50376
1993
145

50376
1993
145

THÈSE

N° d'ordre 1096

Présentée à

L'UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR

en Productique, Automatique et Informatique Industrielle

UNIVERSITE DES Sc. et Techn. BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE LILLE

par

André DELGRANGE

UNIVERSITE DES Sc. et Techn. BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE LILLE

ANALYSE, CONCEPTION ET RÉALISATION D'UNE CELLULE D'ASSEMBLAGE AUTOMATIQUE POUR L'INDUSTRIE DE LA CONFECTION.

Soutenue le 19 Mars 1993 devant la commission d'examen:

MM.

P. Vidal	Président	Professeur à l'U.S.T. de Lille.
J. Bajon	Rapporteur	Professeur à l'E.N.S.E.I.H. de Toulouse.
S. Tarasiewicz	Rapporteur	Professeur à l'université de Laval (Québec).
J.G. Postaire	Examinateur	Professeur à l'U.S.T. de Lille.
S. Maouche	Examinateur	Maître de Conférences à l'U.S.T. de Lille.
P. Dubus	Invité	Directeur Gal Groupe Holcatex (StésCaddy & TMT-Mariner) Lille

SCD LILLE 1
D 030 290432 0

50376
1993
145

50376
1993
145

TRNE

Je voudrais pour commencer exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur le Professeur P. Vidal Directeur du Centre d'Automatique de l'Université des Sciences et Technologies de Lille (USTL) d'avoir accepté de présider le Jury de cette thèse. Je le remercie aussi de m'avoir permis de travailler au sein de son laboratoire et d'avoir dirigé le travail de rédaction de cette thèse.

C'est grâce à Monsieur S. Maouche, Maître de conférences, que cette étude a abouti. Je le remercie pour sa disponibilité et le chaleureux accueil qu'il m'a toujours réservé pendant le déroulement de cette étude, et, ce malgré les contraintes de temps dues à mon éloignement.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à Monsieur J. Bajon Professeur à l'E.N.S.E.I.H.T. de me faire l'honneur de juger la qualité de mon travail.

J'ai beaucoup apprécié l'honneur que me fait Monsieur S. Tarasiewicz, Professeur d'automatique à l'Université de Laval (Québec-Canada) en année sabbatique au centre d'automatique de Lille, de participer à ce jury et je le remercie sincèrement pour les remarques constructives qu'il a faites.

UNIVERSITE DES Sc. et Techn. BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE LILLE

Je veux exprimer également un grand merci à Monsieur J.G. Postaire, Professeur à l'U.S.T.L. d'avoir accepté de participer à ce jury.

UNIVERSITE DES Sc. et Techn. BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE LILLE

Je remercie trés cordialement Monsieur P. Dubus, Directeur Général du Groupe Holcatex (Ets. Caddy et T.M.T.-Mariner) Lille d'avoir accepté de participer à ce jury afin d'y apporter son témoignage.

Un grand merci aussi à l'ensemble des chercheurs de l'équipe de traitement d'images pour l'ambiance sympathique qu'ils ont su apporter et le soutien amical qu'ils m'ont témoigné.

INTRODUCTION 1

I. BESOIN D'AUTOMATISATION DE L'INDUSTRIE TEXTILE 3

I.1. Introduction 3

I.2. Unité de production en confection : Fonctionnement, Problématique 4

I.2.1 Description d'un vêtement 4

I.2.2 Fonctionnement du processus de fabrication 7

I.2.2.1 Préparation des pièces 8

I.2.2.2 Réalisation des composants du vêtement 8

I.2.2.3 Assemblages des différents composants 9

I.2.2.4 Préparation pour la vente 12

I.2.3 Gestion du processus de fabrication 12

I.2.3.1 Production de masse. 13

I.2.3.2 Le travail à façon 16

I.3. Évolutions nécessaires vers de nouvelles ressources matérielles de production .. 17

I.4. Conclusion 25

BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE I 26

II. MÉTHODES D'AUTOMATISATION DE L'INDUSTRIE TEXTILE 29

II.1. Introduction 29

II.2. Projet d'automatisation avec approche intégrée 29

II.3. Projet d'automatisation avec approche par tâche 32

II.4. Projet de cellule flexible d'assemblage pour col de chemise 33

II.4.1 Introduction 33

II.4.2 Description fonctionnelle 34

II.4.3 Niveau A-0 35

II.4.4 Niveau A0 36

II.4.5 Conception détaillée....38

II.5. Conclusion....50

BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE II....51

III. MODÉLISATION DE L'ASSEMBLAGE DANS LE DOMAINE DE LA CONFECTION....53

III.1. Introduction....53

III.2. Principes de la méthode MAPIF....54

III.3. L'analyse du produit : "col de chemise coulissé"....55

III.3.1 Introduction....55
III.3.2 Description statique....56
III.3.3 Description statique du col de chemise coulissé....58
III.3.4 Description dynamique....60
III.3.5 Description dynamique du col de chemise coulissé....64
III.3.6 Conclusion....66

III.4. L'analyse du processus de fabrication : Coulisser un col de chemise....67

III.4.1 Introduction....67
III.4.2 Niveau Objet/Tâche....68
III.4.3 Analyse du coulissage de col de chemise au niveau Objet/Tâche....74
III.4.4 Niveau Agrégat/Acte....76
III.4.5 Analyse du coulissage de col de chemise au niveau Agrégat/Acte....85
III.4.6 Conclusion....89

III.5. Conclusion....90

BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE III....92

IV. FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME D'ANALYSE D'IMAGE....93

IV.1. Introduction....93

IV.2. Les trois étapes d'un système d'analyse d'image....94

B Présentat° générale des secteurs d'habi

(1) Les types de l'habi & les acteurs

+ Les confectionneurs.

+ Les façonniers.

CH (2) Dynamique des mé et conditions de la con°

IV.2.1 Le processus de traitement d'image (TI) 97
IV.2.2 Processus de reconnaissance d'objets (RO) 98
IV.2.3 Processus d'Interprétation d'une Scène (IS) 99

IV.3. Spécifications des prises de vue de la plate-forme d'assemblage 101

IV.4. Le Processus de reconnaissance d'OBJETS (RO) 104

IV.4.1 Description d'une forme par une série de Fourier 105
IV.4.2 Description d'une forme par des moments invariants 107
IV.4.3 Description d'une forme par la transformation de Hough généralisée 108
IV.4.4 Description géométrique d'une forme 109
IV.4.5 Propriété topologique des points de contour d'une forme 111

IV.5. Le processus de traitement d'image (TI) 114

IV.5.1 La formation de l'image brute 114
IV.5.2 Le filtrage de l'image brute 115
IV.5.3 Extraction de caractéristiques 119
IV.5.3.1 Définition d'un pixel de contour 119
IV.5.3.2 Extraction des pixels de contour 120
IV.5.3.3 Nouvelle heuristique d'extraction et de recherche des contours basée sur l'utilisation de l'opérateur P2 124

IV.6. CONCLUSION 128

BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE IV 129

V. RECONNAISSANCE DE MOTIF 133

V.1. Introduction 133

V.2. Assemblage d'un col de chemise fait dans un tissu à motif 134

V.3. Méthodes de mise en correspondance d'images 142

V.3.1. Introduction 142
V.3.2. Corrélation 143
V.3.3. Filtre adapté 146
V.3.4. Harmonique circulaire 146

V.4. Mise en correspondance d'images par histogramme circulaire 147

V.4.1. Introduction 147
V.4.2. Calcul de l'histogramme circulaire d'une image 148
V.4.3. Analyse d'histogrammes circulaires 153
V.4.4. Histogramme circulaire : échantillon de la transformation de Radon 157
V.5. Conclusion 158

BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE V 160

CONCLUSION 163

ANNEXE I 165

ANNEXE II 169

ANNEXE III 171

INTRODUCTION

Le travail exposé dans cette thèse a été accompli dans le cadre de l'un des premiers projets BRITE enregistré sous le nom de "Loading and guiding system for traditionnal sewing machine". L'esprit des projets BRITE est de regrouper des industriels européens pour mener en commun une recherche appliquée pré-compétitive en vue de renforcer l'industrie européenne.

L'industrie de la confection est particulièrement touchée par la concurrence agressive des pays en voie de développement. Face à cette évolution du marché, les industries de l'habillement font appel à l'automatisation pour acquérir les nouvelles clés de la compétitivité: productivité, qualité, et flexibilité. L'adaptation selon ces critères, des ressources de production et de leur exploitation, constitue l'objectif de tout projet de productique.

Le chapitre I est consacré à l'étude du fonctionnement particulier des unités de production de l'industrie de la confection. C'est une industrie très spécifique compte tenu des matériaux travaillés et de la diversité des produits fabriqués. L'automatisation de celle-ci a connu une première étape. Il existe, au niveau des machines à coudre, des unités entièrement automatiques où la phase de couture est optimisée au maximum. En parallèle, l'interconnexion physique (transitique) et informationnelle (suivi de production) des postes de travail a été grandement améliorée. Nous montrons que le fonctionnement des postes de travail élémentaires repose sur la trilogie Homme-Machine-Matière. Dans la deuxième partie du premier chapitre nous spécifions un nouveau modèle de poste de travail qui répond aux besoins actuel de l'industrie de la confection. L'implantation de ce modèle nécessite d'automatiser d'une part les opérations d'assemblage et d'autre part les opérations de chargement des machines à coudre. La réalisation d'un premier prototype nous a fait rencontrer un certain nombre de problèmes qui font l'objet des chapitres suivants.

L'automatisation des tâches d'assemblage et de chargement de machines à commandes numériques est largement répandue dans les industries de mécanique. L'adaptation à l'industrie de la confection est difficile compte tenu de la souplesse des matériaux travaillés. La diversité et l'évolution fréquente des produits fabriqués impose beaucoup de flexibilité dans tout dispositif automatique. Le chapitre II positionne notre prototype de cellule de travail parmi les diverses tentatives concurrentes. Deux démarches s'opposent. L'approche intégrée qui aborde les problèmes d'automatisation en considérant un processus complet de fabrication. Celle-ci ne répond pas aux besoins actuels des entreprises compte tenu de leur situation économique. L'approche par tâche que nous préconisons est plus adaptée bien que plus difficile techniquement. A la fin du chapitre II, une description détaillée des spécifications de notre prototype définit clairement le cadre de nos travaux de recherches: mise au point d'un dispositif d'assemblage de petites pièces de tissu dont la forme ou la taille peuvent évoluer.

Les techniques (robotique, système de vision) utilisées dans notre prototype représente un fort potentiel de flexibilité. La limitation à l'assemblage de petites pièces est due à l'inexistence de préhenseurs adéquats pour la manipulation de grandes pièces de tissu. De façon à décrire précisément les aspects spécifiques de l'assemblage de pièces de tissu que nous avons été amené à étudier, nous exposons au chapitre III une nouvelle méthode de modélisation d'un processus de fabrication. Se basant sur les travaux de JP Bourrière dans ce domaine, nous avons particulièrement développé dans notre méthode les aspects de modélisation de l'assemblage de pièces flexibles. Notre méthode gère aussi les aspects de localisation d'une pièce flexible qui est un point important dans une opération d'assemblage. L'application de cette méthode à la description de notre prototype de cellule de travail doit faciliter son adaptation à d'autres postes de travail.

Les aspects de localisation dans notre cellule de travail sont pris en charge par le système de vision. Il doit reconnaître et localiser des formes sur un plan de travail. Dans d'autres secteurs d'industrie de telles applications de traitement d'image existent déjà. Dans l'industrie de la confection, en terme de formes et de temps de réponse, elles n'ont pu être directement implantées. Ceci nous a donc amené à étudier un développement spécifique, objet du chapitre IV. Nous y proposons une solution "personnalisée" en ce qui concerne le col de la chemise (formes) mais adaptable à d'autres pièces (manche, poignets, etc.) de la chaîne de confection.

Une particularité des opérations d'assemblage dans la confection de vêtements sur tissu à motif réside dans le fait que la localisation d'une pièce n'est pas uniquement basée sur son contour. La position d'une pièce peut être définie par rapport au motif du tissu. Dans ce cas de figure, réaliser la tâche de localisation par un système de vision suppose de doter celui-ci de la capacité à reconnaître un motif quelconque. Dans le chapitre V qui traite de cette question, nous apportons une solution nouvelle à ce problème.

I. BESOIN D'AUTOMATISATION DE L'INDUSTRIE TEXTILE

I.1. INTRODUCTION

L'industrie textile des pays industrialisés arrive très difficilement à sortir de la crise. Cette crise a débuté avec l'apparition sur le marché de produits en provenance des pays en voie de développement. Ces produits, du fait d'une main-d'œuvre très bon marché, sont proposés à des prix défiant toute concurrence.

La première réaction de l'industrie textile fut l'amélioration de la qualité de ses produits. En effet, la main-d'œuvre des pays en voie de développement était inexpérimentée et le matériel non performant. La qualité a donc été un rempart pour un grand nombre de ces entreprises.

La trêve a été de courte durée. En une dizaine d'années, ces pays se sont modernisés et ont acquis l'expérience nécessaire à une production de qualité.

Aujourd'hui, l'industrie textile se trouve dans l'alternative de diminuer ses prix de revient ou bien de disparaître [CONF 88] [CONF 90]. Beaucoup d'autres industries se sont déjà trouvées dans cette situation et ont eu recours à l'automatisation. Cependant, l'automatisation de la confection est beaucoup plus complexe à cause d'une des caractéristiques des matières travaillées: la souplesse.

