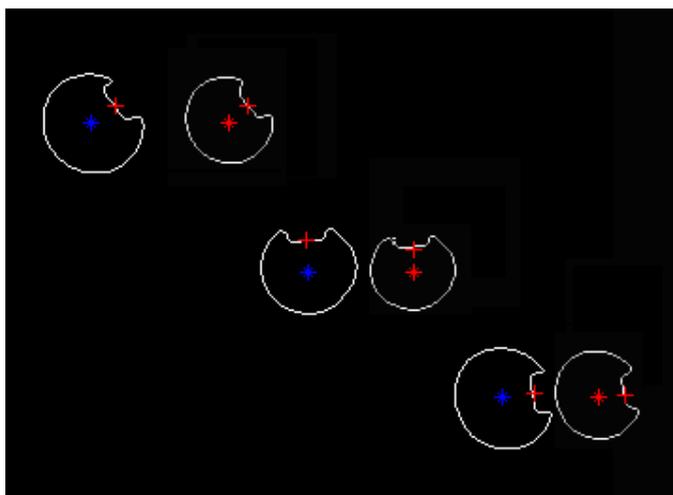


Figure.78 Comparaison visuelle des résultats.

Nous constatons que c'est surtout la position du centre de la pièce qui influence les légères différences entre les deux méthodes.

Dans le tableau ci-dessous nous résumons les résultats de comparaisons des différents aspects entre les deux méthodes de calcul de l'orientation des contours des pièces. Dans ce tableau nous précisons laquelle des deux méthodes est la plus rapide, la plus facile à implémenter, la plus précise et la plus stable en cas de perturbation (luminosité ou autre).

Nous pouvons regarder les résultats des comparaisons dans le tableau suivant :

Performance	Rapidité	Implantation	Précision	Stabilité
Freeman	+	+	-	-
Trans. Hough	-	-	+	+

Tableau N°5. Tableau de comparaison des points fort et faible des deux méthodes

La différenciation entre les deux facteurs précision et stabilité n'a pas lieu si nous assurons une luminosité stable (maîtrise de l'éclairage). D'ailleurs la stabilité de l'image est aussi primordiale, c'est-à-dire que la caméra ne doit pas être déviée par vibration ou autre incident, sinon notre système ne serait plus sûr.

Enfin l'étape importante pour la sûreté de l'installation c'est les zones de redondance, pour augmenter la précision des résultats et aussi l'efficacité du système. En augmentant la taille de ces zones nous augmentons par ailleurs la redondance de la vision et par ailleurs la fiabilité du système en cas de perturbation ou en cas de défaillance d'un des systèmes, la synchronisation des résultats des deux systèmes de vision redondant, permet de diminuer la probabilité de défaillance du système de commande.

Les essais appliqués sur plusieurs pièces avec deux systèmes de vision exposés à différentes distances mais aussi différents angles. La localisation des pièces se fait sans encombre sur les deux systèmes. L'envoi des résultats des deux systèmes de commande permet d'avoir une source d'information auxiliaire en cas de défaillance. L'acquisition des images se fait au même moment sur les deux caméras USB installées sur le PC. (Figure 79)

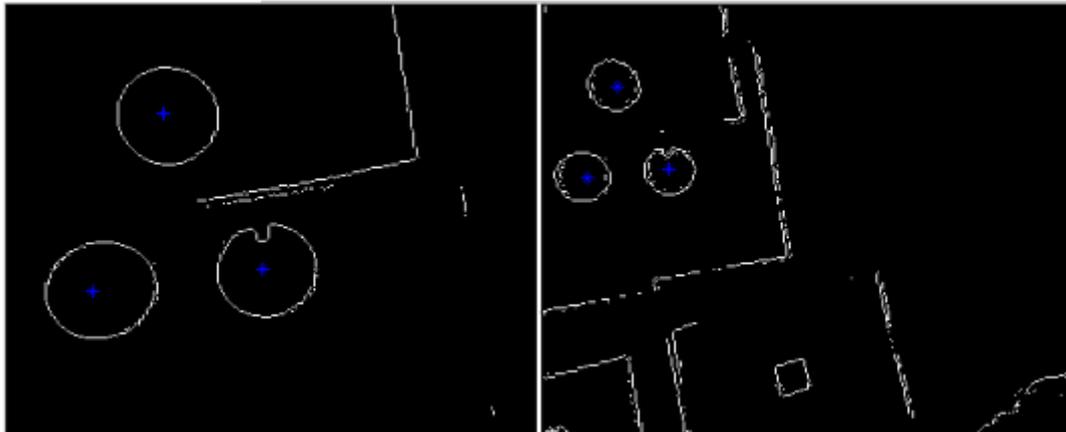


Figure.79 : Localisation des mêmes pièces par deux systèmes de vision redondants

L'architecture du système de commande avec des caméras redondantes n'est pas trop différente de l'architecture principale. En effet, il suffit d'ajouter une autre caméra sur le réseau de l'installation en s'assurant une couverture commune de champ de vision de la première caméra. Le reste n'est qu'une mise en place typique d'un système de vision. (Voir figure 80)

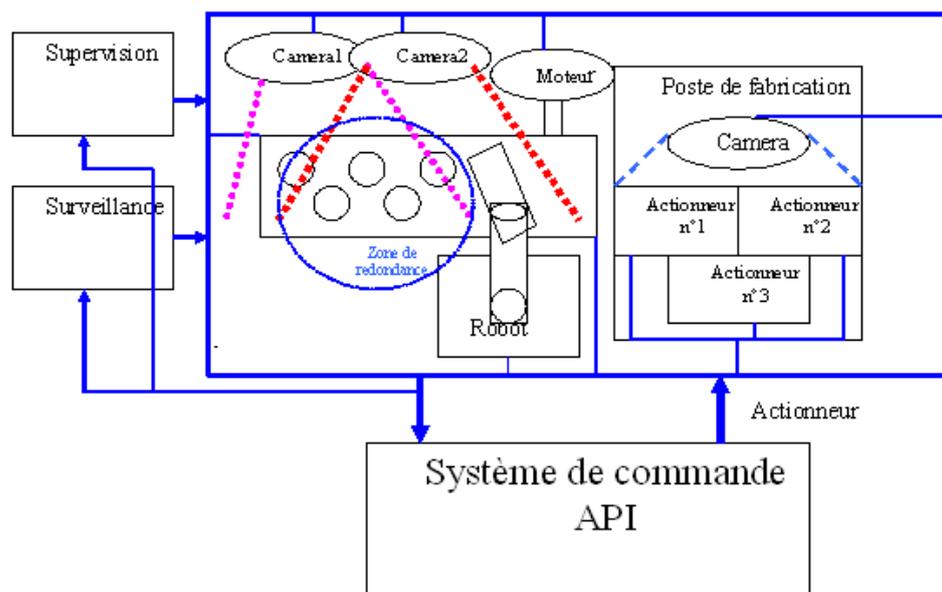


Figure.80 Installation d'un système de commande avec un système de vision redondant.

Dans la partie comparative aussi, nous pouvons établir un bilan sur l'action de chaque algorithme sur l'imagerie. En effet dans le tableau N°6, chaque algorithme est classé suivant son efficacité par rapport à une tâche de vision bien précise.

Détection Méthode	Contour	Mouvement	localisation	Défaut de forme	Défaut d'aspect
Canny	1				
Gradient Image		1			
Corrélation			1		
Hough			2	1	1
Freeman				2	2

Tableau N°6. Tableau représentant l'action de chaque algorithme ou méthode

Chapitre V-Interface et codage

Dans ce chapitre, nous serons avec une présentation de l'Interface Homme-Machine (IHM) réalisée au cours de cette thèse. Cette interface sert à la mise en service du système de commande par vision. la programmation et les différentes vues sont réalisé à l'aide de Matlab- GUI builder.

V.1 *INTERFACE HOMME-MACHINE, IHM*

VII.2.1 **Définition :**

L'interface homme machine est définie étant le moyen matériel ou logiciel permettant à une personne de communiquer avec un programme (configuration ou supervision). Des exemples d'IHM sont les fenêtres, les boutons et menus déroulants.

L'interface est un programme créé pour simplifier l'accès de l'homme à la configuration ou la mise en service d'un matériel configurable par informatique. En effet, le cas le plus fréquent dans le domaine de la vision consiste à avoir une interface visuelle pour la programmation et la configuration.

Dans le cadre de cette thèse, une interface est mise en place pour la configuration du système de commande sans avoir recours à des connaissances assez étendue dans le domaine de la vision.

L'interface est formé par un programme de différentes vues qui forment toutes les étapes de la configuration jusqu'à la mise en service.

VII.2.2 **Rôle et fiabilité :**

L'interface a un rôle très important dans le cadre de cette thèse. En effet, l'interface permet de minimiser le temps de la configuration et de la mise en service du système de commande par vision.

Les différentes étapes sont testées et bien définies pour correspondre bien à la globalité des cas possible de configuration.

La fiabilité de l'IHM est assurée du faites que les différentes étapes sont testées au préalable. Par ailleurs, la fiabilité de l'interface d'une façon fonctionnelle, dépend de la fiabilité du système d'acquisition des images, de la fiabilité du PC ou du Microprocesseur et finalement de la communication avec le système opérative ou l'automate programmable.

V.2 *DIFFERENTES ETAPES ET VUES*

L'interface graphique est faite pour faciliter la tâche de l'utilisateur à mettre en œuvre le système de commande par vision. L'interface comprend trois parties indépendantes (voir figure 81) :

- ✓ initialisation de l'image
 - La visualisation de l'image et choix de l'image standard
 - Choix de taille de capteurs
 - Positionnement des capteurs
- ✓ affectation des poids pour chaque capteur

- ✓ Lancement de la simulation et envoi des données vers l'automate

La figure 81 représente la première vue de l'interface qui s'affiche au lancement de notre programme. Chaque bouton représente une des étapes à accomplir avant le démarrage du cycle de commande

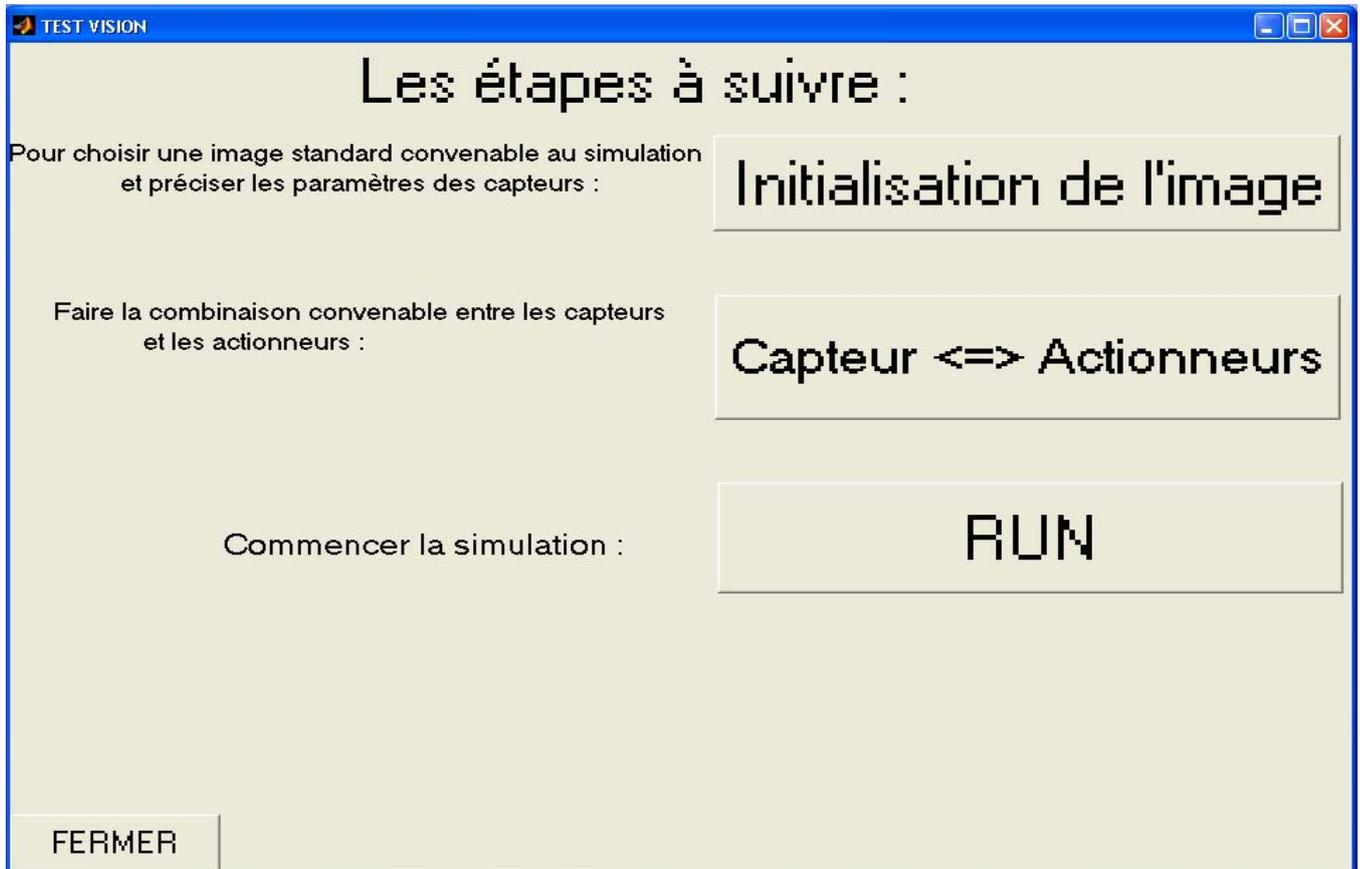


Figure.81 C'est la première page de l'interface réalisée avec le GUI builder sous matlab.

La première page de l'interface contient les consignes et les étapes à suivre pour faire une simulation assez démonstrative. Voici par la suite les différentes parties à suivre dans la simulation, normalement cet ordre d'exécution de ces tâches est strictement indispensable.

Initialisation d'image : Positionnement de la caméra, visualisation du champ de surveillance et validation de l'image modèle. Première étape du début du traitement, dans cette partie on peut visualiser l'image provenant de la caméra, prendre le temps pour bien régler le zoom et positionner la caméra dans une place bien stable. Une fois que la caméra est bien positionnée, nous pouvons extraire la première prise d'image dont nous allons transformer à une image standard pour la comparaison. Voici la première étape d'initialisation, la visualisation de l'image (Voir figure 82)

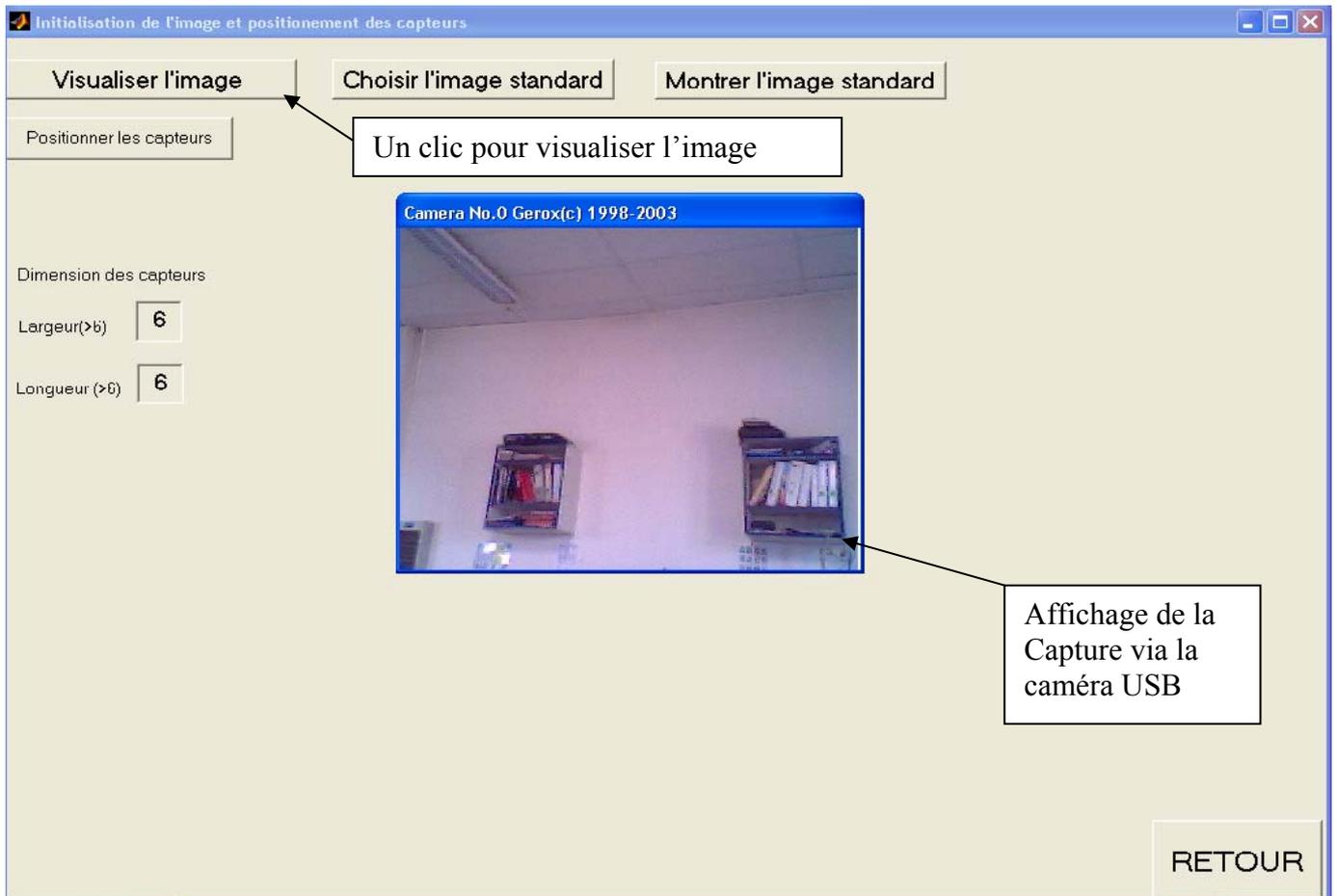


Figure.82 : La petite fenêtre nous montre ce que nous pouvons voir via la caméra.

Une fois que nous visualisons l'image, nous pouvons justifier le champ de vision en réglant la position de la caméra, jusqu'à l'inclusion de tout le champ voulu pour l'insertion des capteurs. A ce point là, nous choisissons l'image standard et en appuyant sur le bouton 'montrer l'image standard' nous aurons l'image standard en fond d'écran dans la page de l'interface (Voir figure 83). L'image sera affichée en niveau de gris.

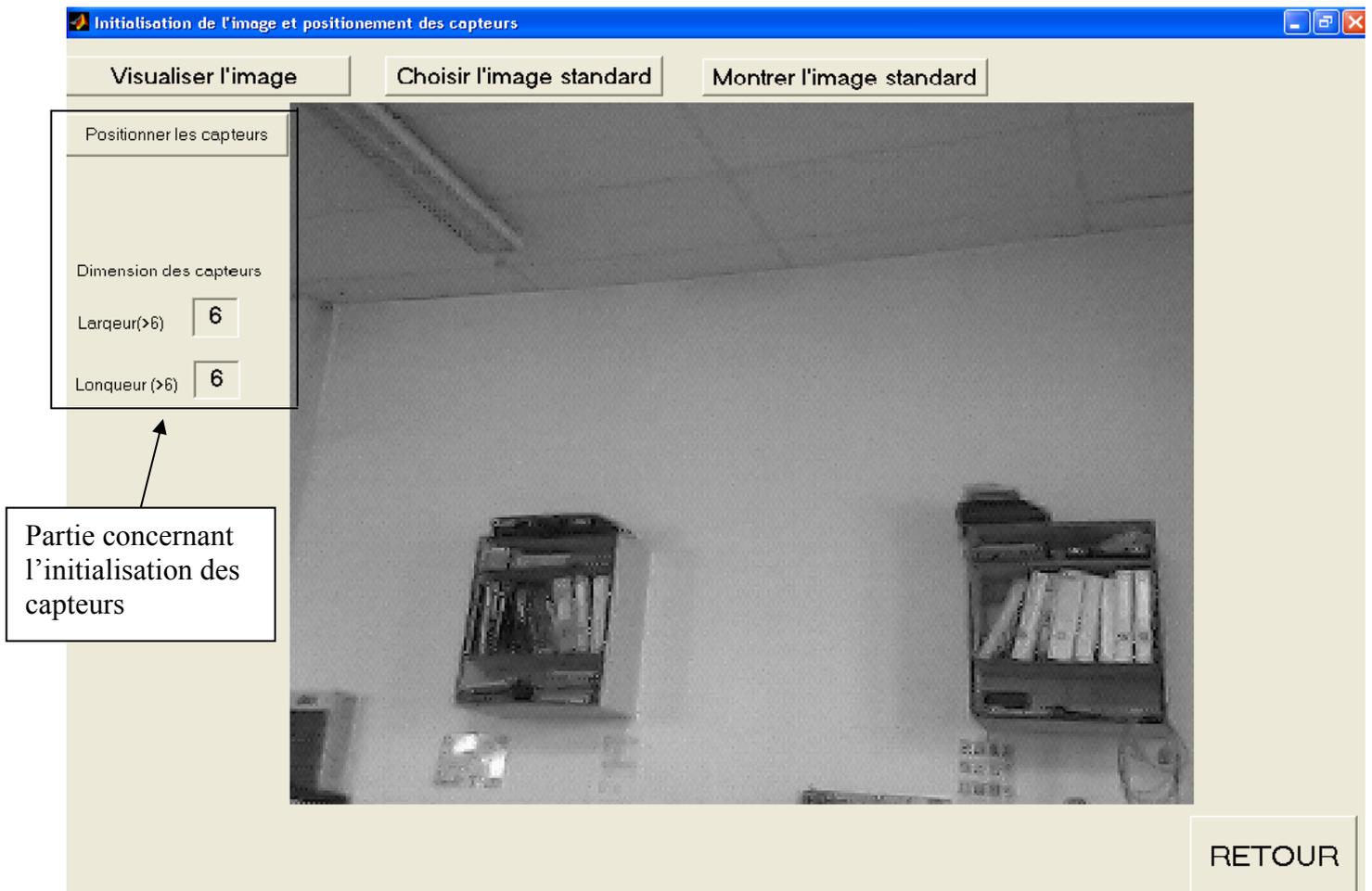


Figure.83 : Visualisation de l'image standard choisie, aussi les paramètres de dimension des capteurs.

Initialisation de capteur : Préciser la taille du capteur et positionnement des capteurs sur l'image modèle. Dans la figure 83, nous pouvons voir que la taille de chaque capteur est de 36 pixels, vu que longueur et largeur des capteurs est de 6 pixels. Si nous appuyons sur le bouton positionner les capteurs, le pointeur (flèche de la souris) se transforme en une croix qui va nous aider à bien choisir l'emplacement des capteurs par rapport à des repères horizontaux ou verticaux, normalement on s'intéresse que pour les pixels contenus dans la zone des différents capteurs. Les champs concernant la taille des capteurs (partie concernant l'initialisation des capteurs), une fois que les deux dimensions des capteurs sont précisés (c'est la valeur 6 x 6 par défaut) un click sur le bouton 'positionner les capteurs' peut enclencher la tâche de positionnement des capteurs (figure 83)

Une chose importante concernant la taille des capteurs qu'il faut prévoir, c'est que la taille de couverture des pixels est limité à la distance de positionnement de la caméra, alors si on positionne la caméra à 2 mètre de la pièce et on a des pièces qui font 10cm² de superficie visuelle, et que chaque pixels présente 1cm², d'autre part si on choisit une taille de capteur qui fait 20 pixels alors 20cm², le passage de la pièce ne déclenchera pas l'état du capteurs surtout si nous précisons que 90% des pixels devait changer d'état pour déclencher le capteur.

Initialisation des poids des capteurs : Nous désignons un poids pour chaque capteur correspondant à sa position dans le mot mémoire envoyé vers l'automate (Voir mot binaire ci-dessous), par exemple si le capteur n°1 est en action alors le bit numéro zéro du premier octet du mot mémoire sera à 1, alors le mot mémoire envoyé à l'automate sera

Bit zéro du premier octet.



[1111 0001 1111 0000].

Donc les capteurs réagissent autant que des capteurs de présence binaire, les capteurs donnent 1 en cas de présence d'une pièce ou de mouvement à l'intérieur de leur zone d'intérêt et zéro sinon.

V.3 INSTALLATION DES CAPTEURS VIRTUELS, CONFIGURATION

L'installation des capteurs virtuels représente une tâche importante pour la fiabilité de la partie commande. Le bon emplacement de chaque capteur peut être très important.

Une fois la position des capteurs est bien définie, le positionnement des capteurs se fait facilement avec l'IHM. En effet en appuyant sur le bouton positionner les capteurs, dans la vue « initialisation de l'image et positionnement de capteurs » (voir figure 83), une croix aidant à positionner les capteurs virtuels avec plus de précision dans l'image initiale. (voir figure 84)

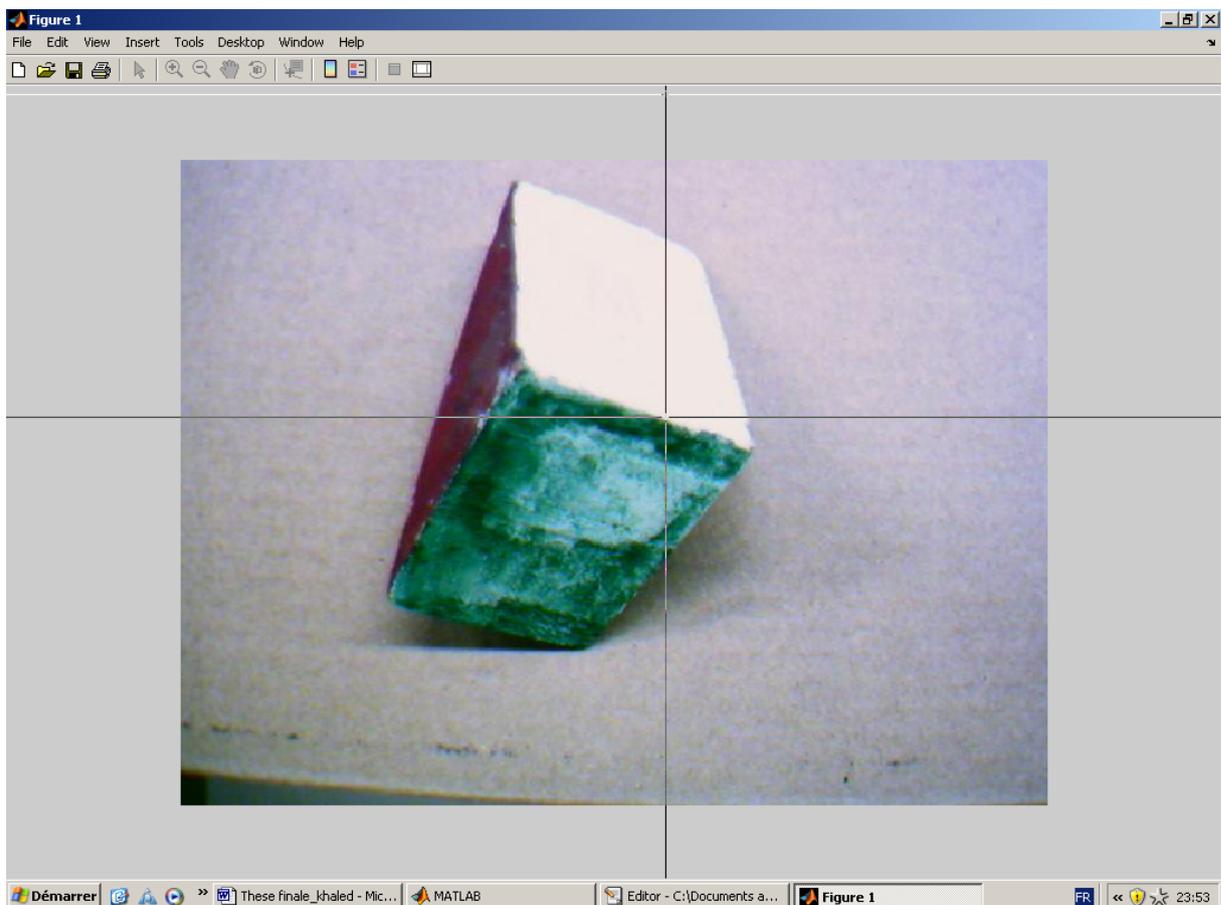


Figure.84 Affichage de l'image initial pour le positionnement des capteurs

Suivant le cahier de charge, précisé à l'avance par l'application, la tâche de positionnement n'est qu'une formalité pour la finition de l'application. Suit aussi le type d'algorithme à appliquer pour chaque zone d'intérêt ou capteur virtuel choisi.