Dans ce premier chapitre, nous exposons les résultats de notre étude sur l'évolution nécessaire de l'industrie textile. Compte tenu des spécificités de l'industrie textile, ce chapitre s'articule autour de deux paragraphes. Nous allons tout d'abord initier le lecteur au domaine souvent méconnu du processus de fabrication de l'industrie de la confection. Fort de cet acquis, nous développerons alors les solutions possibles pour de nouvelles ressources matérielles de production.

I.2. UNITÉ DE PRODUCTION EN CONFECTION : FONCTIONNEMENT, PROBLÉMATIQUE

I.2.1 Description d'un vêtement

Pour bien comprendre la description d'une unité de production de vêtements, il faut avant tout s'intéresser au produit et en donner ses spécificités propres.

A l'exception de certains articles particuliers, la caractéristique principale d'un vêtement est qu'il est réalisé dans une matière souple qui ne prend pas, dans son état naturel, de forme stable. La forme extérieure du tissu est fonction des manipulations qu'il subit.

Les tissus existants sont très variés. Ils se différencient par leur poids, leur solidité, et leur maniabilité. Tout ceci implique des contraintes différentes lors de leur manipulation.

Un vêtement est le résultat d'un assemblage de composants (Ex. col, manches, empiècement, poignets,...) (cf. figure I.1).

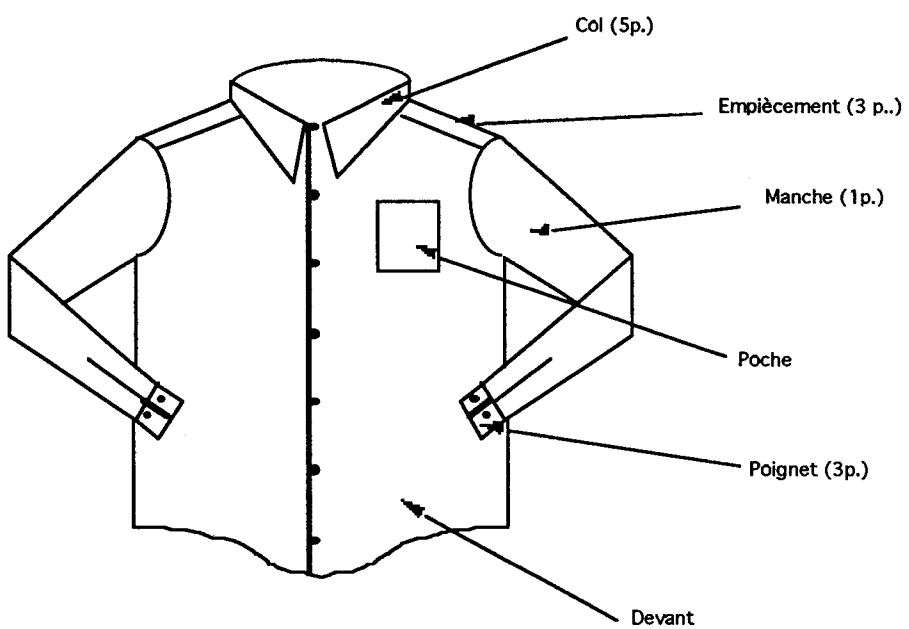


Figure I.1: Assemblage modulaire d'une chemise (p. = pièce)

Ces composants peuvent aussi provenir d'un assemblage de plusieurs pièces de tissu (cf. figure I.2). Nous sommes devant un assemblage modulaire.

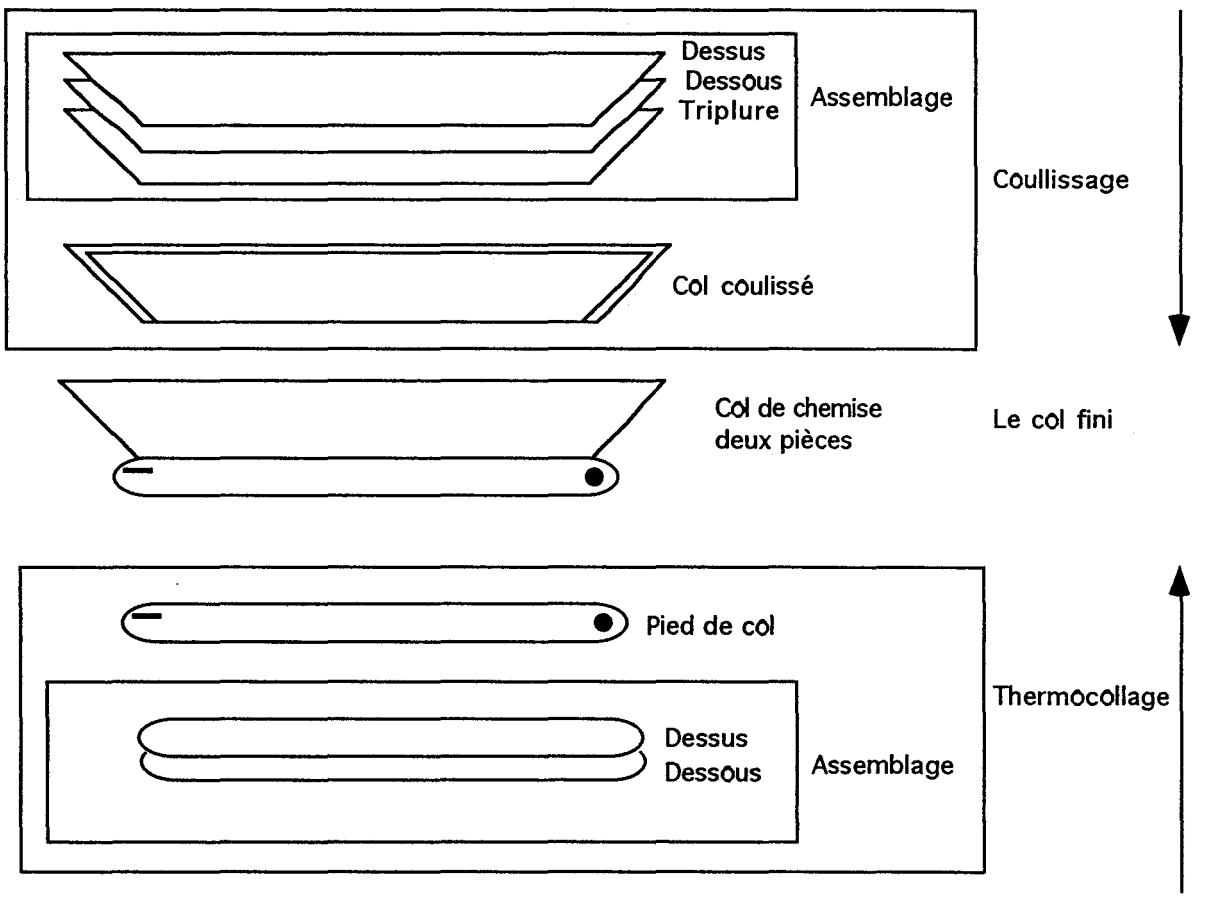


Figure I.2: Décomposition hiérarchique de l'assemblage d'un col de chemise (cinq pièces élémentaires)

Il existe une multitude de vêtements. Nous essayons d'en montrer l'éventail sur la figure I.3. A chaque niveau de la décomposition, il faut encore tenir compte de paramètres du type: style, mode, anatomie. Tous les vêtements ne nécessitent pas un assemblage différent mais l'éventail des techniques d'assemblage est vaste. L'assemblage d'un modèle donné peut même évoluer en fonction de la qualité voulue pour le vêtement ou du tissu employé (uni ou à motif; à maille ou chaîne et trame)

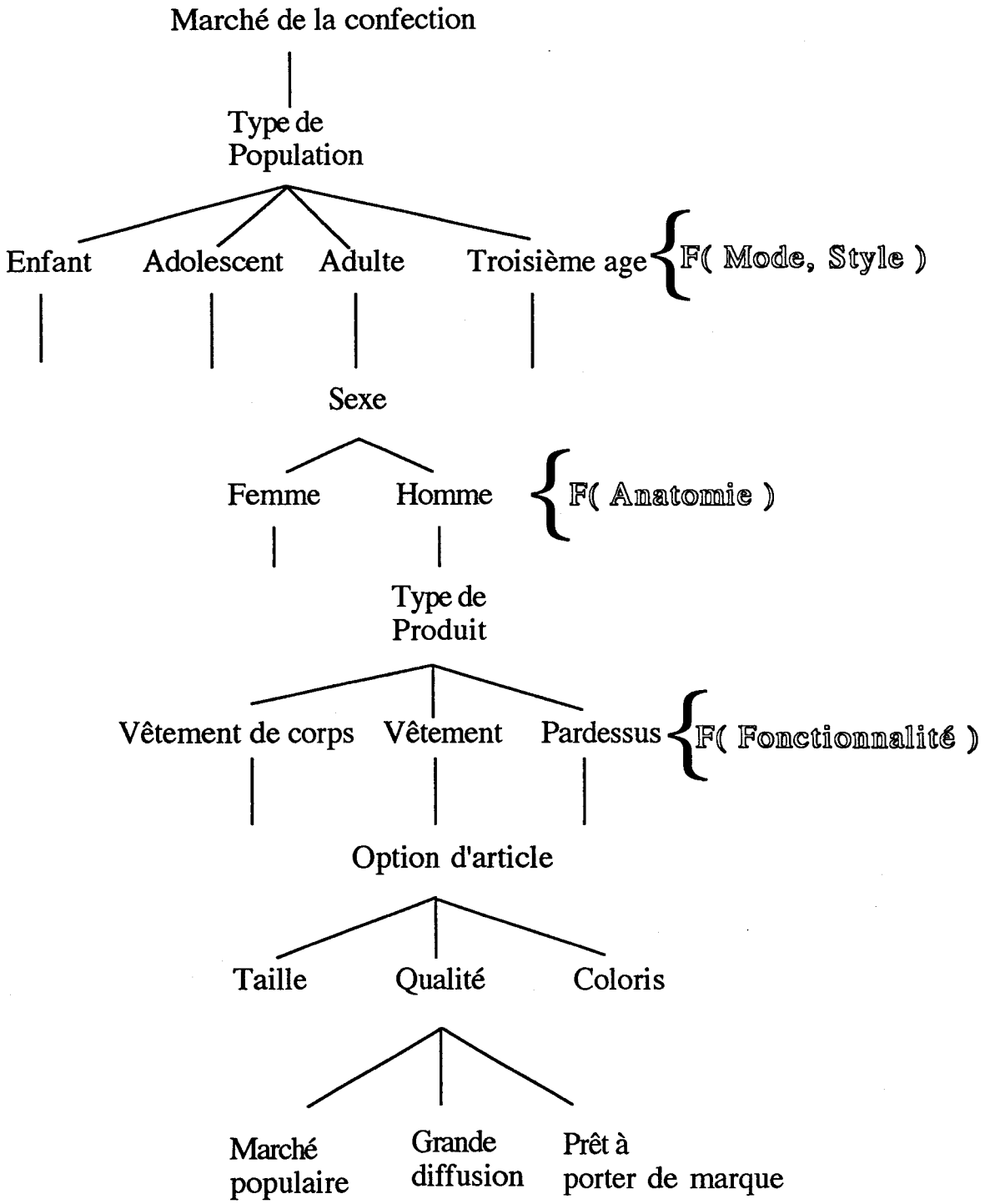


Figure I.3: Vêtements: éventail de produits très vaste

Lors de la confection d'un vêtement, la précision nécessaire dans les opérations d'assemblage est variable mais le millimètre peut être avancé comme borne inférieure.

Nous terminons cette rapide description sur un aspect dont l'importance apparaîtra dans la gestion de l'unité de production. Il s'agit de la durée de vie d'un modèle. Nous distinguons deux cycles de vie:

- Le cycle long concerne les modèles provenant de ce que nous appelons la mode développée. Ces modèles sont imaginés par des stylistes un an et demi avant leur apparition sur le marché. L'élaboration de ces modèles est notamment influencée par les tendances de la haute couture, les mœurs de l'époque, et les attentes spécifiques de la clientèle potentielle. Les modèles de ce type restent au catalogue aussi longtemps qu'ils sont supposés bien se vendre.
- Le cycle court correspond à la mode éclair. Il s'agit d'un style de vêtement qui apparaît sur le marché de façon ponctuelle et non prévisible; souvent par suite de grand renfort publicitaire. Ils doivent être rapidement ajoutés au catalogue et en disparaîtront tout aussi rapidement.

I.2.2 Fonctionnement du processus de fabrication

En confection, le processus de fabrication couvre un grand éventail d'opérations. Cela débute par l'inspection du tissu et se termine par le conditionnement du produit fini. Dans le processus de fabrication, nous pouvons distinguer quatre étapes: (cf. figure I.4):

- Préparations des pièces;
- Réalisations des composants du vêtement;
- Assemblages des différents composants ;
- Préparation du produit fini pour la vente.