V.4 CODAGES DES INFORMATIONS

Les résultats binaires,

Différentes qualités d'informations sont calculé à partir des capteurs virtuels. Des informations binaires représentant un mouvement ou une présence dans les capteurs virtuels.

Encore d'autre qualité pouvons être traduite par une information binaire, comme la qualification d'une pièce, si elle est bien usinée ou pas.

Dans le cas de reconnaissance de forme et détection de défaut, ce n'est que la qualité des pièces qui est jugés alors il n'y a que l'information binaire est intéressante pour la partie commande.

Les résultats analogiques,

Autre informations pouvant être transmises qui sont de valeurs analogiques comme la position, vitesse, qualité morphologique, c'est les résultats des algorithmes de détection de contour combiné à la reconnaissance de forme par Hough, Freeman ou par corrélation.

Les valeurs binaires, calculés par les algorithmes de vision, sont codés dans la vue représentée dans la figure 85.

The screenshot shows a software window titled "Capteurs & Actionneurs" with a sub-window "Untitled 1". The interface is a form with two columns of labels and two columns of input fields. The labels on the left are "Capteur n°1", "Capteur n°2", "Capteur n°3", and "Capteur n°4". The labels on the right are "Capteur n°5", "Capteur n°6", "Capteur n°7", and "Capteur n°8". Above the input fields, the text "Numéro d'actionneur :" is repeated twice. The input fields contain the numbers 1, 2, and 3. At the bottom right, there is a button labeled "RETOUR".

Capteur	Numéro d'actionneur	Capteur	Numéro d'actionneur
Capteur n°1	1	Capteur n°5	
Capteur n°2	2	Capteur n°6	
Capteur n°3	3	Capteur n°7	
Capteur n°4		Capteur n°8	

RETOUR

Figure.85 Choix de position ou poids de chaque capteur virtuel dans le mot binaire à transmettre à la partie opérative

Cette étape sert à construire le mot binaire d'une façon adéquate à l'application, en effet, l'ordre de positionnement des capteurs se fait dans l'ordre croissant par défaut pour former un mot binaire. Alors qu'en utilisant cette tâche nous pourrions donner une position différente pour chaque capteur virtuel dans le mots mémoire envoyé à la partie opérative.

V.5 TRANSMISSION DES INFORMATIONS

Envoie, par Port parallèle, Ethernet

Une tâche de transmission asynchrone à la fin de chaque cycle de traitement se fait pour rafraîchir l'état des capteurs auprès de l'automate. Normalement nous n'avons pas prévu d'installer plus de huit capteurs alors à l'initialisation nous pouvons définir un nombre inférieur ou égale à huit comme nombre de capteur.

Une trame de données (16 bits), huit bits seulement représentant l'état des huit capteurs, est envoyée vers l'automate via le port série du PC. A priori on peu installer un nombre de capteur infini mais on limite le nombre de capteurs à huit pour pouvoir donner à chaque capteur un poids correspondant à sa place dans le mot envoyé à l'automate.

Alors le capteur de poids 1, par exemple, sera le bit N° 1 dans le mot transmis, en fat c'est le cas des quatre première capteurs, les quatre dernier poids (les plus fort c'est-à-dire '4,5,6 et 7') sont affecter au bit mémoire respectivement '8,9,10 et 11'. La transmission des données se fait suivant le protocole de communication de port série UNITELWAY, entre le PC et l'automate TSX Micro.

Réception,

L'envoi des trames de données se fait d'une façon Asynchrone entre le PC et l'automate, pour éviter les pertes de temps, pour cela la première tâche exécutée par l'automate est de se mettre en état de réception d'une manière continue pour ne pas risquer la perte des informations transmises par le PC.

Une tâche de mise en réception renouveler tout les 100ms est mise en place parce que la vitesse d'acquisition et de traitement avec Matlab sera dans les meilleurs de l'ordre de 10 images/seconde. D'autre part, la synchronisation entre le PC et l'automate conduira à une perte de temps très importante.

Par ailleurs, Suivant les besoins du processus de fabrication industrielle, l'automate peut être programmer de différentes façons, en fonction des combinaisons possibles de l'état des capteurs. Par exemple, pour la maquette faite chez SERPAC Industries, le démarrage de l'installation se fait dès qu'une pièce est détectée au bord du convoyeur au niveau du capteur N°1, par contre l'accélération du passage après le passage de la pièce au mi-

chemin du tapis se fait dès que la pièce est localisé pour 500ms au niveau du capteur N°2 sans être capturé au niveau du capteur N°3.

V.6 CONCLUSION

Une interface graphique peut permettre de réduire significativement le temps d'installation et de configuration de notre système de commande.

L'IHM sera la clef d'un produit fini assez compétitif dans le monde industriel. La facilité et l'efficacité de la mise en service de notre système seront complètement dépendantes de l'interface.

Nous constatons que l'IHM permet, pour les applications industrielles citées dans le prochain chapitre, une configuration sans grandes difficultés et avec une vitesse assez convaincante.

Une fois les pièces types et le choix des algorithmes sont précisés dans le cahier des charges de l'application, il suffit d'enclencher l'IHM pour activer l'application de commande.

La modification de la totalité de la configuration est possible et tout simplement en quelques clics. En effet la configuration de notre système de commande par vision peut être modifié facilement car il suffit de la remise à jours des capteurs virtuels pour changer leur position, leur activité ou même leur nombre.

Chapitre VI- Applications industrielles

Ce chapitre présente les différentes applications réalisées au cours de la thèse. Nous avons réalisé trois applications concluantes dans différents domaines. Ces trois applications illustrent le large champ d'application de la vision industrielle. C'est ainsi que, pour des opérations de tri, l'entreprise SERPAC a mis à disposition son installation pour l'implantation d'un système de tri des colis par vision.,

Concernant la détection de défauts, les essais ont été réalisés à l'AIP de Grenoble. . Pour illustrer les aspects détection de défauts de couleur et de forme, nous avons proposé une installation complète pour le tri des noix.

VI.1 PRINCIPE ET OBJECTIF :

Des essais ont été effectués pour la validation de la faisabilité de la méthodologie proposée pour la commande et la détection de défauts par un système de vision. Le premier concerne la réalisation d'une maquette de test au sein de l'entreprise SERPAC. Dans le second essai, il s'agit d'une autre application concernant l'identification de défaut de pièces réalisé au sein de l'AIP. La dernière application porte sur l'identification de défaut de forme et de couleur et elle a été réalisée dernièrement au sein du Laboratoire d'Automatique de Grenoble. Une application est testée par deux outils de programmation Matlab et Scherlock. Le logiciel Matlab a été choisi pour ses qualités de multi logiciels ou différentes boites d'outils de programmation pour le traitement d'image comportant l'acquisition d'image, la détection de mouvement, le filtrage d'image et reconnaissance de forme. Sherlock a été choisi pour sa puissance de traitement à une vitesse de traitement avec la possibilité d'intégrer différents algorithmes de traitement d'image.

L'application consiste à développer un algorithme qui permet d'intégrer dans un seul et même système, la partie opérative et la partie supervision et surveillance. Cet algorithme permettra ainsi de contrôler un système de tri de colis de différentes tailles, sans avoir recours à des capteurs classiques et en se basant sur la seule source d'information : le système de vision.

La première application de SERPAC nous a permis de comparer les performances de Matlab qui est utilisé dans le milieu universitaire, et Scherlock qui est plus destiné à des applications industrielles. Outre le coût d'acquisition, le premier constat est que l'exploitation de Matlab ne nécessite pas de caméra sophistiquée pour obtenir des résultats aussi convaincants que Scherlock. La programmation sous Matlab dans le cadre de cette thèse reste dans le domaine de l'expérimental mais nécessite des développements supplémentaires pour arriver au but visé.

L'application industrielle avec Scherlock en revanche a prouvé une efficacité incontestable. C'est un outil de programmation assez complet mais il reste limité à certaines applications, comme son rôle de départ pour la surveillance ou le contrôle d'un poste dans le processus de fabrication. L'application avec Scherlock sera détaillée dans ce chapitre où seront mises en évidence les différentes étapes de l'application et les résultats pratiques obtenus.

Concernant Matlab, les différents algorithmes ont été déjà cités dans les chapitres précédents et ont été utilisés pour les applications suivantes : le positionnement des capteurs virtuels, la détection de mouvement ou de présence, l'envoi de commande à l'automate. De plus, suivant l'application, d'autres algorithmes décrits dans le chapitre précédent sont expérimentés.

VI.2 MATLAB ET SCHERLOCK 6.1 : EXPERIMENTATION EN ACQUISITION ET TRAITEMENT D'IMAGE

VI.2.1 Acquisition d'image

L'acquisition d'image qui est intégré sous Scherlock, se fait avec des simples commandes sous Matlab. Pour la partie apprentissage, avec Matlab, elle sera intégrée dans la partie pré-

étude de l'interface, et avec Sherlock, elle se fait au cours de la mise en place du système de vision.

La vitesse d'acquisition sous Matlab est dépendante des performances de la caméra (ex :15 Images/sec pour une Webcam). La vitesse d'acquisition ne peut pas dépasser la vitesse de la caméra. Si la vitesse d'acquisition est plus rapide de la caméra, l'algorithme de traitement d'image pourra traiter la même image plusieurs fois, parce qu'elle ne sera pas renouvelée par la caméra. Concernant le système de vision Sherlock, la vitesse d'acquisition est de 50 Im/sec, c'est trois fois plus rapide que la Webcam, en plus la résolution est trois à quatre fois plus grande. Le fait que la résolution soit encore plus importante assure une qualité de traitement plus précise, la pixellisation de la même zone se fait avec 4 fois plus de pixels qu'avec la Webcam.

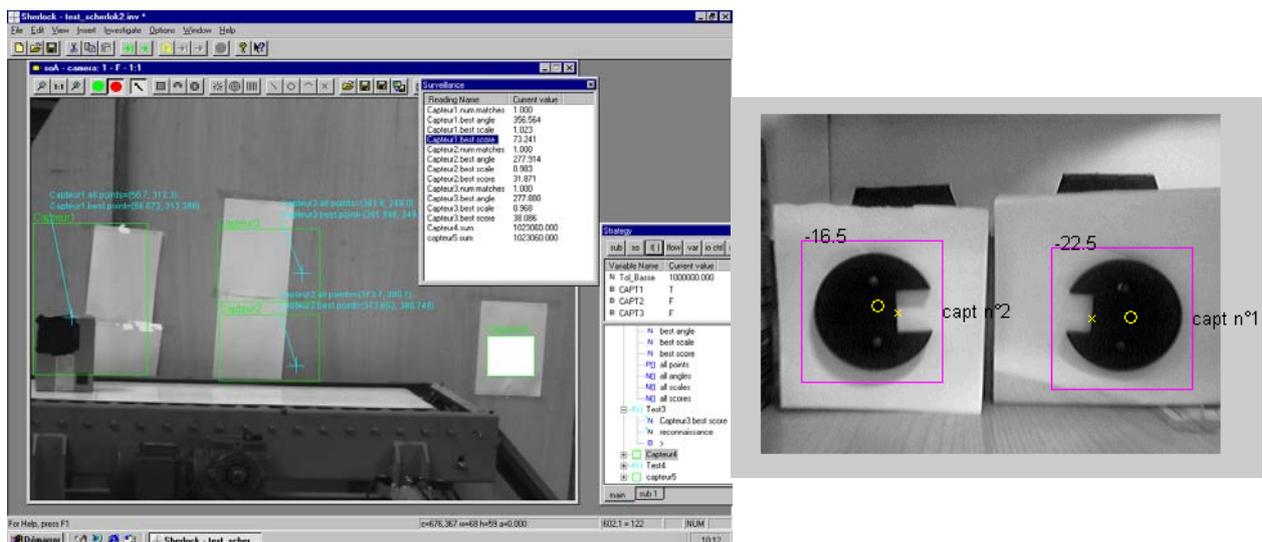


Figure.86 Différente acquisition d'image avec des zones d'intérêt, faite avec sherlock à gauche et matlab à droite

Dans la figure 86, les zones d'intérêt sont définies suivant les besoins de chaque application, pourtant avec Sherlock, vu la taille de l'image et la grande résolution et surtout la vitesse de traitement, le système reste plus réactif malgré le nombre important de capteur.

L'acquisition et le traitement d'image se font successivement ce qui diminue la réactivité du système, Matlab jusqu'à 4 Im/sec et Sherlock jusqu'à 10 Im/sec. Les algorithmes de traitement sont différents dans les deux cas.

En choisissant les zones d'intérêt, les pièces seront référencées par leur numérisation comme des pièces types. En différenciant les pièces types, le contrôle commande par vision est réalisé en choisissant celles qui seront classées comme bonnes et en rejetant les autres, classées comme mauvaises.

Une fois la partie apprentissage est terminée, la suite sera équivalente pour les deux logiciels testés au sein du laboratoire d'automatique de Grenoble et de la société SERPAC.

Les différents algorithmes et méthodes utilisés pour le traitement d'image sont cités dans les différents paragraphes qui suivent.

VI.2.2 Algorithmes de traitement d'image

Scherlock, c'est un outil industriel performant doté d'une interface qui facilite la programmation et la mise en service. Les résultats de traitement d'image de chaque algorithme sélectionné sont visualisés en temps réel (Voir figure 86).

Les algorithmes spécifiques à Scherlock sont des algorithmes de reconnaissance de forme pour des images monochromatiques. L'acquisition des images en qualité monochromatique permet une stabilité des résultats et une vitesse d'acquisition plus importante.

Les différents algorithmes du traitement d'image restent dans le cadre de supervision ou de détection de défaut et jamais en qualité de remplacement de la globalité du système d'acquisition. En fait, les systèmes de vision industrielle sont en grande majorité des systèmes de contrôle qualité.

VI.2.3 Réactivité

Une importance majeure et nécessaire dans une application industrielle est que le système de vision soit capable de fournir un résultat global avec un temps de réactivité le plus faible possible. Ce temps de réaction qui comprend, le temps d'acquisition et la durée de traitement doit être plus petit que le cycle de la partie commande. Le non respect de ce temps entraîne des pertes d'informations et de production.