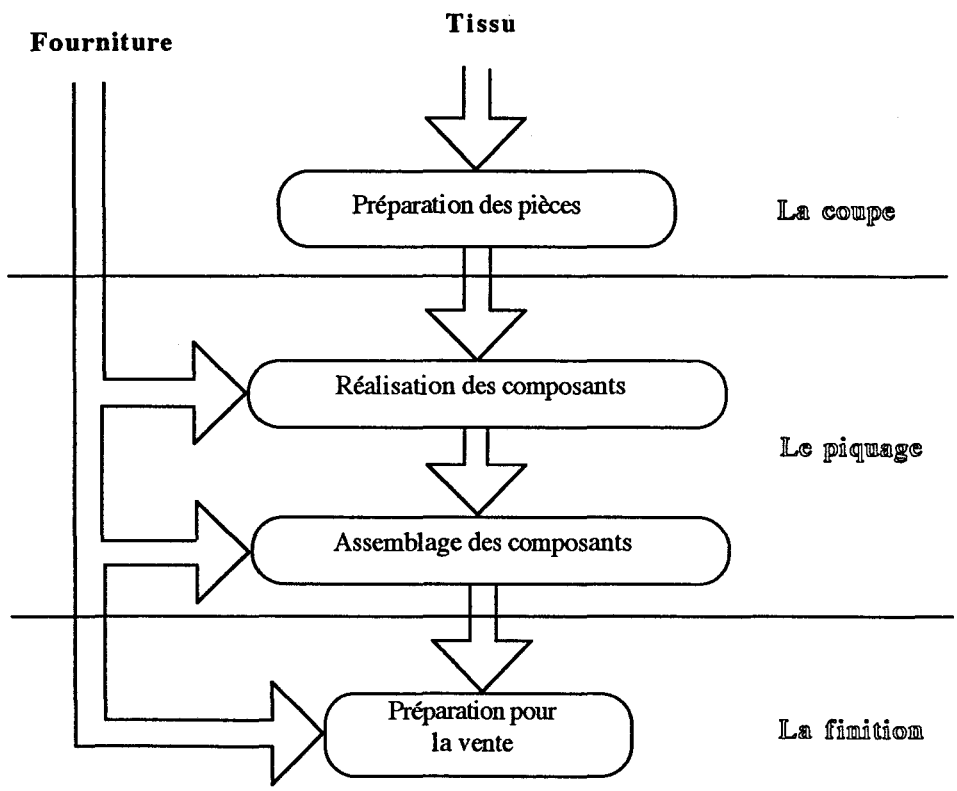


Figure I.4 : Les 4 étapes du processus de confection

Les pièces maîtresses intervenant dans la composition d'un vêtement sont réalisées au cours de ce processus de fabrication, mais quelques fournitures proviennent quand même de l'extérieur, telles que boutons, agrafes, fermetures à glissière, etc.

I.2.2.1 Préparation des pièces

L'étape "Préparation des pièces" regroupe plusieurs opérations [GOUT 90]. Nous avons dans l'ordre:

- l'inspection du tissu,
- la coupe des différentes pièces du vêtement dans le tissu, et
- le traitement spécifique de certaines pièces du vêtement.

Une première inspection des tissus est faite à la réception. Il s'agit d'un contrôle statistique. Cela signifie qu'à la réception d'un colis de tissu, un échantillon est inspecté méticuleusement pour juger de la qualité du colis entier. Cette inspection est d'autant plus délicate qu'elle est effectuée manuellement.

Le tissu est ensuite étalé sur une longue table de coupe. Le tissu peut être disposé en plusieurs couches. Ce matelas à plusieurs plis améliore la productivité.

Pour lancer la coupe, il faut connaître la position des différentes pièces à découper sur le matelas. Le placement est plus compliqué pour les tissus à motif à cause de l'appariement de ces motifs.

La coupe terminée, une deuxième inspection des pièces est pratiquée en même temps que la constitution des lots ou bûches de pièces en fonction de la taille, du coloris, de la forme, etc. En sortie de l'atelier de découpe, certaines pièces peuvent subir des prétraitements:

- traitement thermique pour poser une triplure;
- marquage des pièces pour faciliter l'assemblage.

Du point de vue matériel, il se développe de plus en plus de systèmes d'interface homme/machine pour faciliter les tâches de:

- contrôle qualité du tissu,
- matelassage,
- placement, et
- découpe.

Elles augmentent la flexibilité, la productivité, et le rendement du processus de fabrication.

I.2.2.2 Réalisation des composants du vêtement

Avec la réalisation des différents composants du vêtement débute la phase **Piquage** (cf. figure I.4).

Dans le cas de la chemise, les différents composants sont (cf. figure I.1):

- le col,
- le dos,
- les poignets,
- les manches, et
- les devants.

Ces composants comportent parfois plusieurs pièces (trois pièces dans le col si l'on ne tient pas compte du pied de col). Les coutures de ces composants sont souvent planaires. Nous appelons ainsi les coutures réalisées sur surface plane, par déplacement du tissu ou de la tête de couture. Ceci explique la présence de nombreuses machines à coudre à commande numérique dans cette étape de la fabrication.

Devant ce type de machine, le travail de l'opérateur ressemble à celui d'un automate effectuant toujours le même mouvement avec précision. Il dispose correctement les pièces nécessaires et les présente à la machine. Le cycle de couture est, quant à lui, entièrement automatique.

Ces machines dédiées à une couture particulière sont bien évidemment plus rapides qu'une machine traditionnelle, ce qui est à l'origine de leur succès. Il faut néanmoins nuancer ce propos par le fait que les unités automatiques nécessitent plus de temps de réglage. Un changement de taille sur une machine à coudre traditionnelle ne nécessite que quelques points de couture supplémentaires, alors qu'il demande un réglage sur la machine à commande numérique. La gestion de la fabrication nous montrera l'importance que prend aujourd'hui ce détail.

Chaque composant d'un vêtement est réalisé par un groupe de travail différent. Ces groupes travaillent en parallèle comme représenté à la figure I.5.

I.2.2.3 Assemblages des différents composants.

Lorsque tous les composants du vêtement sont prêts, ils sont assemblés. Il s'agit de coudre les composants les uns aux autres suivant la règle d'assemblage définie pour chaque type de vêtement.

Dans cette phase de "Piquage", les coutures trois dimensions (3D) font leur apparition. L'exemple type d'une couture 3D est celui réalisé lors de l'assemblage de la manche avec le tronc. Ce type de couture est évidemment plus difficile à réaliser. Il faut constamment maintenir les pièces et les présenter sous l'aiguille.

A quelques rares exceptions près (Ex: pose de l'élastique sur les slips), les coutures 3D sont effectuées à l'aide de machines traditionnelles et nécessitent une grande expérience de l'opérateur. La tâche de l'opérateur est répétitive, mais la complexité des mouvements à réaliser lors de la couture ne permet pas d'automatisation. Il existe cependant quelques tentatives pour des coutures spécifiques. Nous citerons l'unité d'assemblage automatique de chez JUKI pour l'assemblage de la manche d'une veste avec le tronc.

A l'inverse de la "Réalisation des composants du vêtement", le travail s'effectue à la chaîne. Le vêtement prend ainsi forme petit à petit. Cette différence d'organisation du travail explique la présence d'unités d'accumulation représentées par le bloc d'interface sur la figure I.5.

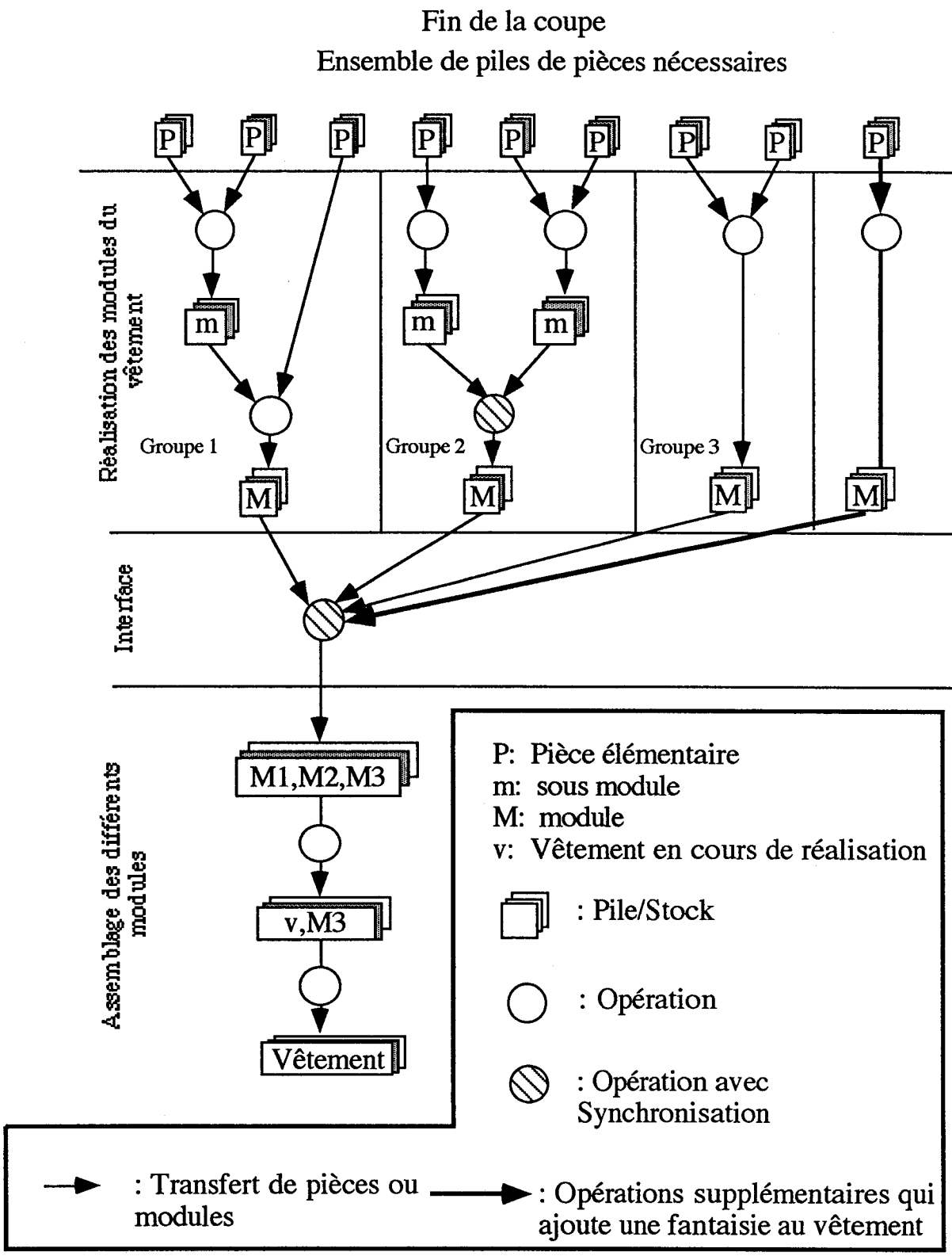


Figure I.5 : Les opérations de piquage

I.2.2.4 Préparation pour la vente

Le vêtement est, à ce stade, entièrement cousu. Après toutes les manipulations qu'il a subies lors de sa confection, il peut présenter certains défauts :

- taches
- faux plis, etc.

L'étape du conditionnement devra assurer le détachage, le vaporisage (défroissage), etc. et, évidemment, l'emballage du vêtement. C'est une étape importante car la vente du produit dépend de sa présentation. Pour ces opérations, la présence d'automatismes dépend beaucoup du type de vêtement. Ainsi plier une chemise nécessite toujours l'agilité de l'opérateur.

I.2.3 Gestion du processus de fabrication

Nous venons de décrire le processus de fabrication d'un vêtement avec ses quatre étapes (préparation des pièces, réalisation des composants du vêtement, assemblage des différents modules, préparation du produit fini pour la vente). Nous avons suivi le programme des opérations à effectuer en insistant sur leurs spécificités et sur les caractéristiques des ressources matérielles utilisées.

Nous allons décrire dans ce paragraphe les différentes méthodes d'organisation de la production. Il est important de remarquer que les ressources utilisées dans la production sont de deux origines:

- humaine, et
- matérielle.

Nous indiquerons, au travers de cette description, les améliorations des moyens de production attendues par les industriels pour s'adapter aux évolutions du marché. Ceci nous amènera à établir le cahier des charges pour un projet d'automatisation dans le domaine de la confection.

Dans la description du vêtement établie au paragraphe § I.2.1, nous avons introduit l'idée de deux types de demande sur le marché de la confection:

- d'une part, la demande qui résulte de la mode développée, et
- d'autre part celle qui est due à la mode éclair.

Ceci induit de façon naturelle, deux organisations possibles de la production:

- La "production de masse", et
- Le "travail à façon ou sous-traitance".

Nous allons nous appuyer sur cette distinction pour l'étude de la gestion des unités de production en confection.

I.2.3.1 Production de masse.

La production de masse était, encore récemment, pratiquée dans toutes les entreprises de confection. Comme le nom le laisse présager, le principe est de produire au maximum pour avoir un profit maximum. Pour appliquer concrètement ce principe, des méthodes scientifiques d'organisation du travail et de gestion du processus de fabrication sont apparues; celle de l'ingénieur Taylor était la plus utilisée.

La gestion de toutes les unités de production de l'industrie de la confection en est encore largement imprégnée. L'équation est simple. Nous avons d'un côté un ensemble d'opérations à réaliser pour obtenir le produit fini et de l'autre, la volonté d'avoir une production la plus importante possible. Pour tirer le meilleur rendement des ressources de production, chaque opération est décomposée en mouvements élémentaires afin de trouver la meilleure (la plus rapide) façon de faire. Les "bons" mouvements sont ensuite appris à l'opérateur qui les répète indéfiniment comme un automate. Dans cette optique, les unités automatiques ont eu un grand succès à cause des gains de temps obtenus.

Une fois chaque opération étudiée, il faut s'assurer que l'opérateur ait les moyens (matière, fournitures, et machine) de l'effectuer.

Au niveau des machines, le plus simple est d'en affecter une à chaque opérateur, ce qui évite les réglages fréquents, sources de pertes de temps, et une trop grande qualification du personnel qui n'a alors qu'à connaître le fonctionnement d'une seule machine.