Au niveau de la réactivité, le système Scherlock peut facilement avec son système d'acquisition et son logiciel puissant réaliser des résultats très convaincants par rapport à Matlab.

Le temps de réactivité du système de vision ImaSys (Scherlock) est de 10 Im/s pour l'application chez SERPAC. Pour la même application avec Matlab tout dépend bien sûr de la connexion avec la caméra et la vitesse du traitement du processeur de l'ordinateur. Malgré une limitation avec la caméra USB de 15 Im/s pour l'acquisition, la réactivité du système pour l'application chez SERPAC tourne autour de 5 Im/s.

D'autres systèmes de vision fournissent des résultats assez impressionnants, comme les systèmes de vision cognex qui sont les plus avancés par rapport aux autres, au niveau de la réactivité et de la sûreté de fonctionnement. Ils fournissent une réactivité de plus de 100 images par seconde et un logiciel de traitement d'image très variable entre la reconnaissance de forme et l'identification de défaut par couleur. En effet le temps de réactivité de ces systèmes est de l'ordre de quelques millisecondes et l'un des meilleurs au monde.

VI.2.4 Sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement de l'installation est assurée par des études de mises en place de zone de redondance sur le processus de fabrication. L'emplacement de plusieurs caméras, comme dans la figure 87, permet d'augmenter sensiblement la sûreté de l'installation, en plus la possibilité de combinaison d'algorithmes par les différents systèmes de vision. En partageant les différents algorithmes sur les différents systèmes de vision la réactivité et l'efficacité peuvent être nettement améliorées.

En améliorant les algorithmes de traitement d'image jusqu'à la reconnaissance de forme, les perturbations et la perte d'information dues aux vibrations du système de vision ou même le passage d'une personne devant la caméra n'auront plus d'importance.

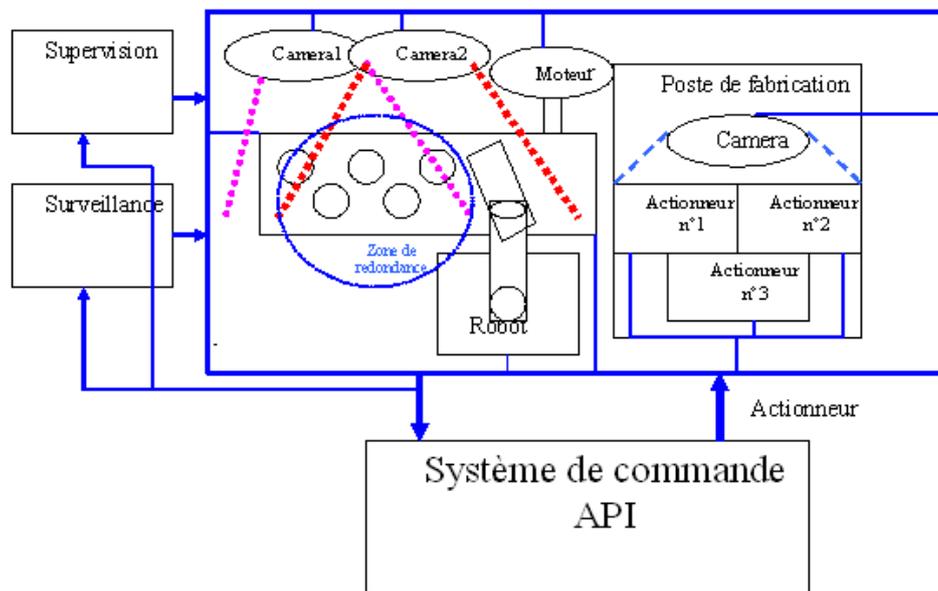


Figure.87 : Deux caméras (1 et 2) avec une zone de redondance

La reconnaissance de forme permet de limiter l'envoi des informations fausses à la partie de commande. Une autre défaillance était traitée au cours de cette thèse, c'est la minimisation de l'influence de la luminosité sur les algorithmes de traitement d'image.

En utilisant des algorithmes de changement d'image de type RGB en YCbCr, le plan de luminosité est isolé automatiquement en éliminant le plan Y de la présentation YCbCr. Alors en favorisant l'application des algorithmes de traitement sur les plans Cb ou Cr. L'utilisation des deux plans de chrominance Cb et/ou Cr permettra de retrouver des résultats indépendants de l'influence de la luminosité. D'autre part, l'utilisation des deux plans de chrominance bleu et rouge permettra l'identification des couleurs bleu ou rouge facilement si ce sont les deux couleurs recherchées par les algorithmes d'identification de couleur.

Alors la sûreté de fonctionnement du processus de fabrication est améliorée à l'aide de l'utilisation des systèmes de vision. En général, les systèmes de vision sont des systèmes très fiables et la qualité des informations fournies par ces systèmes est plus efficace que celle fournie par la majorité des capteurs classiques utilisés dans les processus de fabrication (Chap.II) [ref. 18, 27].

VI.3 APPLICATION DE SERPAC

L'application chez SERPAC consiste à la mise en œuvre d'un système de tri de colis de différentes tailles en se basant sur les algorithmes de reconnaissance de forme. La capture d'une pièce au bout du convoyeur oriente la destination des colis. Ils seront différenciés en fonction de leur taille et la position d'un carré noir sur l'emballage de chacun des colis. Le convoyeur change de vitesse en fonction de la taille du colis, à mi-chemin. Si le colis est de petite taille la vitesse du convoyeur devient plus rapide. Dans le cas contraire, si le colis est grand, la vitesse reste constante.

L'application est faite avec Sherlock6.0 (support logiciel) et la caméra Imasys (support matériel).

Sherlock est un logiciel trop puissant dédié à la vision industrielle, c'est un outil complet, qui nous donne la possibilité de l'acquisition, le traitement d'image et la communication avec un périphérique. Un répertoire important au niveau des algorithmes d'apprentissage existe. L'intérêt de ces algorithmes est de faire le traitement ou la signalisation d'un paramètre par apprentissage. Par exemple un type de ces algorithmes est la somme des valeurs des pixels, détections des contours et d'autres.....etc.

Voici la caméra IMASYS CV-M50 (figure 88):



Figure.88 : Caméra imasys utilisée pour l'application de tri de colis chez SERPAC Industries.

Ce système de vision a une vitesse d'acquisition de 25 images/sec et a une résolution de 752(H) x582(V). La résolution de cette caméra est plus importante que celles de la caméra utilisée avec Matlab. De plus, la vitesse d'acquisition et de traitement est très grande par rapport à MATLAB qui est limité à moins de 5 image/sec.

Le même traitement peut être réalisé sous MATLAB. La robustesse du système avec Matlab est efficace car comme Sherlock, les actionneurs ne seront déclenchés qu'à partir des résultats de la reconnaissance de forme, or c'est la partie la plus importante concernant l'amélioration des algorithmes de traitement.

A chaque fois que l'algorithme dans le programme reconnaît une forme bien précise, dans la zone de surveillance des capteurs ROI (Region Of Interest) appelé aussi capteur virtuel, un signal est envoyé précisant la présence de la pièce au niveau du capteur correspondant(voir figure 89)

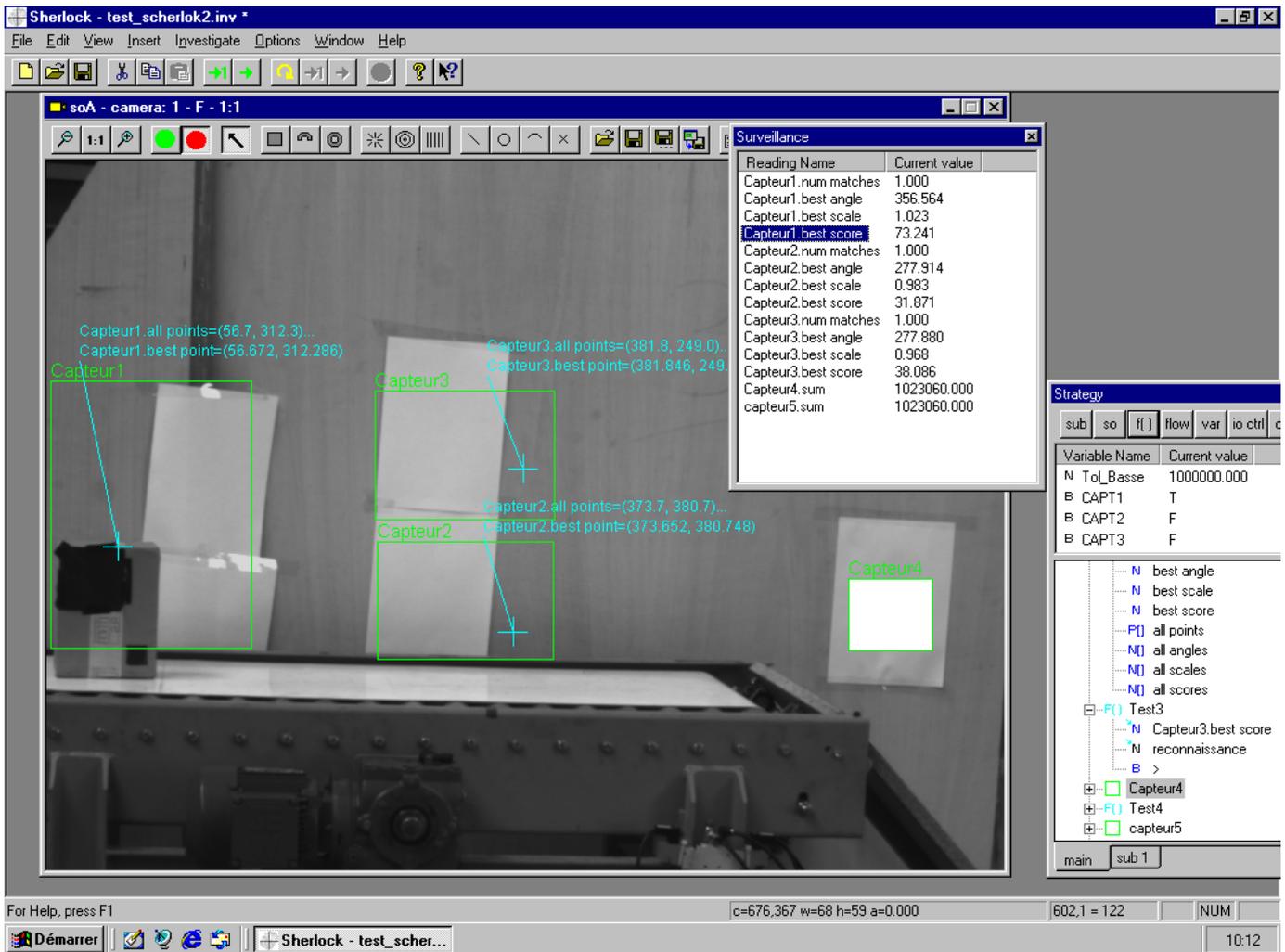


Figure.89 : Image de Sherlock durant l'application

Cette application consiste à différencier deux types de colis en localisant un carré noir sur chacun des colis. La localisation d'un carré noir dans la zone du capteur n°1 va déclencher le processus en actionnant le convoyeur. La localisation d'un carré noir dans la zone du capteur N°2 va augmenter la vitesse du convoyeur et alors le capteur N°4 de la fin de course va laisser glisser le colis vers le bas. Par contre la localisation d'un carré noir dans la zone du capteur N°3 va garder la même vitesse du convoyeur, mais en enclenchant le capteur de la fin de course le colis sera glissé à droite.

Nous remarquons que l'algorithme reconnaît bien le carré noir désigné sur la pièce à détecter, taux de reconnaissance « Capteur1.bestscore = 73,24 » ce qui veut dire un taux de ressemblance de 73 % entre la pièce détectée et l'image type choisie d'une pièce.

Le temps de traitement sous Sherlock n'est pas négligeable, il lui faut 13ms pour l'application d'un algorithme de reconnaissance de forme par capteur, 7ms pour un capteur de présence et à peu près 50 ms pour l'acquisition de l'image. Alors pour minimiser le temps de réponse, nous pouvons utiliser d'autres caméras industrielles qui peuvent aller jusqu'à 500 voire 1500 images/sec.

Une fois la boucle de traitement est fini une fonction de communication s'enclenche pour l'envoi d'une trame de données vers l'automate ; c'est la partie commande. Cette trame contient toutes les données associées aux états des capteurs, présence d'une pièce au niveau des capteurs (à partir de la reconnaissance de forme) et capture de présence. Un mot d'un

octet correspondant à chaque capteur est envoyé vers l'automate. C'est avec cette tâche de communication que le cycle de traitement recommence.

Ensuite, c'est au tour de l'automate de faire fonctionner l'actionneur adéquat, en fonction des données provenant du système de vision.

VI.3.1 Problèmes rencontrés:

Des nombreux problèmes sont envisagés pour la transformation de ce projet en sujet industriel, robuste et prêt à être installé sur des systèmes réels. Voici une liste des problèmes envisagés et résolus au cours de ma thèse au sein de SERPAC INDUSTRIE :

VI.3.1.1 Luminosité

C'est l'un des problèmes les plus importants dans le monde de la vision industrielle, surtout au niveau de ce projet parce que la caméra sera positionnée loin du convoyeur ou des pièces à surveiller, le champ de vision risque d'être perturbé par le changement de la luminosité ambiante. Rappelons qu'il ne s'agit pas de la surveillance d'une pièce bien éclairée (image de référence), où la moindre fluctuation de la luminosité, engendre des réponses non conformes. Ce système pour être industrialisé, devait être robuste avec une taux de défaillance ou d'erreur quasi nul.