En ce qui concerne la disponibilité de la matière, il est nécessaire de gérer des tampons entre les postes de travail successifs. En effet, lors de la "Réalisation des composants d'un vêtement" (cf. figure I.5), il y a des points de synchronisation entre sous-composants car ils ne demandent pas tous le même temps de réalisation.

Ces tampons représentent ce que l'on appelle l'en-cours. Il s'agit du stock de produits dont la confection est plus ou moins avancée. Ces unités d'accumulation permettent un fonctionnement continu de l'atelier. Ces en-cours sont à l'origine de la contradiction bien connue dans les milieux de la confection où il faut attendre un ou plusieurs jours entre le lancement de la fabrication d'une commande et la disponibilité du premier article fini, alors que le temps moyen de fabrication du même article n'est que de quelques minutes. Dans le cas de la fabrication de chemises, par exemple, l'en-cours moyen évalué en jours tourne autour d'une semaine et il sort une chemise de la chaîne toutes les quatorze minutes.

Le Taylorisme est une méthode générale d'organisation du travail. Son application dans le domaine de la confection présente des spécificités. En effet la fabrication tourne au rythme d'un calendrier annuel strict. L'année civile est marquée par la sortie de deux collections (catalogue de modèles que l'entreprise se propose de vendre) (cf. figure I.6):

- Automne/Hiver, et
- Printemps/Été.

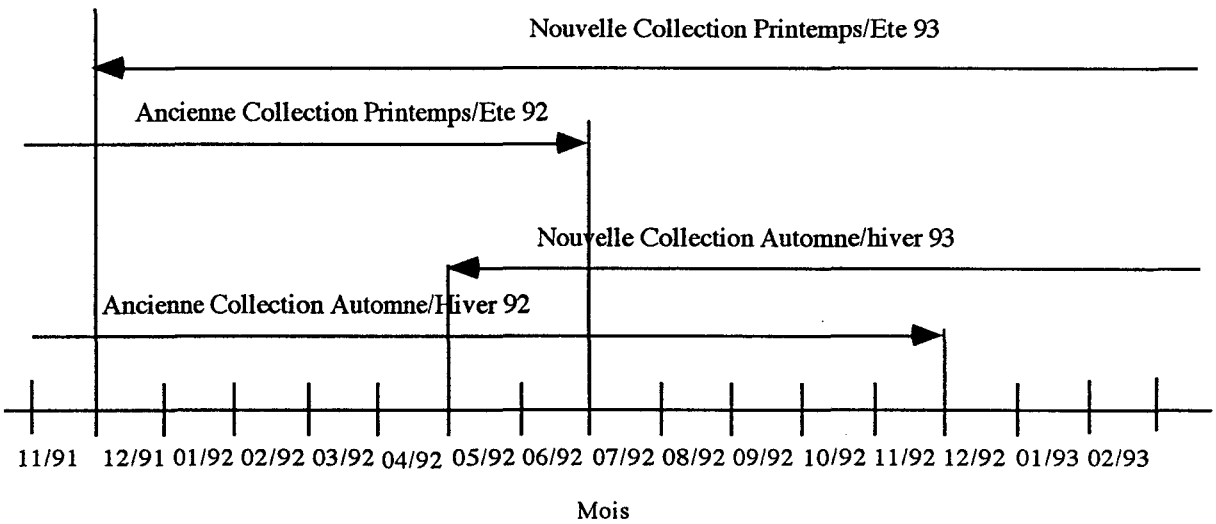


Figure I.6 : Recouvrement des collections

De la conception à la livraison de la dernière commande, une collection est un projet de 16 à 19 mois. En s'appuyant sur l'exemple de la figure I.7 qui présente le calendrier de la collection Printemps/Été 93, nous pouvons voir que les stylistes commencent dès le mois de décembre 91 à réfléchir sur les lignes et coloris. Cette projection à long terme est rendue obligatoire par le fait des délais importants imposés par les fabricants de fils et tissus (4 à 6 mois). Suivant la demande du marché, la fabrication peut s'étendre sur 5 à 7 mois. En conséquence, il peut se produire des recouvrements de fabrication entre les collections Automne/Hiver et Printemps/Été. A cet instant précis, le besoin de flexibilité est encore plus grand.

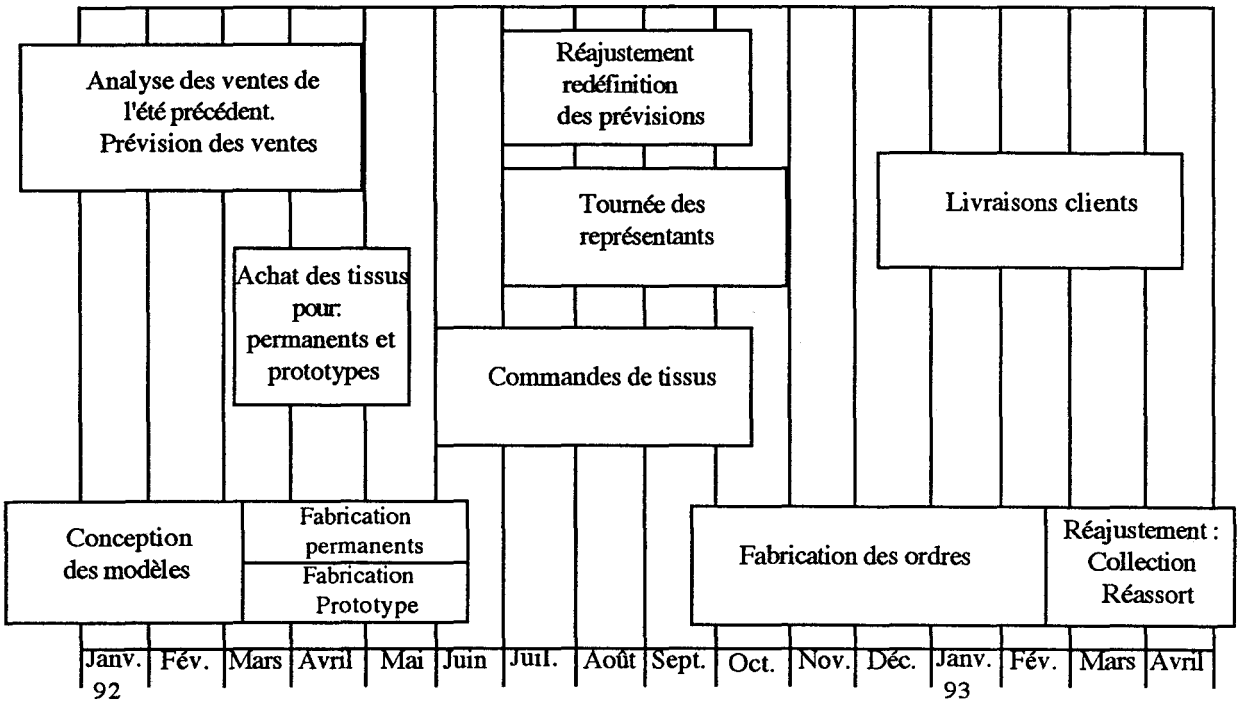


Figure I.7 : Calendrier de la collection Printemps/Été 93

Depuis l'époque faste de l'après guerre qui convenait totalement à une gestion du type "production de masse", le marché de la confection a beaucoup évolué. Face à la concurrence, l'objectif n'est plus les grandes séries mais plutôt les moyennes séries avec comme perspectives les petites séries. Depuis une vingtaine d'années, les ressources de production ont déjà commencé à évoluer dans cette optique.

Cette évolution porte sur les points suivants :

- les machines dédiées permettent d'augmenter sensiblement la production, mais la perte de temps, occasionnée par les réglages lors de changements de taille ou de modèle, les pénalise beaucoup. Les entreprises veulent que leurs investissements matériels soient rentabilisés rapidement, sur un an et demi ou deux au plus. La flexibilité doit être la première qualité de tout nouveau système. Les industriels attendent des systèmes souples qui puissent évoluer avec le temps sans remettre en cause leurs investissements passés

- les contraintes de coût imposées par la concurrence impliquent une gestion plus flexible du personnel. L'époque d'une machine par personne est révolue. Le personnel doit tourner en fonction des besoins. Cette mobilité nécessite cependant une qualification supérieure. Pour limiter cela, les modes opératoires des machines doivent être simplifiés. Une uniformisation pourra diminuer les temps d'adaptation. L'autonomie de fonctionnement des unités automatiques favorisera aussi la mobilité de l'opérateur entre

plusieurs machines. Cette autonomie doit aussi se manifester par des capacités d'auto-diagnostic qui permettront de diminuer les temps de maintenance.

- les arguments souvent évoqués par les commerciaux d'une entreprise textile, vis-à-vis des produits de la concurrence, concernent le savoir-faire de leur propre Société qui se retrouve dans la qualité du produit. Les industriels attendent des nouveaux systèmes qu'ils augmentent les contrôles qualitatifs continus pour améliorer encore l'image de marque de leur Société.

Les grandes lignes pour l'évolution des ressources matérielles de production de masse peuvent être résumées en trois axes :

- flexibilité,
- autonomie et simplicité de fonctionnement, et
- contrôle qualité.

Ceci devra permettre de faire face aux évolutions du marché:

- compression du calendrier des collections,
- apparition de modèles d'intersaison, et
- augmentation des commandes en petites séries.

I.2.3.2 Le travail à façon.

Le travail à façon est le type de gestion qui semble pouvoir prendre à contre-pied la concurrence des pays en voie de développement.

Il est impossible de produire aussi bon marché qu'eux et, progressivement, ces pays acquièrent un savoir-faire tel qu'il devient difficile de faire la différence sur la qualité du produit fini.

Le talon d'Achille de ces pays est leur éloignement vis à vis du marché. Ils ont donc à subir les aléas du transport ou des formalités administratives (douane, etc....). Dans le cas des articles issus de la mode éclair, des petites séries (articles à style particulier) et des commandes de réassortiment en fin de saison, la distribution veut être livrée au plus prés du moment de la vente pour éviter le stockage. C'est là que les industriels locaux ont un atout majeur à jouer.

L'industrie de la confection l'a bien compris, et depuis plusieurs années des réflexions ont été menées sur de nouvelles méthodes d'organisation de la fabrication. Les objectifs prioritaires sont la diminution des temps de passage, la minimisation des en-cours, etc., afin de réagir au plus vite et dans les meilleures conditions aux variations de la demande.

De ces réflexions sont déjà nés de nouveaux systèmes d'organisation de production en confection. On peut citer entre autres, au Japon, le "Toyota sewing system", et, en France, les "Groupes cellulaires produits" [CONF 90] [CONF 88][BONE 85].

D'une façon générale, ces systèmes fournissent une plus grande flexibilité grâce à une organisation plus souple de la main-d'œuvre. Cette nouvelle organisation est basée sur de petits groupes chargés de la confection entière d'un article, et ceci, même au prix d'une baisse de productivité. Il y a plus de machines que de personnes dans le groupe. Ce personnel s'affaire sur les différents postes de travail en fonction des besoins ponctuels, s'entraidant si nécessaire pour éviter tout blocage de fonctionnement du groupe. La caractéristique recherchée pour le matériel est la flexibilité plus que la productivité habituelle. Faute d'inadéquation des unités automatiques actuelles, nous observons un retour vers les machines traditionnelles.

Les inconvénients de ces nouvelles méthodes sont:
- la nécessité d'un parc matériel important avec beaucoup de machines inactives,
- la gourmandise en espace au sol de l'implantation.

Une solution est de disposer d'unités automatiques qui pourraient facilement se régler sur de nouvelles coutures, de nouvelles formes de patronage, etc. Ces unités devraient faire preuve d'autonomie pour donner une plus grande liberté de mouvement au personnel au sein d'un groupe.

Le travail à façon est appelé à se développer. Il est accompagné d'une modification de fond dont nous pouvons déjà percevoir quelques signes. En effet, une réorganisation globale de l'industrie textile se dessine. Nous avons:

a / Les "Façonniers", qui fabriquent sans concevoir ("Manufacturers"), et

b / Les "Confectionneurs" qui conçoivent les produits et établissent les programmes de fabrication à confier aux façonniers ("Apparel Makers").

I.3. ÉVOLUTIONS NÉCESSAIRES VERS DE NOUVELLES RESSOURCES MATÉRIELLES DE PRODUCTION

Tout le processus de fabrication, exception faite de la "Coupe", est basé sur le fonctionnement du poste de travail. Pour mieux appréhender celui-ci, nous proposons de le schématiser suivant la figure I.8 [NILS 81].

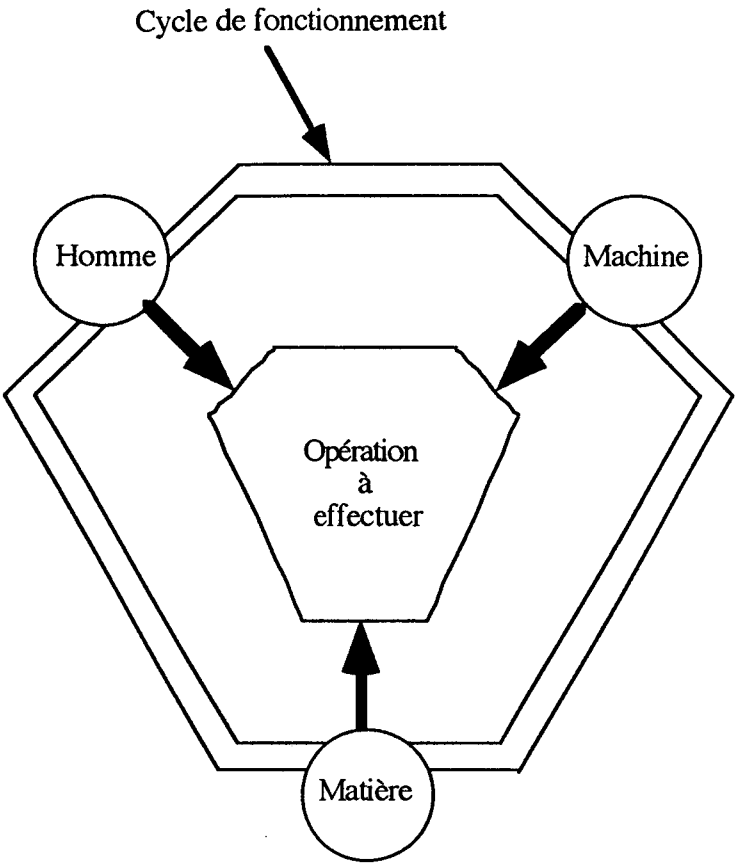


Figure I.8 : Cellule de base

Tout poste de travail est lié à la trilogie:

Homme - Machine - Matière

A trois, ils interagissent selon un cycle de fonctionnement spécifique au poste de travail en question pour réaliser une opération. Cette opération dépend de la position de la cellule dans le processus de fabrication.

La **Matière** possède différentes réalités physiques. Au début, il s'agit des pièces élémentaires qui deviennent successivement sous-composants, composants et vêtement (cf. figure I.5). La **Matière** véhicule de l'information tout au long du processus de fabrication. Par exemple, de sa forme nous pouvons déduire le modèle et la taille du vêtement. La caractéristique importante de la **Matière**, vis à vis de l'**Homme** ou de la **Machine**, est sa passivité dans le fonctionnement du poste de travail. Son état physique indique l'opération à réaliser.

La **Machine** est l'outil. Elle est entièrement caractérisée par les spécifications suivantes:

- Les différentes fonctions possibles:
  * plusieurs points de couture possibles;
  * différentes tailles de pièces envisageables;

* etc.

- Les automatismes disponibles:
  * phase de couture automatique pour les unités de couture à commande numérique;
  * enfilage automatique;
  * coupe du fil en fin de couture;
  * déchargement automatique;
  * etc.

L' **Homme** est le catalyseur qui permet au poste de travail de fonctionner. La particularité de l'**Homme** dans la trilogie **Homme - Machine - Matière** est son interchangeabilité entre les postes. En effet, l'**Homme** représente un potentiel de fonctions qui sont nécessaires à chaque poste de travail. Nous distinguons trois fonctions:

- La fonction d'analyse et de reconnaissance de la matière:

Lors de l'initiation à un poste de travail, il est expliqué à l'opérateur quels types de pièces élémentaires, sous-composants et composants il doit saisir. La méthode d'assemblage de ces pièces lui est exposée.

Bien que naturelle chez l'être humain, cette initiation met en œuvre l'ensemble des mécanismes suivants:

- Construction d'un modèle des pièces utilisées. Ceci est fait par apprentissage en montrant les différentes pièces possibles, et
- Évaluation de la conformité et de la qualité d'une pièce en fonction du modèle établi.

Une fois l'initiation terminée, le travail de l'opérateur devient de plus en plus un automatisme. Ses capacités d'analyse et d'apprentissage sont ensuite très peu utilisées.

- La fonction de communication avec l'extérieur:

Le poste de travail est un des maillons d'une grande chaîne. Dans l'édifice de l'unité de production, circulent beaucoup d'informations. Là aussi, l'**Homme** joue un rôle important. Il est capable:

- d'enregistrer de nouvelles consignes de travail, et
- de signaler des anomalies de fonctionnement.

A ce sujet, quand la quantité d'informations est importante ou que le temps de réponse doit être court, les capacités de l'**Homme** sont vites limitées en comparaison à un système informatisé en raison par exemple de la déformation de l'information suite aux communications successives entre personnes ou de la faiblesse possible de la mémoire humaine.

- La fonction de manipulation:

Dans le poste de travail, seule la machine est statique. L'**Homme** doit bouger pour prendre, assembler et amener les pièces élémentaires, sous-composants ou composants du vêtement à la **Machine**. L'**Homme** est amené aussi à régler la **Machine** pour l'adapter à la **Matière**. Dans cette tâche, l'**Homme** est remarquable de flexibilité vis à vis de la **Matière** ou de la **Machine**.

L'ensemble des fonctions tenues par l'**Homme** dans le poste de travail peuvent être représentées sous la forme d'un graphe comme celui de la figure I.9.

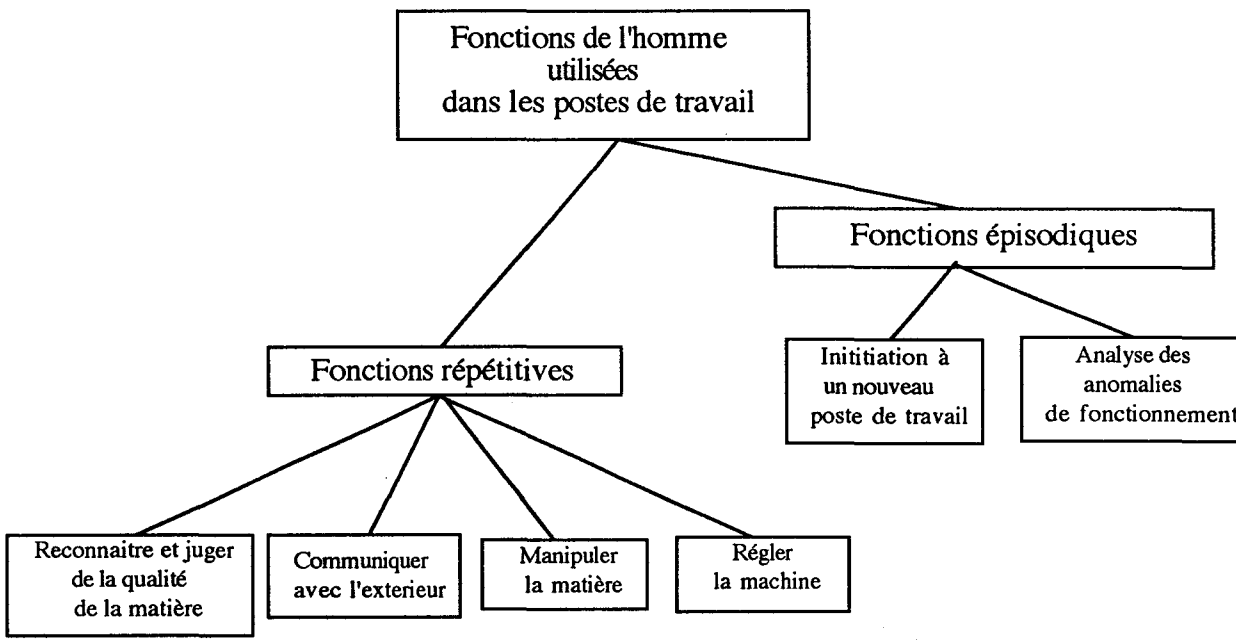


Figure I.9 : Fonctions de l'homme dans le poste de travail

Dans le fonctionnement des postes de travail, il y a eu une évolution du cycle de fonctionnement [HIRO 82][CEE 79][HOLG 80][SEES 80][TAYL 82][ANCI 90]. Elle permet de tirer de plus en plus avantage du potentiel humain en le déchargeant des fonctions répétitives et en mettant en valeur sa capacité d'analyse.

Le cycle de fonctionnement d'un poste de travail équipé d'une machine à coudre traditionnelle est celui décrit à la figure I.10. L'**Homme** intervient tout au long de la réalisation de l'opération.

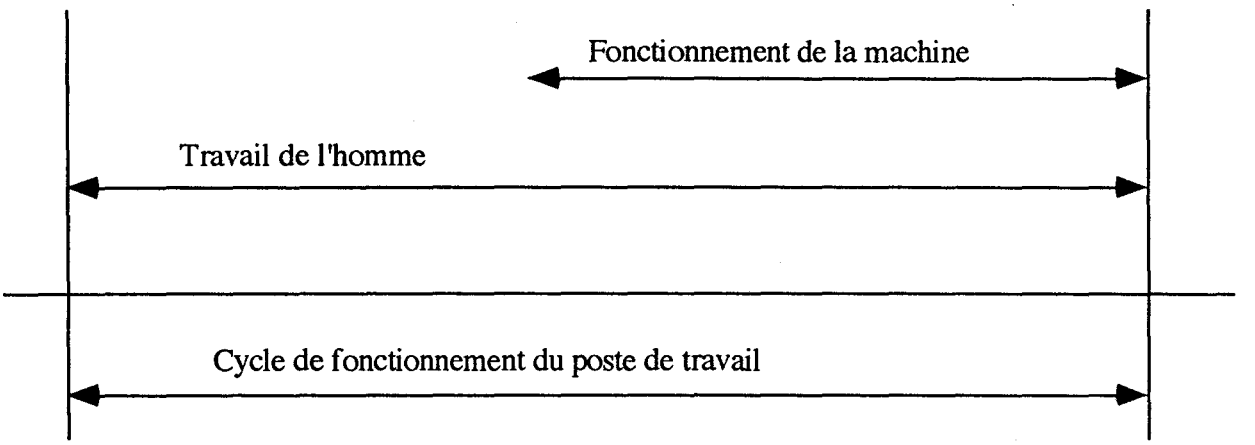


Figure I.10 : Poste de travail avec une machine traditionnelle

Avec les machines à commandes numériques, l'**Homme** a pu travailler en temps masqué (cf. figure I.11). C'est une première étape pour décharger l'**Homme** des fonctions répétitives. Mais il reste attaché à son poste de travail. Son absence entraîne inévitablement l'arrêt de celui-ci.

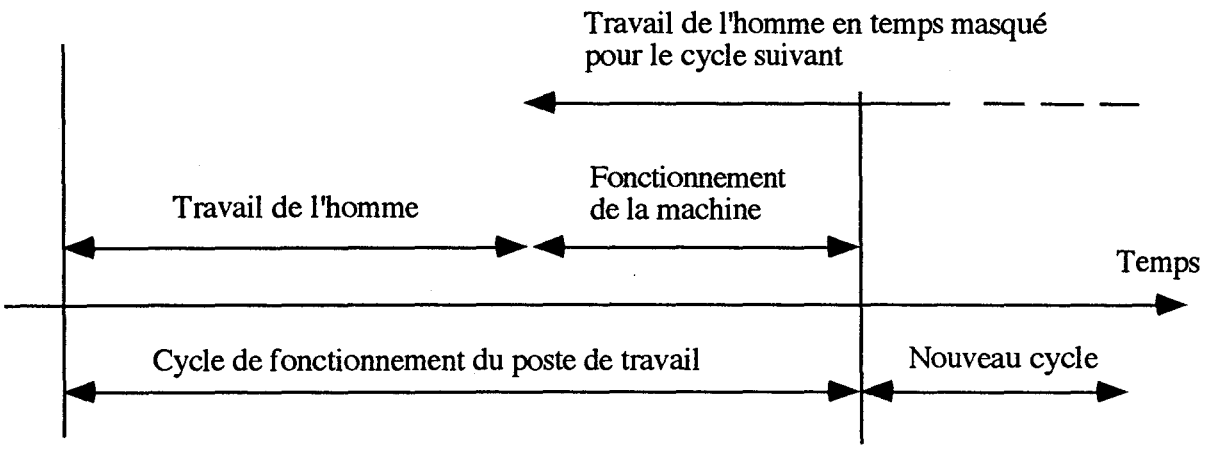


Figure I.11 : Poste de travail avec une machine à commande numérique

Nous proposons comme intéressante évolution ultérieure du poste de travail, un fonctionnement sans présence permanente de l'**Homme**. Une unité d'intelligence locale pourrait remplacer l'**Homme** qui n'interviendrait alors qu'épisodiquement pour des actions nécessitant surtout sa capacité d'analyse ou sa dextérité lors de manipulations délicates (cf. figure I.12).

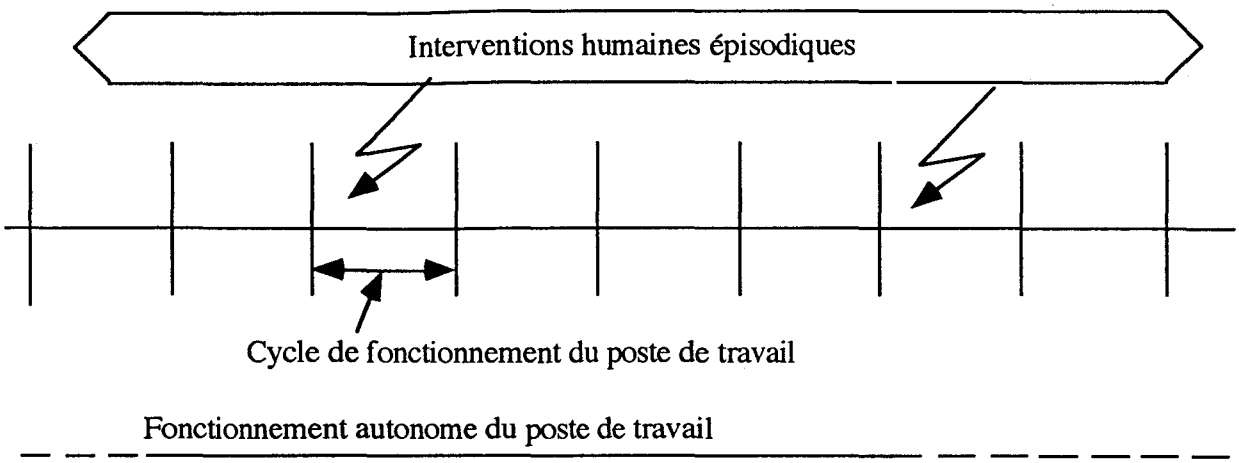


Figure I.12 : Une nouvelle vision du poste de travail de demain

Les nouveaux systèmes d'organisation de production, du type de Toyota Sewing System (TSS), montrent la voie à suivre. Ils prouvent que la confection peut gagner beaucoup à briser la trilogie **Homme - Machine - Matière** en faisant tourner l'**Homme** sur plusieurs postes. L'inconvénient des technologies actuelles (**Machine** traditionnelle, ou bien **Machine** à commande numérique) est que l'absence de l'**Homme** implique forcément l'arrêt de la production du poste de travail. Cette situation est schématisée à la figure I.13. Nous avons un ensemble de postes de travail sur lesquels tourne un jeton symbolisant la présence de l'**Homme**. Tout poste de travail sans jeton est à l'arrêt.