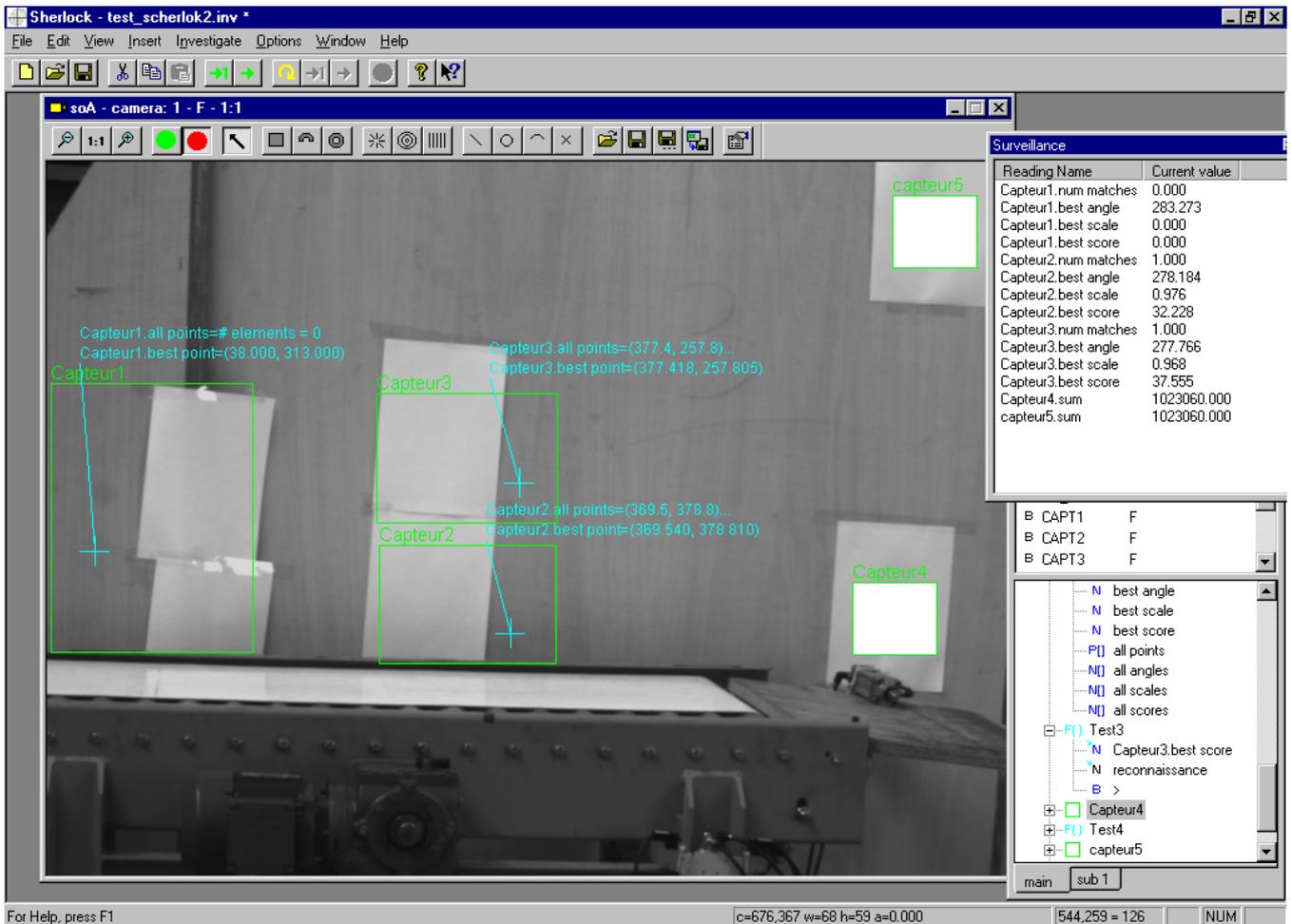


Figure.90 : Image de Sherlock, pour les capteurs 4 et 5 leur fiabilité est lié à la présence d'un fond blanc.

Pour cela on avait mis des fonds blancs (capteurs 4 et 5) pour être sûr que le changement de luminosité n'influencera pas notre système de traitement. En effet l'algorithme de reconnaissance de forme (capteur 1,2 et 3) n'est pas aussi sensible que l'algorithme de présence (capteur 4 et 5) qui est la somme des pixels dans la zone d'intérêt.

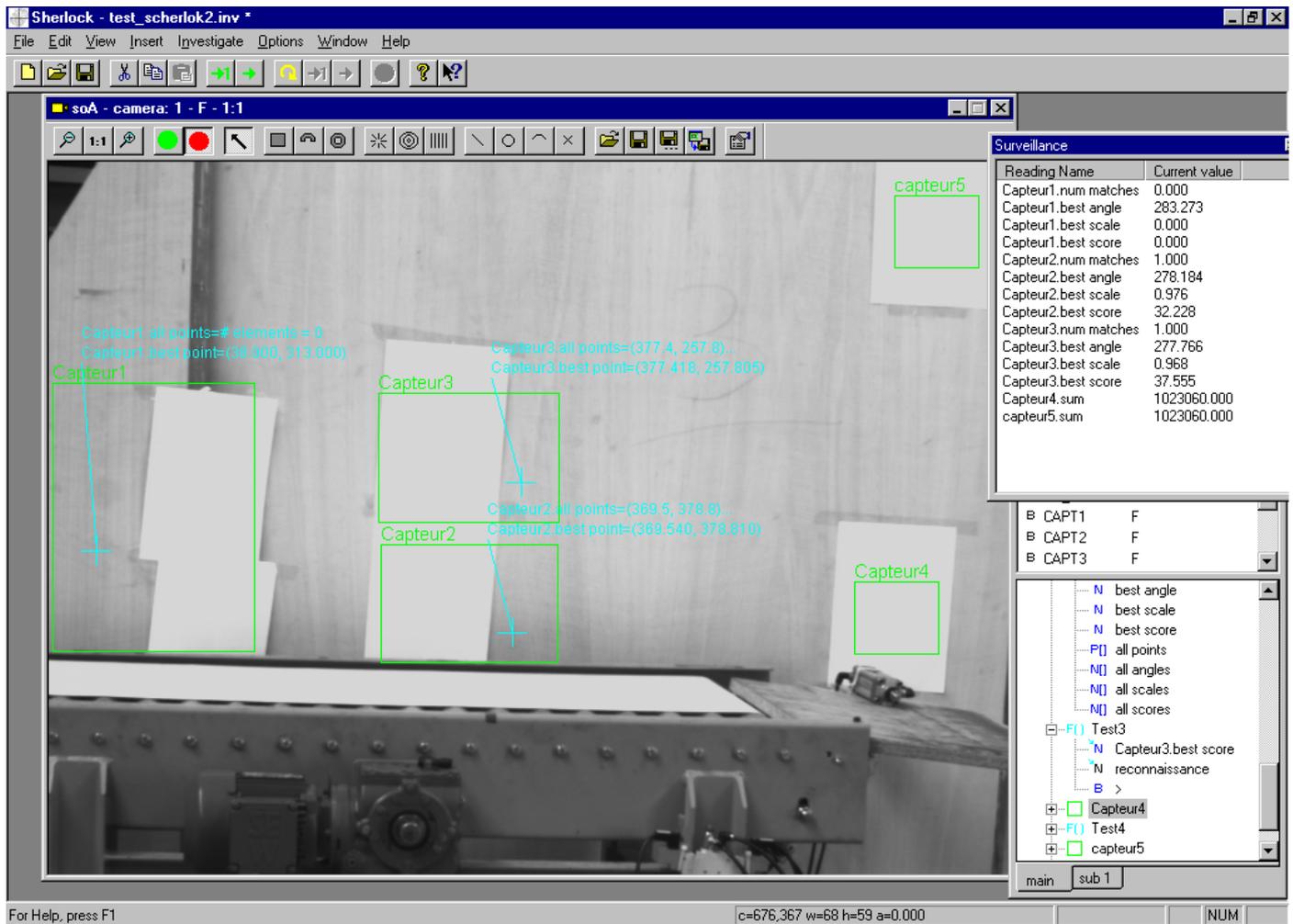


Figure.91 : Image de Sherlock, prise avec une intensité lumineuse ambiante plus importante.

Sur ces deux figures (90 et 91), nous pouvons bien voir l'influence de la luminosité distinguée à l'œil nu, ce changement ne perturbe pas le « score » de reconnaissance de forme surtout si nous avons bien choisi l'image type et que le fond de la zone de surveillance et la pièce à détecter sont de deux niveaux de gris assez différents. Alors notre système est robuste par rapport au changement de luminosité.

VI.3.1.2 Passage du personnel

L'un des défauts assez compliqué à traiter, c'est le passage d'une personne dans le champ de vision de la caméra dans le cas où c'est possible. Ce type de défaut est difficile à résoudre surtout que le système sous Matlab ne fait que la capture de mouvement au niveau des capteurs. D'autre part, le passage d'une personne devant la caméra peut se produire au même instant qu'une pièce sur le convoyeur, dans ce cas l'information est inexploitable. Un algorithme de reconnaissance de forme sera très efficace pour résoudre ce problème.

VI.3.2 Solution

Dans le cas où l'influence de la luminosité perturbe et affaiblit l'efficacité des algorithmes de traitement d'image, il y aura une solution très simple qui consiste à combiner plusieurs algorithmes ou à remplacer un algorithme par un autre plus robuste comme la reconnaissance de forme. Une autre solution était citée dans la partie de traitement d'image (chapitre IV) concernant la minimisation de l'effet de luminosité IV.1.

Concernant la possibilité de passage d'une personne devant la caméra, une solution s'offre, il s'agit d'élargir les zones d'intérêt ou le nombre de capteurs virtuels pour augmenter la fiabilité de la capture, en agissant sur une zone plus large, et d'utiliser surtout les algorithmes de reconnaissance de forme. Une autre solution sera d'isoler les zones surveiller par le système de vision et interdire l'accès aux personnes sauf en cas d'arrêt du processus de fabrication. Une dernière solution possible est d'installer des systèmes de vision redondants pour augmenter la fiabilité de la capture et la réactivité.

VI.4 APPLICATION A L'AIP

Cette application consiste sur le tri de pièces en utilisant des algorithmes de détection de défaut et de reconnaissance de forme. Des pièces de forme circulaires avec des encoches de dimensions différentes sont contrôlées par le système de vision. Suivant la taille des encoches les pièces sont contrôlées et triées de façon à éliminer les pièces mal usinées. Il faut savoir que l'algorithme de reconnaissance de forme pourra être appliqué sur la matrice résultante de l'identification de couleur si besoin, c'est-à-dire, s'il y a présence de plusieurs pièces de couleurs différentes à trier.

La forme de la pièce type à contrôler est présentée dans la figure 92



Figure.92 : Forme d'une pièce type

Pour arriver à la détection de défaut et le tri des pièces usinées, différentes étapes devaient être franchies. Pour cette application, il faut commencer par le choix de la couleur de la pièce à identifier, l'application des différents algorithmes (identification de couleur, détection de contour, localisation par corrélation) et finalement l'application de l'algorithme de détection de défaut.

Deux sortes de pièces sont mises en place pour l'application, la seule différence réside dans la taille de l'encoche. (Voir figure 93)

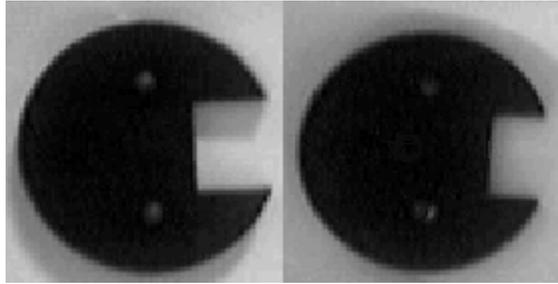


Figure.93 : Deux pièces de forme identique mais de taille d'encoche différentes

VI.4.1 Précision de la couleur et choix des zones d'intérêt:

Dans le but d'avoir le plus de fiabilité, la sélection de la couleur se fait par apprentissage. Ce choix est effectué avant l'exécution des algorithmes de reconnaissance de forme et de détection de défaut. Le choix de la couleur se fait directement sur une pièce présente dans le champ de la caméra et en luminosité ambiante dans les mêmes conditions que l'application.

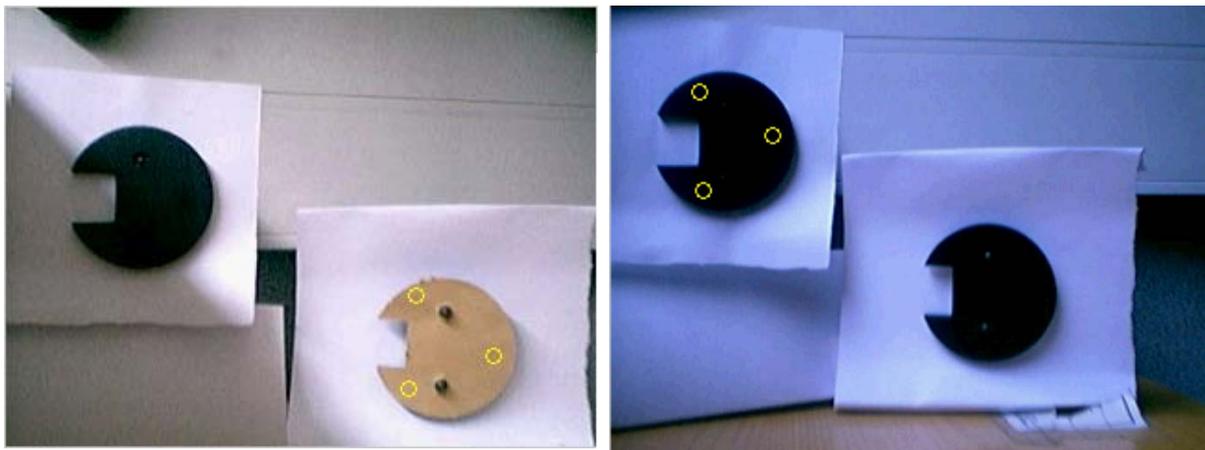


Figure.94 : Choix de la couleur à identifier (noir ou marron clair)

Dans cet exemple la couleur choisie est le noir ou le marron (voir figure 94). Cependant pour un autre test, ce choix, permettra de vérifier si les algorithmes développés permettent de minimiser l'influence de la luminosité ambiante en générant des zones d'ombres qui rendent plus foncées les pièces à contrôler.

Une première étape concerne le choix des zones d'intérêt. L'intérêt de cette étape est de diminuer le temps de traitement, en délimitant des zones précises de détection, le nombre de point et les applications numériques sont réduites.