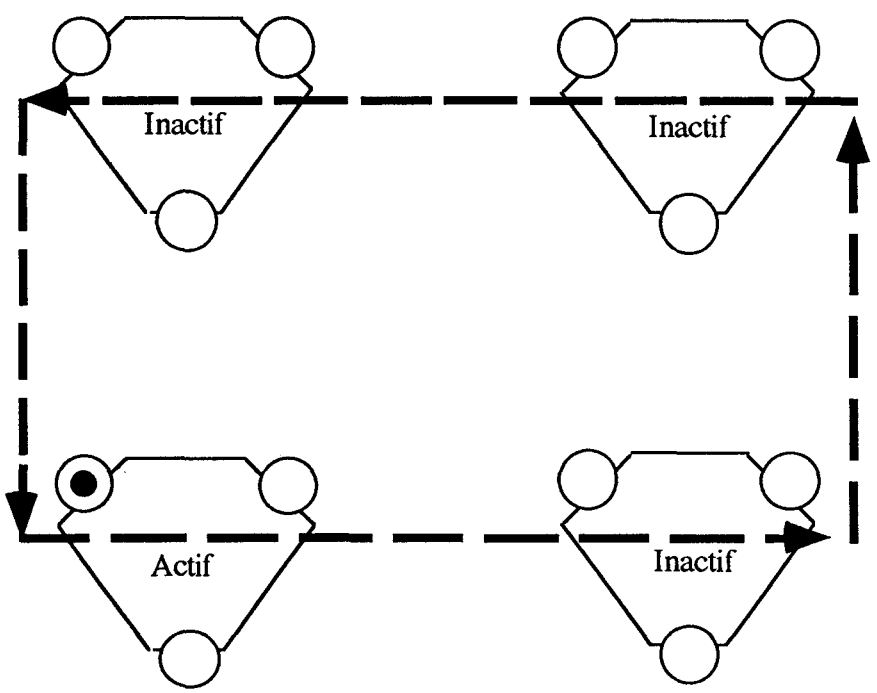


Figure I.13 : Organisation du type TSS

La perte de productivité, due aux postes inactifs, est difficilement acceptable. La mise sur pied de postes de travail autonomes avec des unités d'intelligence locale pourrait palier cette perte de productivité. Les unités d'intelligence locale devraient assurer les fonctions répétitives de l'homme déjà exposées à la figure I.9. De tels postes de travail permettraient l'implantation de nouvelles gestions de production tels que le T.S.S. avec une optique de production de masse. (cf. figure I.14)

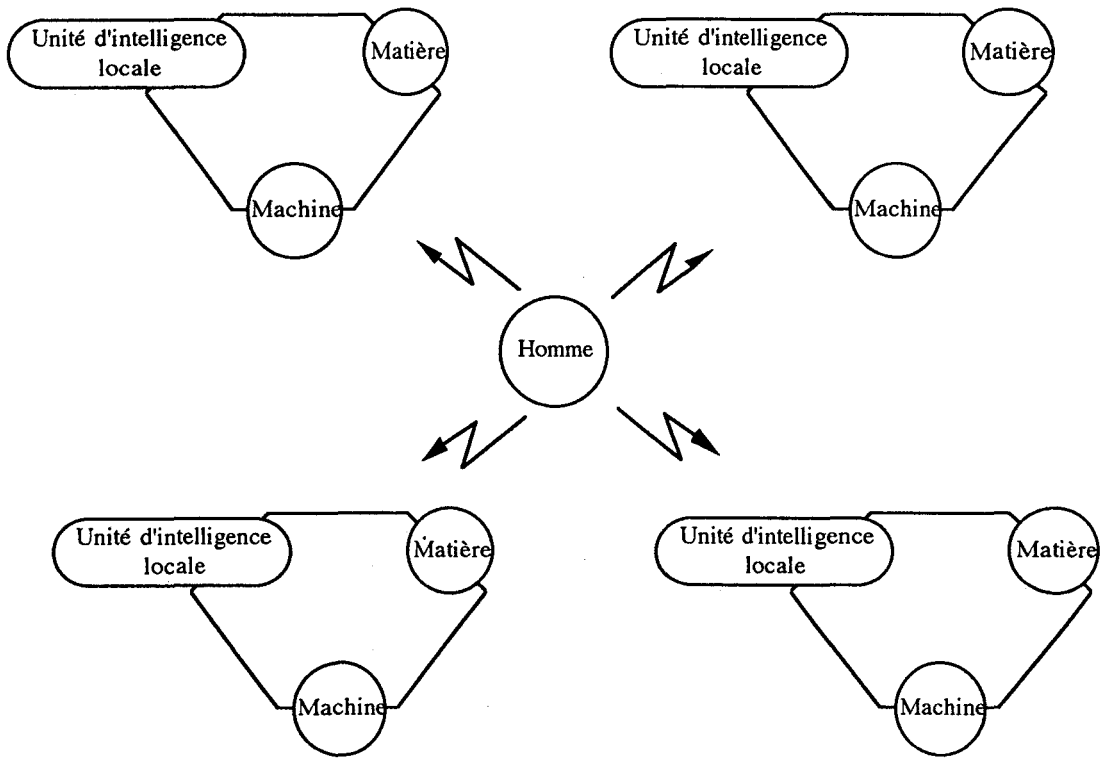


Figure I.14 : Évolution à atteindre pour le poste de travail

Notre objectif final est d'avoir une cellule de couture autonome avec plusieurs modes opératoires. De telles cellules de couture permettront l'implantation de la pyramide C.I.M. (Computer Integrated Manufacturing) dans les unités de production de confection (cf. figure I.15) [CIM 88][CIM89][INGE 87][BENO 89]. La structure C.I.M. est le modèle de l'usine entièrement automatisée dont le procédé de production est contrôlé par un système de C.A.O./C.F.A.O. (Conception Assistée par Ordinateur/ Conception de Fabrication Assistée par Ordinateur).

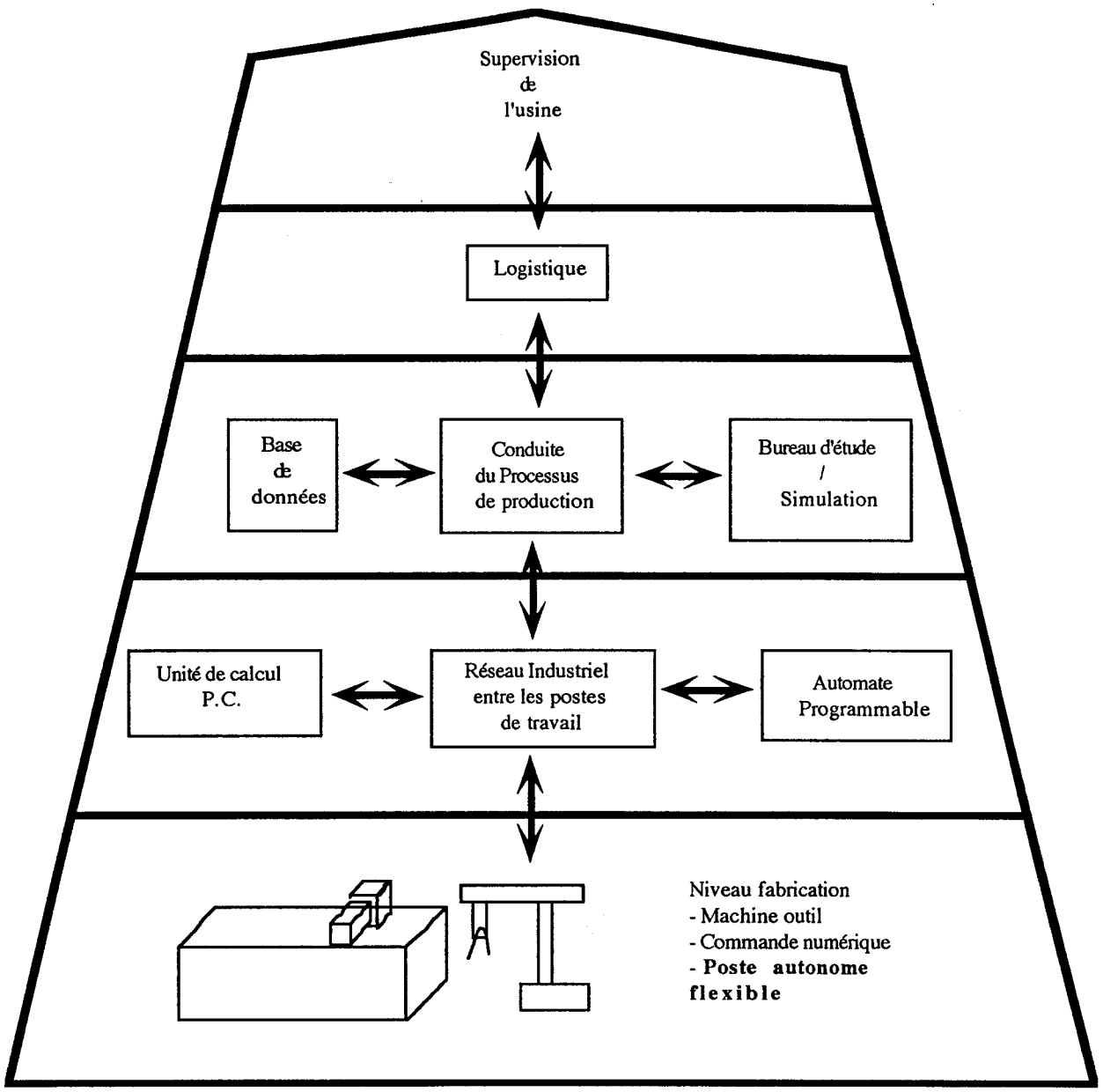


Figure I.15: Pyramide C.I.M.

I.4. CONCLUSION

Compte tenu de la concurrence présente sur son marché, l'industrie textile nationale doit améliorer son matériel de production et choisir une gestion de fabrication permettant de répondre au mieux à la demande du marché.

Face à ce problème, l'industrie textile se distingue beaucoup par rapport à d'autres industries où le processus d'automatisation est en marche depuis longtemps.

Cette distinction s'explique par le fait que l'industrie textile:

- fabrique des produits en matière souple;
- fabrique un éventail de produits très vaste; et
- nécessite un processus de fabrication complexe.

Dans ce chapitre, après avoir développé chacun des trois points précédents, nous avons fait ressortir une évolution possible des ressources matérielles de l'industrie textile pour mettre en œuvre les nouvelles gestions de production. Le chapitre suivant présentera plusieurs solutions techniques d'implantation.

BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE I

Livres:

1 [INGE87]: INGERSOLL E., "L'usine intégrée", Edition Hermes, 87.

2 [BENO 89] : BENOSSY J. et al., "L'usine intégrée par ordinateur", Edition Hermes, 89.

3 [BONE 85] : BONETTO R., "Les ateliers flexibles de productions.", Edition Hermes, 1985.

Thèses:

4 [ANCI 90] : : D. ANCIAUX,"Étude d'agencement spatial dans un atelier de production selon le concept de technologie de groupe", Thèse , UFR Mathématique, Informatique, Mécanique, Automatique de Metz, 1990.

Articles:

5 [CIM 88]: "CIM: Qu'est-ce que le CIM?", Le journal de la robotique (L'informatique industrielle), Janvier 1988, N°39, pp 6.

6 [CIM 89]: Robinet P., "Le CIM ou l'entreprise intégrée (au service de la flexibilité)", Confection 2000, Octobre 1989, n° 104, pp 14,19.

7 [CONF 88] : "Nul n'est censé ignorer la flexibilité.", Confection 2000, n°90, pp. 14-19, Mai 1988.

8 [CONF 90] : "Ordre de mission: la flexibilité.", Confection 2000, n°112, pp. 52-57, Juin 1990.

Rapports:

9 [CEE 79] : "Perspective de développement de la productivité dans le secteur de l'habillement de la CEE", Wira 1979.

10 [HIRO 82] : HIROYUKI Y., "Flexible manufacturing system- State of the art in japan", Falculty of engineering, The university of Tokyo, 1982.

11 [HOLG 80] : HOLGER N., "Porjects for the garment industry at the Fraunhofer institute for manufacturing Engineering and Automation", IPA, Stuttgart, 1980.

12 [NILS 81] : NILSON N.T., "Some illustration of the functions and dimensions of distributed assembly automation - An analytical approach based

on networking.", Chalmers university of technology (department of textile technology), Gothenburg, 1981.

13 [SEES 80] : SEESSULBERG H., "A challenge to develop fully automated grament manufacturing, Advanced Apparel Manufacturing Technology Fashion", Institute of Technologie, New York, 1980.

14 [TAYL 82] : Taylor P.M., " Progress towards automated grament manufacture", Departement of electronic engineering, U niversity of Hull, U.K., 1982.

II. MÉTHODES D'AUTOMATISATION DE L'INDUSTRIE TEXTILE

II.1. INTRODUCTION

Dans le chapitre I, nous avons vu quels sont les besoins d'automatisation de l'industrie textile. La non évolution des ressources matérielles de production par rapport à d'autres industries (industrie mécanique, industrie alimentaire, ...) tient d'une part des spécificités de la matière travaillée:

- un tissu est une matière très souple sans forme fixe;
- un tissu est une matière dont la couleur est très variable (motif, texture);

et d'autre part des caractéristiques des pièces de tissu intervenant dans la confection d'un vêtement:

- multiplicité des formes;
- similitudes importantes entre pièces (pièces de tailles différentes).

Les progrès de la recherche et l'expérience acquise dans certains secteurs d'activité sont à l'origine de plusieurs projets d'automatisation de l'industrie textile. Ils visent tous à faire évoluer le poste de travail comme cela est décrit au chapitre précédent. L'analyse de ces projets nous fait distinguer deux types d'approche distincts:

- l'approche intégrée;
- l'approche par tâche.

Dans ce chapitre, nous allons développer les deux méthodes que nous distinguons pour automatiser une unité de production textile. Ceci nous permettra d'introduire aisément le projet de cellule flexible d'assemblage pour col de chemise qui est à l'origine de tous les travaux exposés dans cette thèse.

II.2. PROJET D'AUTOMATISATION AVEC APPROCHE INTÉGRÉE

Pour les projets avec une approche intégrée, l'automatisation concerne une phase entière du processus de fabrication telle que la coupe, le piquage ou la finition (cf. figure I.4). L'argumentation de l'approche intégrée repose sur les idées fortes suivantes:

- Automatiser une suite logique d'opérations peut s'avérer plus facile que d'automatiser une opération isolée. La remise en cause d'un plus grand nombre d'opérations donne plus de latitude dans le choix de la solution. De plus, le processus de fabrication en confection comporte naturellement trois blocs logiques d'opérations: coupe, piquage (réalisation des modules du vêtement et assemblage des modules), et finition. Ceci facilite la modélisation du processus de fabrication en trois boites noires dont

l'interface est bien défini. La substitution de l'une de ces boites par un système automatique pose moins de problèmes d'intégration que la substitution d'un poste de travail unique.

- L'automatisation d'un bloc logique d'opérations permet la remise en question de l'existence de certains postes de travail ou encore de l'ordonnancement traditionnel de ceux-ci.

- Certaines solutions techniques ne sont envisageables que dans le cas d'automatisation de grande envergure. C'est le cas, entre autres, de la gestion informatique de production. Pour être efficace, les communications informatiques entre les postes de travail doivent être intégrées dès la conception. Il est alors possible, au travers d'un bon réseau de communication de saisir une information sur le processus de fabrication là ou elle a la forme la plus adéquate.

- A l'inverse de l'image du pansement sur une jambe de bois, l'approche intégrée doit fournir de meilleurs résultats de productivité finale. En effet la productivité d'un centre de production est généralement limitée par l'opération la plus lente. L'automatisation d'une phase entière doit apporter un gain de productivité plus sensible.

Il existe actuellement quelques tentatives d'automatisation d'usines textiles qui suivent une approche intégrée. Elles ne concernent que les phases de coupe et de piquage. Des travaux de recherche sont nécessaires avant une automatisation globale intégrant le processus complet et ceci pour plusieurs raisons:

- Dans l'état actuel de la productique, seule l'intégration de la partie "Réalisation des composants" peut être envisagée. La manipulation dans l'espace de pièces de tissu pour les coutures 3D n'a pas encore trouvé de solution suffisamment fiable pour être automatisée sur un plan industriel (cf. Chapitre I §2.2.3).

- La situation économique de la confection est telle que rares sont les entreprises qui peuvent supporter l'investissement de tels travaux de recherche. Celle ci limite naturellement les progrès accomplis qui dépendent beaucoup des moyens mis en œuvre.

- Dans une approche intégrée, il y a inévitablement substitution totale du matériel de production existant. C'est un effort financier inabordable pour beaucoup de P.M.E.

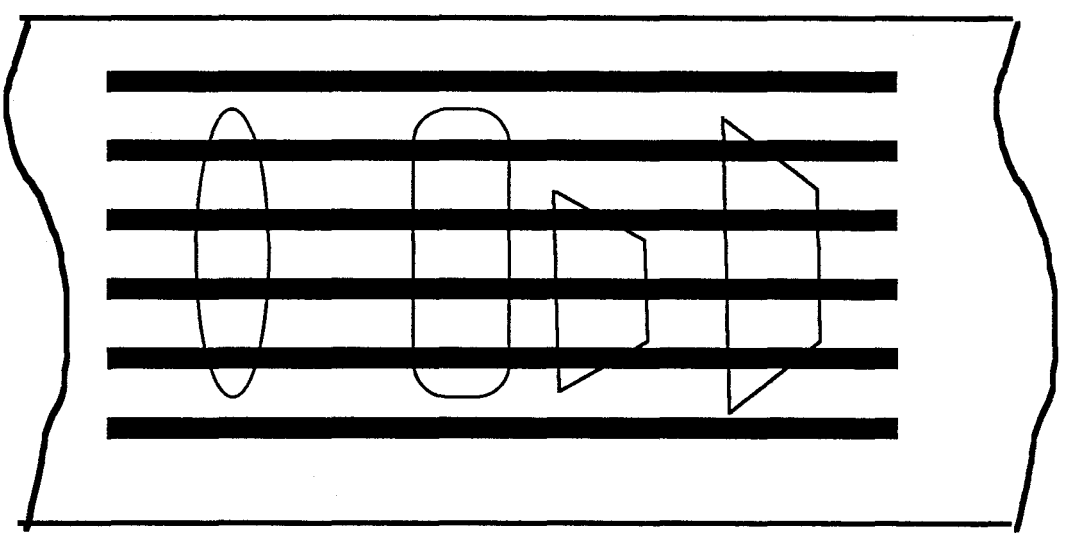
- Vu les principes de l'approche intégrée, peu de résultats de recherches intermédiaires peuvent être utilisés directement. Le système fait un tout difficilement dissociable.

Dans les pays industrialisés, plusieurs projets d'approche intégrée, ont vu et voient encore le jour. Au Japon, c'est au niveau gouvernemental que des projets de grande ampleur sont promus. Aux États-Unis, il y a une concurrence stimulante entre plusieurs commissions parrainant la recherche pour l'industrie textile. Nous citerons le "Textile/Clothing Technology Corporation" [FRED 86] dont les résultats sont très intéressants.

Cette commission du $(TC)^2$ est à l'origine d'un dispositif réalisant de façon automatique la manche d'une veste. En se référant à la figure I.5, c'est tout un groupe de l'étape de "Réalisation des différents modules du vêtement" qui a été intégré.

Le transfert de poste à poste a été résolu en maintenant rigidement les pièces de tissu sous une série de courroies. Celles-ci, animées d'un mouvement rotatif, font glisser les pièces d'un poste à l'autre. L'orientation des pièces reste constante au cours du transfert. Cette solution technique présente l'avantage d'être valable quelle que soit la taille ou la forme des pièces de tissu (cf. figure II.1).

Vue de coté



Vue de dessus

Figure II.1 : Principe des courroies pour rigidifier le tissu

Il y a un poste d'assemblage qui dispose correctement les pièces de tissu avant de les placer dans le système de transfert. Ce poste comprend un robot équipé d'un préhenseur spécial et guidé dans ses actions par un système de vision. Le préhenseur permet d'aligner correctement deux pièces en vue d'une superposition.

De nouvelles unités de couture ont dû être conçues pour permettre qu'un jeu de courroies puissent entourer la tête de couture. Ainsi le tissu est maintenu rigide tout près de l'aiguille.

Un prototype mettant en œuvre un poste de positionnement, un poste de transfert et un poste de couture ont permis de juger des performances d'un tel système (cf. figure II.2). Bien que les résultats soient encourageants, il reste un long chemin à parcourir avant d'être intégré dans un processus industriel complet.

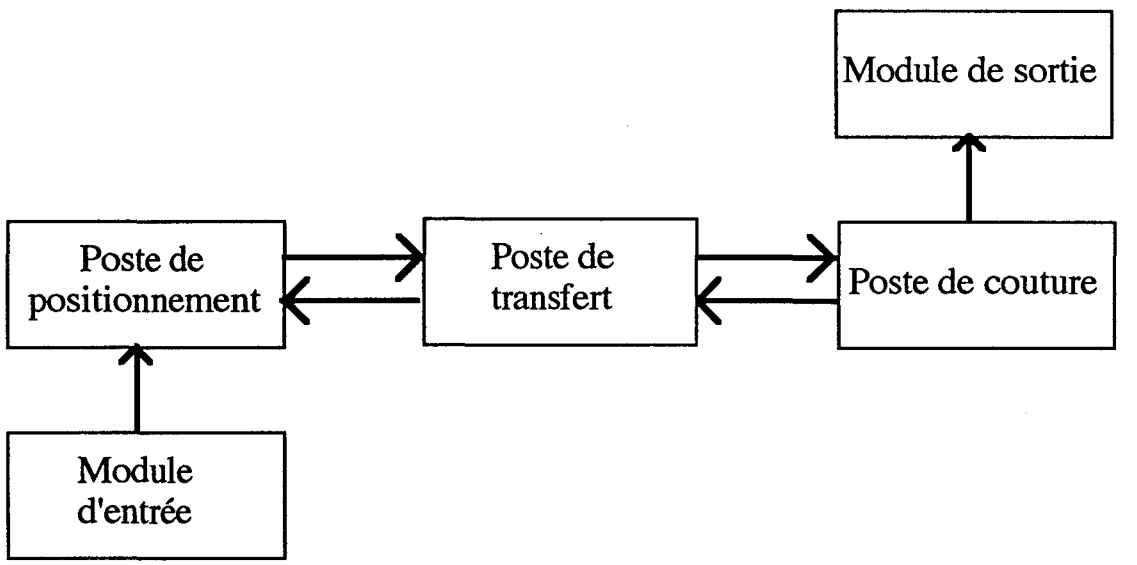


Figure II.2 : Schéma bloc de la cellule flexible prototype du projet T.C.[2]

II.3. PROJET D'AUTOMATISATION AVEC APPROCHE PAR TÂCHE

Un projet d'automatisation suit une approche par tâche si il n'étudie qu'un seule type de poste de travail. Ce type de projet correspond à une extension logique des travaux qui visent à améliorer uniquement les unités de couture. Un projet d'automatisation avec approche par tâche prend en compte un poste de travail dans sa globalité (**Homme - Machine - Matière**) et uniquement celui-ci.

Le résultat final est moins ambitieux que celui d'une approche intégrée. Cela trouve néanmoins une grande audience auprès des industriels. Ce sont des systèmes qui peuvent

s'intégrer à des projets de modernisation progressive sans remettre en cause les investissements antérieurs.

Sur le plan technique, l'approche par tâche présente certains inconvénients:

- le poste de travail est un maillon d'une chaîne. L'amont et l'aval de celui-ci sont des contraintes spécifiques à prendre en compte. Comme il est tout à fait probable que le poste de travail étudié puisse être entouré de postes encore manuels, l'interface Homme-Cellule automatique revêt un aspect important.

- l'approche par tâche peut amener le développement de systèmes spécifiques ou dédiés. C'est un travers à éviter. L'étude doit être suffisamment générale pour aboutir à une solution flexible.

L'atout majeur de l'approche par tâche est une plus grande facilité d'intégration dans un processus de fabrication géré selon les nouvelles méthodes d'organisation du travail du type TSS (cf. chapitre I, §3).

Il existe plusieurs études qui suivent le principe de l'approche par tâche et, dont certaines sont déjà à l'état d'industrialisation (système pour surjeter les poignets de chemise). A un niveau plus expérimental, nous citerons le projet Japonais pour la couture automatique des manches de veston sur le tronc. Cela représente un premier pas vers les coutures 3D (cf. chapitre I, §2.2.3).

Les travaux exposés dans cette thèse ont été menés lors d'un projet d'automatisation pour l'industrie textile suivant une approche par tâche. Le paragraphe suivant présente ce projet.

II.4. PROJET DE CELLULE FLEXIBLE D'ASSEMBLAGE POUR COL DE CHEMISE

II.4.1 Introduction

Il s'agit du projet B.R.I.T.E. (Basic Reasearch in Industrial Technology for Europe) "Loading and Guiding System" (1987-1990). Les projets B.R.I.T.E. sont financés en partie par la communauté Européenne et visent à améliorer la compétitivité des entreprises de chaque pays membre.

L'objectif du projet "Loading and Guiding System" se scinde en deux parties distinctes:

- La première est en rapport avec le mot "guiding" du titre. Il s'agit de développer un système de guide actif pour machine à coudre traditionnelle plus flexible que les systèmes à gabarit existant sur le marché des machines à coudre. Le système doit

fonctionner aussi bien sur couture rectiligne que courbe même si la courbure est importante.