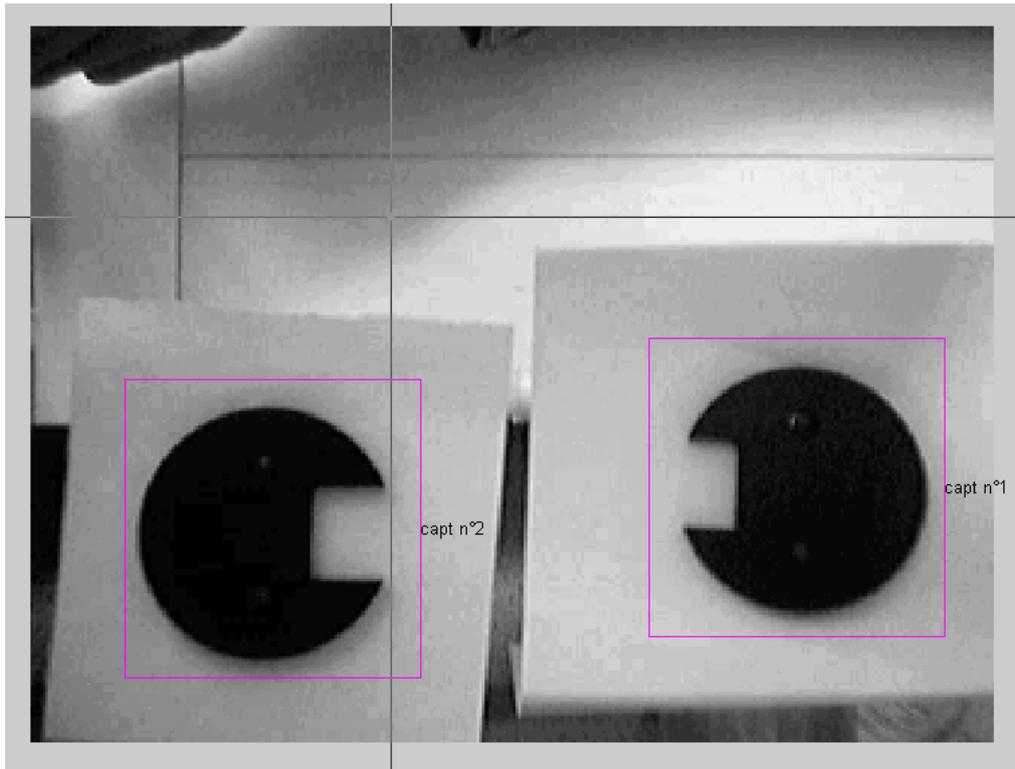


Figure.95 : Choix des zones d'intérêt

Pour cette application, deux zones d'intérêt sont choisies (voir figure 95). Les dimensions de chaque zone d'intérêt dépendent de la taille de la pièce type. C'est normal que la taille de la zone d'intérêt soit un peu plus grande que la taille de la pièce type. L'algorithme de localisation et de détection de défaut agira désormais dans la zone d'intérêt de ces deux capteurs virtuels.

VI.4.2 Traitement et résultat :

L'application des différents algorithmes successivement, comme l'identification de couleur, la détection de contour, la localisation par corrélation et finalement la détection de défaut, donnent les résultats présentés dans les figures 96.

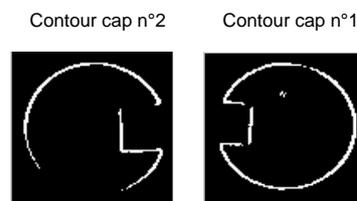


Figure.96 : Résultat de la détection de contour sur les deux zones d'intérêt

Dans le traitement global de l'image avec la couleur marron de la deuxième sélection, nous pouvons voir que la seule pièce localisée est celle dont on a choisi la couleur. (Voir figure 97)



Figure.97 Les points identifiés sont de couleur blanche

Les résultats de la détection de contour dans les deux zones d'intérêt sont assez précis, malgré un léger défaut de détection de contour dans la seconde zone. L'importance est toujours de bien détecter l'encoche.

L'algorithme de localisation par corrélation est ensuite appliqué dans le but d'identifier le centre de la pièce dans la zone d'intérêt. (Voir figure 98)

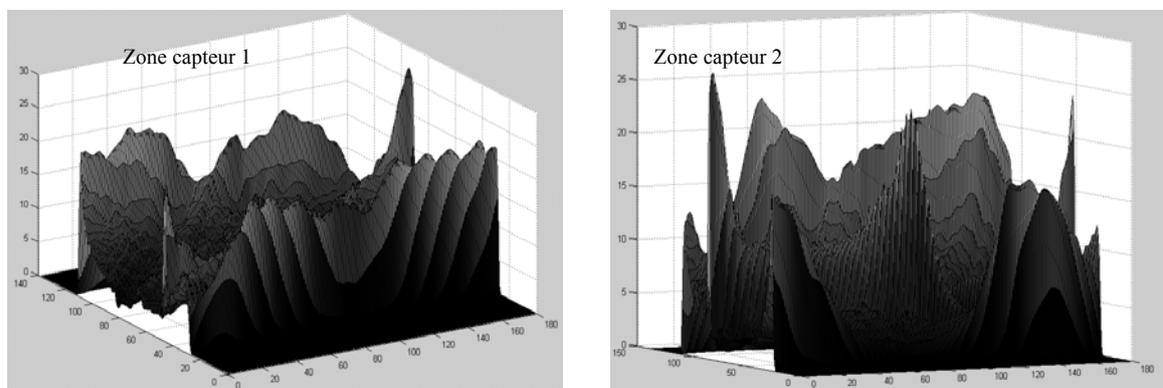


Figure.98 : Résultat de corrélation, deux matrices représentant les deux zones d'intérêt

D'après la corrélation du contour de la pièce type avec le contour des deux zones d'intérêt, les coordonnées des pièces localisées sont obtenues en localisant les maximums locaux. L'application de la transformée du Hough permet ensuite l'identification de l'encoche et la distance par rapport au centre de la pièce. Cette étape permet de conclure si la pièce est bien usinée ou pas.

Dans la figure 99, les centres des pièces localisées sont présentés par un cercle dans la zone d'intérêt et l'encoche par un 'x'. De plus la distance entre le centre et l'encoche est présentée en temps réel au dessus de la zone d'intérêt délimitée par un carré.

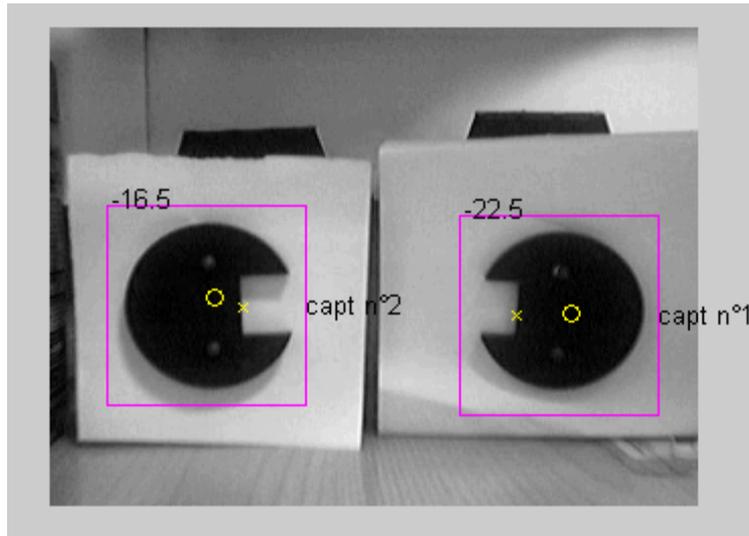


Figure.99 : Résultat de la détection de défaut

Le seuillage de la distance entre le centre de la pièce et l'encoche permettra de différencier les bonnes pièces des mauvaises. L'affichage de la distance sur la figure N°99 au dessus de la zone d'intérêt permettra de connaître en temps réel la distance entre le centre de la pièce et l'encoche.

VI.5 TRI DE NOIX

Cette application est mise en place pour démontrer l'efficacité des algorithmes de classification par identification de couleur. Cette application consiste à classer en deux groupes les noix présentes dans une image. La différence avec les autres applications, c'est que le choix de la couleur est à la base de la localisation de défaut.

Les noix sont classées suivant leur couleur, une noix de bonne qualité aura une teinture plus claire et ne présente aucune anomalie (présence de tâches noires). En deuxième étape c'est la localisation de la rainure de noix. En fait, pour casser en gardant intacte le cerneaux de noix, il faut bien localiser la rainure pour savoir de quel côté il faut la casser.

Pour cette application, une interface est mise en place pour faciliter l'usage de l'application et en même temps avoir une réactivité de l'application pour bien régler les différents paramètres dans le but d'avoir le système le plus fiable.

VI.5.1 Détail de l'application :

Cette application de tri de noix suivant la qualité était mise en œuvre de la façon présentée dans la figure 100.

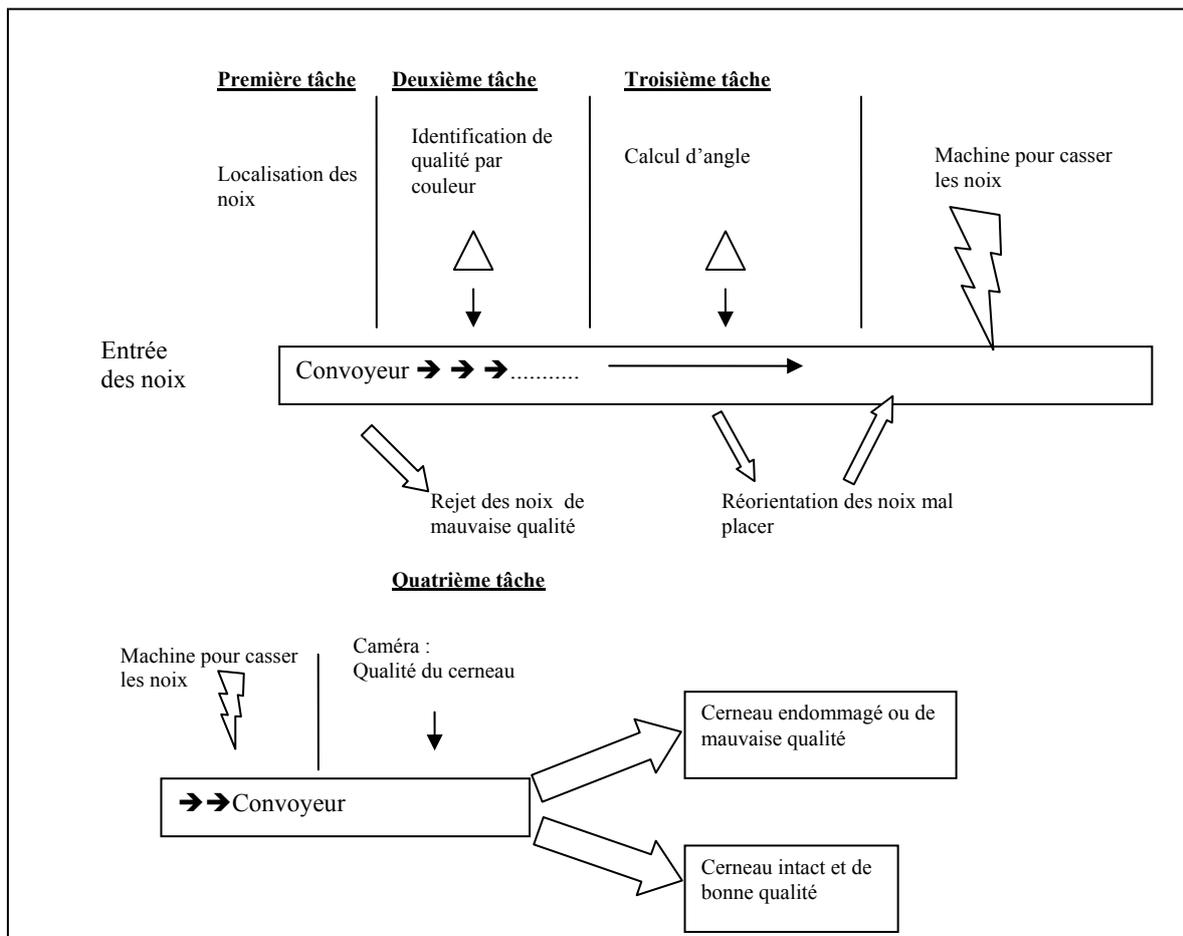


Figure.100 : Détail des différentes étapes de l'application de tri de noix

Une autre tâche assez conforme à celle là consiste à déterminer encore la qualité du cerneau entier ou pas. L'algorithme de la qualité du cerneau reste assez proche si ce n'est la même de celle du tri de noix la seule différence est la couleur de la sélection. Concernant la taille du cerneau, s'il ne lui manque pas une partie, c'est un simple algorithme de somme des pixels représentant la couleur localisée.

VI.5.2 Identification de couleur et localisation :

Pour l'identification de couleur, deux noix, une de bonne qualité et l'autre de mauvaise qualité sont placées devant la caméra. L'algorithme identifie alors la couleur prédéfinie pour l'application présentant la noix de bonne qualité.

Dans la figure 101, l'image représentant les deux noix.



Figure.101 : Deux noix de qualité différentes

La première étape consiste à localiser des noix dans l'image. L'algorithme utilisé est la détection de contour suivant la méthode de Canny, une fois le contour des différents noix présentés dans l'image sont trouvés, figure 102, des parties de l'image représentant les noix sont retirés pour être analysés.

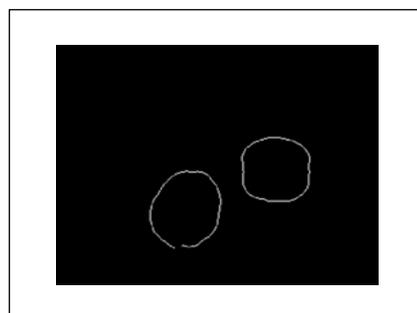


Figure.102 : Contour des noix localisées dans l'image

A partir des coordonnées des noix dans l'image, la récupération des différents pixels représentant les différentes noix permet de savoir lesquelles sont de bonne qualité.



Figure.103 : Les 2 parties de l'image représentant les deux noix

Dans la figure 103, les deux noix sont bien localisées, ces deux parties d'images sont ensuite retirées et traitées par l'algorithme d'identification de couleur qui permettra de préciser le pourcentage de couleur de bonne qualité. La figure 104, montre le résultat de chaque partie d'image une fois traitée et pixélisée en noir et blanc.



Figure.104 : La couleur de bonne qualité est en blanc

Les deux images en noir et blanc représentant le résultat de l'algorithme d'identification de couleur permettent de différencier les noix de bonne ou de mauvaise qualité suivant le pourcentage des pixels blancs présents dans chaque image.

À 10% prêt, l'algorithme va confirmer que la noix de gauche dans la figure 104 représente une noix de bonne qualité à l'inverse de celle de la droite. Comme la couleur des noix de bonne qualité est remplacée par la couleur blanche ou numériquement la valeur 1 dans l'image binaire (noir et blanc), la somme des pixels va permettre de trouver si la qualité de cette noix est de bonne couleur alors de bonne qualité. La somme des points va préciser le pourcentage des points appartenant à la noix et qui sont de bonne qualité.

VI.5.3 Orientation de noix :

L'orientation de noix est obtenue grâce à l'utilisation de l'algorithme de la transformée de Hough, qui évalue la largeur maximale et donc l'orientation de la noix. L'orientation va servir au processus pour casser la noix dans la bonne direction.

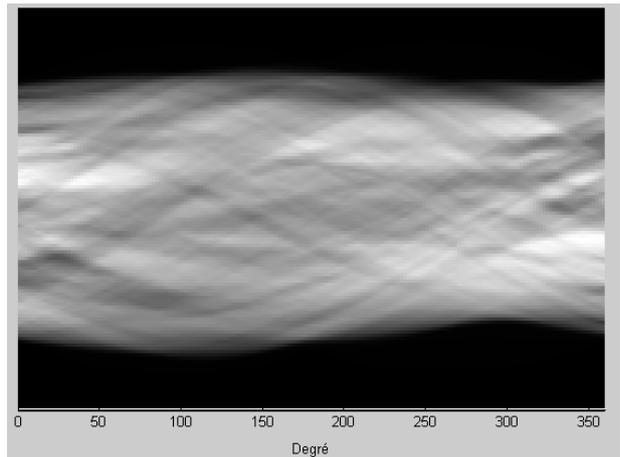


Figure.105 : Transformée de Hough (à droite) de la noix de bonne qualité (à gauche).

L'orientation de noix de bonne qualité pour cet exemple est de 150° par rapport au verticale ou de 60° par rapport à l'horizontal, l'orientation est trouvé en localisant la projection la plus large dans la transformée de Hough. (Voir la transformée de Hough dans la figure 105)

VI.5.4 Qualité du cerneau :

Une fois la noix cassée, le cerneau subit encore un algorithme de qualité par identification de couleur pour préciser la bonne qualité. D'autre part la somme de pixel représentant la couleur localisée est faite dans le but de savoir si le cerneau est entier ou pas.



Figure.106 : Image présentant différent type de cerneau

En suivant la même logique qu'avant, la détection de contour et l'identification par couleur permettront l'identification des cerneaux de bonne qualité.

En effet, pour savoir si le cerneau est complet, une fois localisé, il suffit d'appliquer une somme des pixels localisés représentant le cerneau.(Figure 106)

Le nombre de pixel représentant un bon cerneau doit dépasser une valeur fixée par apprentissage pour s'assurer qu'il est entier.

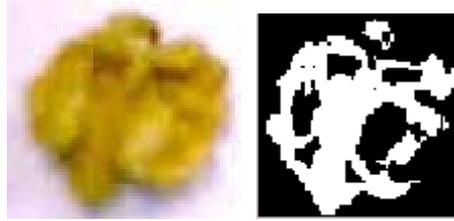


Figure.107 : 1940 pixels représentant le cerneau

La somme des pixels d'un cerneau jugé entier doit dépasser la valeur de 1940 comme le précise l'image de la figure 107 ou l'image 108 qui représente un cerneau dégradé de 1277 pixels



Figure.108 : 1277 pixels pour une partie de cerneau

À partir de ces deux images, il suffit de trier les cerneaux à partir de la somme des pixels identifiés.

VI.5.5 Interface :

Une interface a été réalisée intégrant l'ensemble des algorithmes de calcul nécessaires aux différentes étapes de cette application. Pour cette application, l'interface représentée dans la figure 109 comporte quelques étapes très simples pour rendre plus efficace les algorithmes de traitement, comme le changement de seuil de valeurs de la couleur à identifier.

L'interface est faite sous Matlab, à l'aide du GUI builder. Elle est complétée par différentes opérations :

- i. l'opération de capture d'image : c'est la phase d'acquisition permettant de choisir l'image à traiter.
- ii. l'opération de traitement : c'est la phase d'identification des zones d'intérêts pour rechercher le nombre de noix dans une image, retirer et tester la qualité de chaque noix
- iii. l'opération de seuillage ; c'est une phase d'identification des couleurs et de nombre de pixels. Les données enregistrées par apprentissage au cours de cette opération sont exploitées pour trouver le seuil le plus efficace qui détermine la qualité de la noix ou du cerneau.

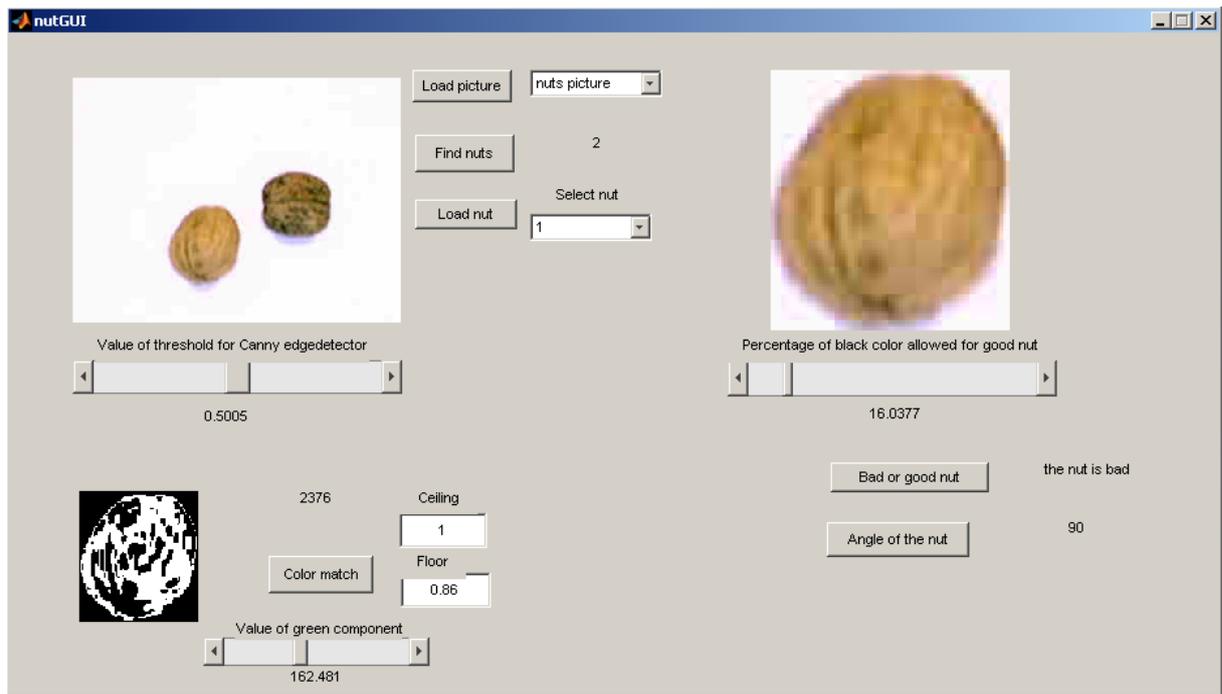


Figure.109 : Image représentant l'interface graphique.

Cette interface comporte les différentes étapes et possibilités suivantes :

- i. le traitement de deux images différentes de noix et de cerneau de noix, le choix et le chargement de l'image se fait avec « Load picture »
- ii. l'extraction de différentes noix ou cerneaux « Find nuts », si le nombre de noix trouvé est différent de celle dans l'image, il faut régler la valeur du seuil (threshold) de l'algorithme de détection de contour canny.
- iii. Le bouton « Load nut » avec le choix d'un numéro, dans la liste à coté, permet d'extraire une des noix localisée. Pour rendre plus efficace l'algorithme d'identification de couleur dans le plan vert de l'extraction il suffit de choisir une valeur (Value of green component) autour de laquelle le seuillage de l'identification de sera faite.
- iv. le bouton « Bad or good nut » pour tester la qualité de la noix extraite. Une fois la noix est extraite, il suffit de préciser un pourcentage de la couleur noire permise dans l'identification, puis appuyer sur ce bouton
- v. Le bouton “Angle of the nut” permet de trouver l'angle approximative de l'orientation de la noix dans l'image.

VI.6 CONCLUSION :

Les deux premières applications sont semblables, elles utilisent l'algorithme de reconnaissance de forme pour la localisation des pièces et d'identification des formes. Malgré l'influence de la luminosité ambiante et les ombres perturbant, les résultats des différents algorithmes sont (parce que la couleur des pièces choisie est le noir), globalement, assez précis ; les centres des différentes pièces entreposées différemment (position inversée de

180°) sont bien identifiés. Les coordonnées des encoches et la dimension entre le centre de la pièce et les encoches sont aussi très précises et significatives.

Il faut souligner que malgré la simplicité du support matériel et logiciel (Webcam et matlab) de la deuxième application, les deux systèmes sont globalement commandés de façon autonome à partir du système de vision. Une caméra qui remplace les capteurs classiques et qui fournit les informations suffisantes à la partie commande.

Dans la dernière application, le traitement d'image et d'identification de défaut est basé sur des plans de couleur. D'autres possibilités peuvent être envisagées en se basant sur l'identification des qualités géométriques de la pièce en question et pas sur l'identification de couleur. Cela nous donne un panel d'application assez large sur différentes applications.

L'aide de la HMI dans cette application montre les possibilités et les capacités de traitement d'image en simplicité et la facilité de sa mise en place.

L'identification de défaut peut se faire par la localisation de couleur ou par l'étude morphologique d'un contour avec la transformée de Hough ou le code de Freeman.

Chapitre VII- Conclusion et perspective

VII.2 FAISABILITE

Dans le cadre de cette thèse, les traits principaux sont identifiés en tirant profit des différentes expériences et applications industrielles. La réalisation de l'application est possible pour une majorité de système de production industrielle ou de processus de fabrication. L'avantage est que la vision industrielle est applicable dans des domaines assez contraignants et trop perturbés pour le fonctionnement nominal des capteurs classiques.

Dans les différentes applications réalisées au cours de cette thèse, les algorithmes de traitement d'image utilisés ainsi que les simulations industrielles effectués ont permis de fournir des résultats convaincants et d'assurer différentes ouvertures.

La faisabilité est vérifiée dans les différentes étapes comme, par exemple, au niveau du positionnement du système de vision où on évite l'usage des capteurs classiques et donc l'usage des centaines de mètres de câbles dans des zones assez contraignantes. (Voir figure 110)

Quant au niveau de l'information et de la réactivité, les algorithmes réalisés sous Matlab sont simples et rapides. Certains de ces algorithmes ont une qualité d'information supérieure à celle qui est fournie par un capteur classique, et ce en ce qui concerne la détection de mouvement et la reconnaissance de forme. Finalement, l'application industrielle, au sein de l'entreprise Serpac, utilisant Matlab et Sherlock a permis de mettre en place une maquette de tri basée uniquement sur la vision.

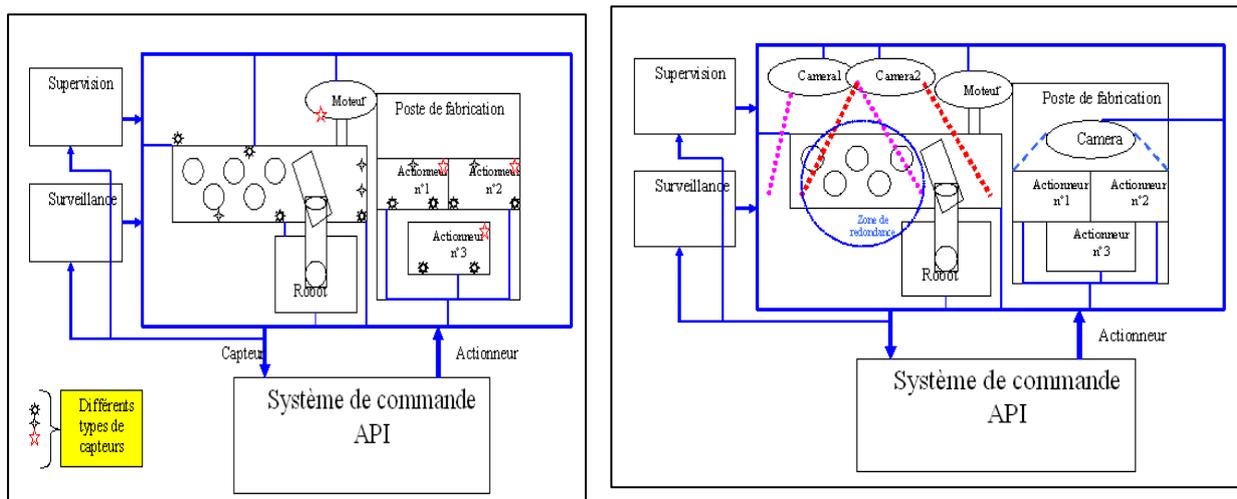


Figure.110 : système de commande avec capteurs classiques à gauche et avec système de vision à droite

Dans la figure 110 ci-dessus, à gauche, c'est un processus de fabrication et de tri par robot et un poste d'usinage utilisant des capteurs de présence et de fin de course utilisant beaucoup de câblages. A droite le même processus de fabrication, les capteurs classiques sont remplacés totalement par plusieurs systèmes de vision, pour la redondance sur la partie concernant le tri et un seul système de vision pour le poste d'usinage.

Alors un système de vision peut remplacer plusieurs capteurs classiques facilement, et être à la fois plus simple à installer et avoir en même temps un système comportant la commande globale du processus de fabrication avec les systèmes de traitement embarqués.

VII.3 FLEXIBILITE

C'est un point important de ce travail, la flexibilité du système de vision est intéressante. En effet, un système de vision peut remplacer plusieurs si ce n'est pas la majorité des capteurs classiques utilisés dans les processus industriels. La flexibilité de positionnement des capteurs virtuels nommés aussi zones d'intérêt est le premier point positif dans le remplacement des capteurs classiques.

Le choix de l'algorithme sur chaque zone d'intérêt dans l'image dépend de la qualité du capteur classique remplacé. Les choix sont nombreux comme des algorithmes simples par exemple pour la capture de présence, la détection de mouvement et les algorithmes complexes comme la reconnaissance de forme en image monochromatique et identification de couleur.

La vision industrielle à l'aide du logiciel dédié (dans ce cas Matlab) donne la possibilité de placer ou de changer à volonté par un simple clic la position des différents capteurs virtuels ou zones d'intérêt.

Généralement les capteurs classiques sont des capteurs de présence ou de fin de course. Les capteurs plus élaborés sont des capteurs de mesure irremplaçables par le système de vision ou des capteurs de contrôle qui sont des systèmes de vision. Quand un système de vision est utilisé pour remplacer plusieurs capteurs classiques, le système de vision donne la possibilité de modifier la position des zones d'intérêt c'est-à-dire l'emplacement des capteurs virtuels par simple réinitialisation de programmation. Le système n'a donc pas besoin d'intervention ou un nouveau câblage du processus de fabrication.

En plus, une flexibilité au niveau de la programmation, le changement d'algorithme d'une zone d'intérêt est possible avec un choix élaboré d'algorithmes comme la détection de mouvement ou la reconnaissance de forme.

VII.4 EFFICACITE

Au cours de cette thèse, la vision industrielle montre la possibilité de remplacer avec réussite les capteurs classiques. La vision industrielle est un outil qui est devenu indispensable dans les processus industriels d'où l'évidence de ce changement d'usage de ce type de système. La vision industrielle devient plus maniable au niveau du remplacement des capteurs classiques en ayant une multitude d'algorithmes aussi efficaces que simples. La vitesse de traitement d'image remplaçant plusieurs capteurs classiques, malgré un système de vision assez basique et la réactivité du système restent compatibles avec des systèmes et des processus de fabrication de base.

Connaissant l'étendue du pouvoir de la vision industrielle et en même temps la qualité technologique de certains systèmes, l'efficacité est indiscutable. Les systèmes de vision de haute technologie peuvent traiter, à haute cadence, jusqu'à des centaines d'images par seconde. En plus, c'est le seul système aussi flexible qui peut combiner acquisition, traitement et commande d'un processus de fabrication en ayant la possibilité de combiner différentes zones de l'image avec des algorithmes différents.

La fiabilité des systèmes de vision est dépendante de la qualité du matériel. En effet, les caméras numériques deviennent de plus en plus précises et de plus en plus robustes pour un usage industriel. Par ailleurs la vitesse de traitement peut être définie précisément pour chaque application en temps réel, ce qui est important pour assurer le cahier de charge et une réactivité minimale pour la partie commande.

VII.5 PERSPECTIVES

La vision industrielle classiquement s'intégrait à une architecture matérielle qui est déjà mise en place. En effet, habituellement, les applications industrielles se formaient autour des équipements principaux avec des capteurs et un système de commande classique. Suite à l'évolution de la vision industrielle et le besoin d'intégrer la vision dans des processus de haute cadence ou robotique, la vision a fait son entrée comme un équipement de technique avancé, sans l'idée d'être utilisé comme la seule source d'information.

Cette thèse démontre l'efficacité de la vision industrielle et l'étendu de ses capacités dans la partie opérative comme son pouvoir de remplacer de nombreux capteurs classiques, ou encore sa capacité de minimiser les coûts de l'installation en remplaçant une partie des automates qui forment la globalité de la partie commande.

De grandes perspectives sont prévisibles après cette thèse comme l'élaboration d'un logiciel ou HMI qui formera le noyau de la politique d'installation de la vision dans le cadre d'une installation industrielle robotisée ou autonome. La HMI sera l'outil facilitant l'installation du système de vision avec apprentissage même pour un utilisateur ne connaissant pas véritablement la vision et le traitement d'image. L'outil de programmation doit constituer une sorte d'outil pour positionner des zones de contrôle virtuelles nommées « capteurs virtuels » dans le champ de vision de la caméra. Le capteur virtuel est la représentation physique du capteur classique ou physique remplacé dans l'installation.

Chaque position de capteur virtuel aura la possibilité de combiner un ou plusieurs algorithmes traitant la ou les parties d'images concernées (capteurs virtuels).

Dans le cadre de cette thèse un outil HMI a été élaboré pour un projet de tri de noix avec apprentissage, pour fournir des informations binaires concernant la qualité des noix (suivant la couleur) avant d'être cassées et la qualité du cerneau (bon ou pas suivant la couleur) et selon sa forme (cerneau entier ou cassé).

Au niveau matériel, différentes solutions sont possibles. La solution la plus appropriée est le système de vision avec la technologie embarquée. Avec une solution pareille, les algorithmes de traitement d'image et les commandes directes sont fournis par un seul et même système.

Le cahier de charge du matériel dépend de la réactivité du système qui convient le mieux au processus de fabrication à commander.

Références bibliographiques

- [1.] Auclair Fortier M-F, Djemel Ziou, Costas Armenakis et Shengrui Wang, Nouvelles perspectives en détection de contours : Textures et images multispectrales, Vision interface '99, Trois-Rivière, Canada.
- [2.] Breton Rodolphe, Eric Andres, Université de Poitiers, Vectorisation d'une courbe discrète standard 2D, [ICRA 2003](#)
- [3.] Bunschoten Roland, Ben Kröse, Visual odometry for an omnidirectionnel vision system, [ICRA 2003](#)
- [4.] Canny J.F. 1986, A Computational Approach to Edge Detection. IEEE trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6): pp 112-131.
- [5.] Chanussot J., LIS Grenoble - Centroid-distance based shape signature on a crisp set obtained by thresholding a fuzzy set, June 2003
- [6.] Chich-chih Wong, Charles Thorp, Sebastien Thrun, Online simultaneous localisation and mapping with detection and tracking of moving objects: theory and results from a ground vehicle in crowded urban areas, [ICRA 2003](#)
- [7.] Cumani A., Edge Detection in Multispectral Images. CVGIP: Graphical Models and Image Processing, 53(1): 40-51, 1991.
- [8.] De Luis-García Rodrigo, Marcos Martín-Fernández, Juan Ignacio Arribas, Carlos Alberola-López, A fully automatic algorithm for contour detection of bones in hand radiographs using active contours, ICIP 2003.
- [9.] Desjardins. J, GEI437, Laboratoire d'interfaces et microprocesseurs, « photo résistances et photo détecteurs », <http://www.gel.usherb.ca/gei437e01>
- [10.] Di Sciascio Eugenio and Augusto Celentano, Politecnico di Bari,1992, Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica, Bari, Italia. Similarity Evaluation in Image Retrieval Using the Hough Transform.
- [11.] Dixon D., Deng. D, ElGindy H, High-speed Parameterisable Hough Transform Using Reconfigurable Hardware, School of Computer Science and Engineering University of New South Wales, Anzac Parade, Kensington 2033 NSW.
- [12.] Guttmann Jens Steffen, Masaki Fukuchi, Kohtaro Sabe, Environnement identification by comparing maps of landmarks, [ICRA 2003](#)
- [13.] Harris C. and M. Stephens, 1988, A combined corner and edge detector. In proceedings, 4th Alvey Vision Conference, pp 147-151, Manchester.
- [14.] Hough P., P.V.C 1962, Methods and Means for Recognizing Complex Patterns.
- [15.] Howard Andrew, Maja J. Matoric, Gawave S. Sukhatme, Putting the 'I' in 'TEAM': Aego-Centric approach to cooperative localization, [ICRA 2003](#)
- [16.] Hrabar Stefan, Gawave S. Sukhatme, Omnidirectionnel vision for an autonomous helicopter, [ICRA 2003](#)
- [17.] Hubin M. traité sur les capteurs et la conception instrumentale, 5 janvier 2002, <http://perso.wanadoo.fr/michel.hubin/>
- [18.] Kim Hyun Mun, Woo-Shik Kim, and Dae-Sung Cho, 2004, A New Color Transform For RGB Coding, ICIP 2004, pp 107-110.
- [19.] Kovese P. 2003, Phase Congruency Detects Corners and Edges, The Australian Pattern Recognition Society Conference: DICTA 2003. Sydney. pp 309-318.
- [20.] Kovese P., Functions for computer vision and image analysis (1996-2003) <http://www.csse.uwa.edu.au/~pk/Research/MatlabFns/>
- [21.] Laut S., 1999, Etude et mise en oeuvre d'un processus optique temps réel pour la transformée de Hough, Mulhouse.

- [22.] Laut S., Pierre. A, Yeshaiahu. F, Segmentation et analyse d'images binaires par implantation optique de la Transformée de Hough, AGIS'97, ANGERS 9-10-11 décembre 1997 .
- [23.] Masahiro Tomon, Shin'chi Yuta, Object-based localization and mapping using loop constraints and geometric prior knowledge, [ICRA 2003](#)
- [24.] Maubilleau. P, GEI437 Laboratoire d'interfaces et microprocesseurs, « Capteurs », <http://www.gel.usherb.ca/gei437e01> .
- [25.] Meunier P. Evaluation de performance d'architecture de commande de système automatisés industriels. Mars 2006.
- [26.] Röfer Thomas, Mathias Jüngel, Vision-based fast and reactive monte-carlo localization, [ICRA 2003](#)
- [27.] Saarinen K., 1994, Comparison of Decimation and Interpolation Methods in Case of Multiple Repeated RGB-YCbCr Colour Image Format Conversions, International Symposium on Circuits and Systems ISCAS'94, pp 269-272, Vol.3
- [28.] Schulze Mark A., <http://www.markschulze.net/> , Circular Hough Transform
- [29.] Shafait F., Imran S. M., Klette-Matzat S., 2004, Fault Detection and Localization in Empty Water Bottles Through Machine Vision. E-TECH 2004, pp 30-34.
- [30.] Tavar Benjamin, Steven M. Lavalley, Rafael Murrieta, Optimal navigation and object finding without geometric maps or localisation, [ICRA 2003](#)
- [31.] Tech Innove, “*étude du marché de la vision industrielle*”.
- [32.] The Hough Transform, <http://cs-alb-pc3.massey.ac.nz/notes/59318/111.html>. Massey University, ALBANY, Computer Science.
- [33.] Vidal René, Omid Shakernia, Shankar Sastry, Formation control of nonholonomic mobile robots with omnidirectionnel visual servoing and motion segmentation, [ICRA 2003](#)
- [34.] Vincze Markus, Andreas Pichler & Georges Biegelbauer, Detection of classes of features for automates robot programming, [ICRA 2003](#).
- [35.] Wesolkowski. S, Jernigan Ed, Color edge detection in RGB using jointly euclidean distance and vector angle, Vision interface 99, Trois -Rivières Canada.
- [36.] www.industrie.gouv.fr/techno_cles_2010/html/prod_74.html
- [37.] www.omron-industrial.com , **Omron Europe B.V.**
- [38.] www.visionindustrielle.org
- [39.] [Yoshihiro Nakabo](#), Masatoshi Ishikawa, [Haruyoshi Toyoda](#), [Seiichiro Mizuno](#): 1ms Column Parallel Vision System and Its Application of High Speed Target Tracking. [ICRA 2000](#): 650-655

Articles et publications:

- [40.] El Sahmarani. K, Simeu-Abazi. Z, Olivier. D, « Reconnaissance et identification de forme dans une image », NI AP04-144, Laboratoire d'Automatique de Grenoble
- [41.] El Sahmarani. K, Simeu-Abazi. Z, Olivier. D, « Des capteurs classiques vers un capteur de vision » NI AP04 – 145, Laboratoire d'Automatique de Grenoble
- [42.] El Sahmarani. K, Simeu-Abazi. Z, Ladret. P, «Vision system for the control of manufacturing process », IESM'05 Marrakech, Maroc
- [43.] El Sahmarani. K, Simeu-Abazi. Z, Ladret. P, “vision system for command and fault detection”, ICSSM'06, October 25-27, 2006, Troyes – France

Titre : Commande multi capteur d'un processus de fabrication

Résumé :

Dans un atelier de production, la multitude de capteurs, leur calibrage, les difficultés d'implémentation sans compter le niveau de fiabilité à assurer ont conduits les industriels à chercher de nouvelles solutions contribuant à l'amélioration des performances de leurs installations. Cette thèse propose une solution innovante: l'utilisation de capteur unique de vision pour la commande et la détection de défaut.

L'idée principale et originale est de piloter le système par un seul et unique capteur « le système de vision ». L'avantage d'une telle structure basée sur un système de vision se situe dans l'exploitation du capteur de vision non seulement pour la commande du processus de fabrication, mais aussi pour la détection et localisation de défaut.

Il est clair que les orientations vers de capteur unique de vision nécessitent une architecture particulière de l'ensemble du système de contrôle/commande. Une nouvelle organisation du processus de fabrication est proposée. Les informations en provenance des capteurs et du système de vision sont tout d'abord traitées, analysées et ensuite transmis vers les actionneurs.

Il existe différents algorithmes de traitement d'image. Le principe général de la méthodologie proposée et les différents algorithmes de filtrage, de détection de mouvement, détection de contour sont présentés. Parmi les exigences des algorithmes proposés la qualité de réactivité des algorithmes en termes de temps de réponse est primordiale. De plus, les algorithmes proposés doivent être capables d'atténuer l'effet du bruit sur l'image à traiter et particulièrement le facteur « luminosité » dû au changement de la lumière ambiante. Pour atteindre ces objectifs, différentes étapes de traitement et d'amélioration sont proposées. Les méthodes proposées sont appliquées sur différents exemples.

Mots-clés :

Vision industrielle, identification de défaut, reconnaissance de forme, transformée de Hough, code de Freeman, commande par vision, capteurs classiques et capteurs virtuels.

Title: vision system to command a manufacturing process

Abstract

In a manufacturing process, many sensors are used. These sensors represent different reliability, different way to be installed and could be a source of defection. For all these reasons, industrials tried to find a solution which gives better performance of their manufacturing process. This thesis made a new proposition: use one vision system for the command and the fault detection.

The principle of this method is to base the command part on the information given by the only source of "vision system". The advantage of this structure is to use the vision system for the command and also for fault's detection and localisation.

It's clear that for this solution a different structure of the control/command part should be realised. The information of the vision system and sensors are treated analysed and the transmitted to terminals.

Many algorithms of image treatment exist.

The general principle of the treatment is represented in this thesis also several algorithms like the movement detection, edge detection. One important condition to be respected in the new structure is the reactivity. A fast response of the command part is very important in the industrial domain. Another problem treated in this thesis is the luminosity effect on the treatment result. To resolve these problems several algorithms are proposed and applied on different applications.

Key words :

Industrial vision, default detection, form recognition, Hough transform, Freeman code, vision for command, classic sensors and virtual sensors.