- La seconde partie concerne le développement d'un système flexible d'assemblage et de chargement de machine à coudre disposant d'un guide actif. Le dispositif doit permettre le fonctionnement autonome d'une machine à coudre. Un prototype sera réalisé pour une machine à coudre à commande numérique réalisant le coulissage des cols de chemise.

Le projet a réunis quatre partenaires de deux pays européens différents:

* Italie:

  - Necchi : société fabricant du matériel de confection et des compresseurs. Elle a son siège à Pavie.

  - Prima Industrie : une jeune société spécialisée dans la commande numérique pour unité de fabrication automatique (machine à coudre, robot). Elle a son siège à Turin.

* France

  - Bertin : plusieurs centres de R&D multi-domaines dispersés en France.

  - C.R.E.A.T.I. : (Centre de Recherche et d'Étude pour l'Automatisation de processus et des Techniques Industrielles) organisme représentant officiellement le laboratoire d'automatique de l'université de Lille I.

La participation de C.R.E.A.T.I. dans ce projet fut l'occasion de travaux de recherche générale qui vous sont présentés dans le cadre de cette thèse. Ces travaux concernent uniquement la deuxième partie du projet relatifve au développement d'un système flexible d'assemblage et de chargement de machine à coudre disposant d'un guide actif.

Dans les deux paragraphes qui suivent, nous exposons la description fonctionnelle et la conception détaillée du prototype réalisé.

II.4.2 Description fonctionnelle

Pour la description fonctionnelle de notre cellule flexible d'assemblage de col de chemise, nous utilisons la méthode S.A.D.T. [JAUL 89] (Structured Analysis and Design Technique). Le lecteur trouvera en annexe (cf. annexe 1) une présentation synthétique de cette méthode.

Afin qu'un poste de travail puisse avoir un fonctionnement autonome, il faut ajouter à l'unité de couture un système d'assemblage et de chargement automatique pour remplacer

l'opératrice. A l'image de l' **"Homme"** dans la trilogie **Homme - Machine - Matière** du poste de travail, nous tenons à ce que ce système soit interchangeable devant le maximum de machines à coudre. Ce dispositif est décrit à la figure II.3.

II.4.3 Niveau A-0

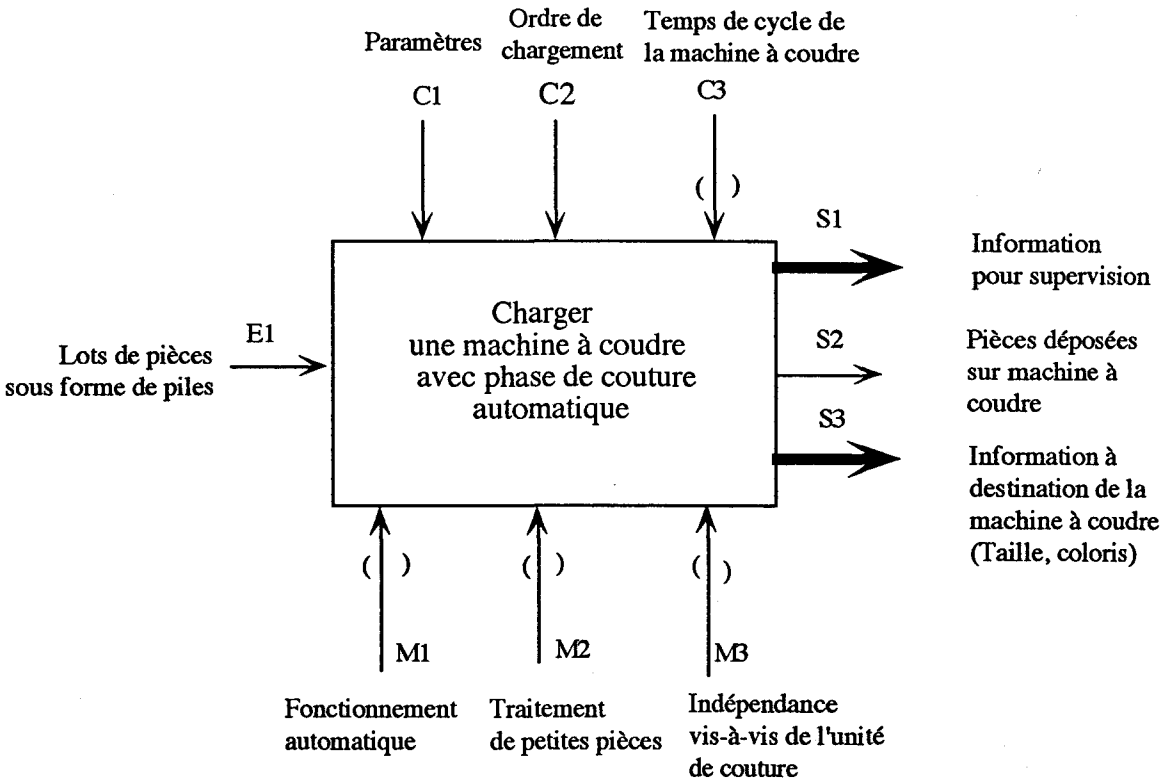


Figure II.3 : Niveau A-0

Dans le niveau A-0, nous distinguons:

L'entrées du système:

- E1 : Le système doit être alimenté en pièces et fournitures (pile de pièces de tissu, fil, aiguille);

Un ensemble de données de contrôle:

- C1 : La flexibilité du système se traduit au travers de paramètres à positionner:
  - * critères pour le contrôle de qualité;
  - * règles régissant le calcul des tailles;
  - * règles d'assemblage
- C2 : Une synchronisation doit être installée entre le système de chargement et l'unité de couture;

- C3 : Ce chargeur aura un avenir si sa vitesse de fonctionnement ne ralentit pas le temps de cycle de la machine à coudre qu'il doit alimenter.

Un ensemble de mécanisme de fonctionnement:

- M1 : Le fonctionnement doit être automatisé au maximum en vue de nécessiter le moins possible d'interventions humaines;
- M2 : Dans un premier temps, le prototype sera destiné au traitement de petites pièces;
- M3 : Ce système de chargement doit être totalement indépendant de l'unité de couture. Cette interchangeabilité augmentera le temps moyen d'utilisation d'un tel dispositif et par voie de conséquence son retour sur investissement.

Et un ensemble de sorties:

En sortie le système de chargement présente plusieurs informations que nous divisons en trois classes:

- S1: Tout d'abord les informations pour supervision. C'est l'interface homme/machine. Il pourra y figurer un compte rendu sur le travail du système. C'est par là que les incidents sont **signalés** en clair à l'extérieur de la cellule.
- S2 : Ensuite, l'information binaire de synchronisation signalant la fin du cycle de chargement. C'est un moyen simple de liaison avec l'unité de couture ne nécessitant pas de sa part une importante capacité de communication. Cela permet de placer le système devant d' anciennes unités de couture.
- S3 : Il faut aussi que le système soit capable de **transmettre**, si besoin est, des informations supplémentaires à l'unité de couture du style: taille, coloris. Les derniers salons de matériels de confection ont fait ressortir une progression de l'utilisation de l'lectronique et de la micro-informatique au niveau des machines à coudre.

II.4.4 Niveau A0

Dans le diagramme de la figure II.4, nous avons quatre étapes:

- Préparer un jeu de pièces;
- Inspecter des pièces;
- Assembler des pièces;
- Déposer la partie assemblée sur l'unité de couture.

Cette enchaînement est emprunté à la méthode habituelle de travail des opérateurs devant leur unité de couture automatique.

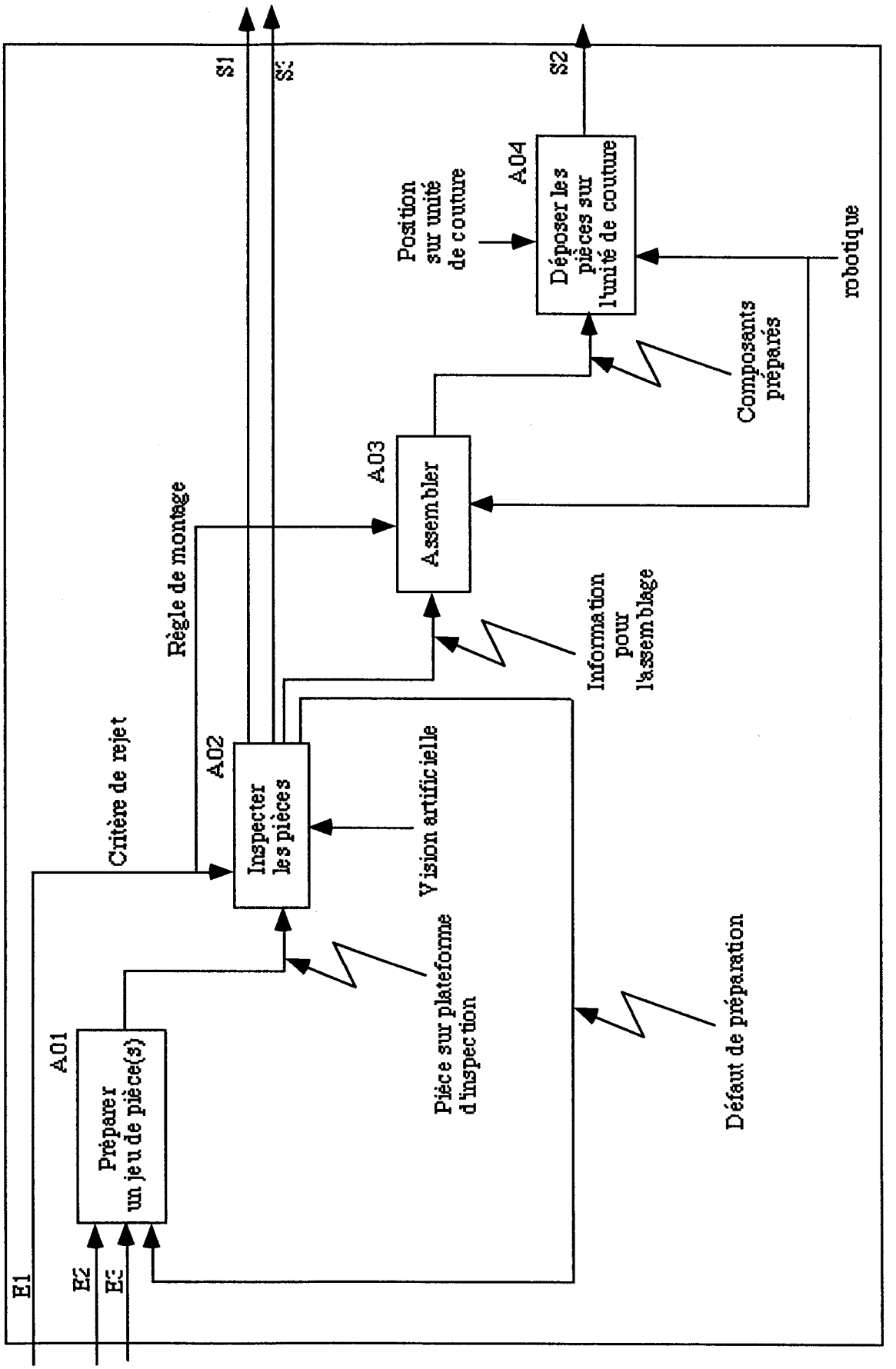


Figure II.4 : Niveau A0

Nous tenons à insister sur deux choix importants concernant les mécanismes ou conditions de fonctionnalité de la cellule:

- Tout d'abord, il y a le recours à la robotique. Dans le domaine de la confection, l'utilisation du robot est encore exceptionnelle. Pourtant la robotique est un gage de flexibilité du système pour les évolutions ultérieures.
- Ensuite, l'utilisation de la vision artificielle, pour l'**inspection** et le **guidage** de l'assemblage, est, pour l'époque du projet, un fait tout à fait novateur. C'est la meilleure solution pour affranchir ce système de chargement des variations aux niveau de la forme, de la taille et de la position exacte des pièces.

Ce n'est qu'en misant ainsi sur les technologies nouvelles qu'il sera possible d'atteindre les objectifs fixés..

II.4.5 Conception détaillée

C'est sur le poste de coulissage des cols de chemise que va être testé notre prototype de chargement automatique. Le coulissage est un terme technique du métier qui signifie la couture à l'envers. Elle intervient aussi dans la confection des poignets.

Le col est une partie de la chemise dont la forme mais aussi la confection varie d'un modèle à l'autre [CONFE 86]. Dans une très grande majorité des cas, la confection d'un col nécessite l'assemblage de plusieurs pièces. Celles-ci sont superposées avant de coulisser le col. C'est le type d'assemblage qui peut être totalement pris en charge par notre chargeur automatique.

Depuis quelques années, nous trouvons sur le marché des machines à coudre et des unités automatiques pour le coulissage des cols de chemises. Leur phase de couture est entièrement automatique. Notre prototype de chargeur automatique a été placé devant un modèle NECCHI (UAN2582) bien répandu dans les entreprises. Au cours du cycle de fonctionnement nécessaire au coulissage d'un col (10 secondes environ), l'unité de couture effectue trois opérations:

- le coulissage du col;
- la découpe des points du col;
- l'évacuation du col coulissé avec préparation pour le cycle suivant.

La figure II.5 montre la cellule de travail. Dans la partie supérieure se détache la machine à coudre avec son unité de commande. Devant celle-ci est représenté le système automatique d'assemblage et de chargement qui comporte les trois éléments suivants:

- Le chargeur;
- Le manipulateur et sa commande électronique;
- Et le système de traitement d'image.

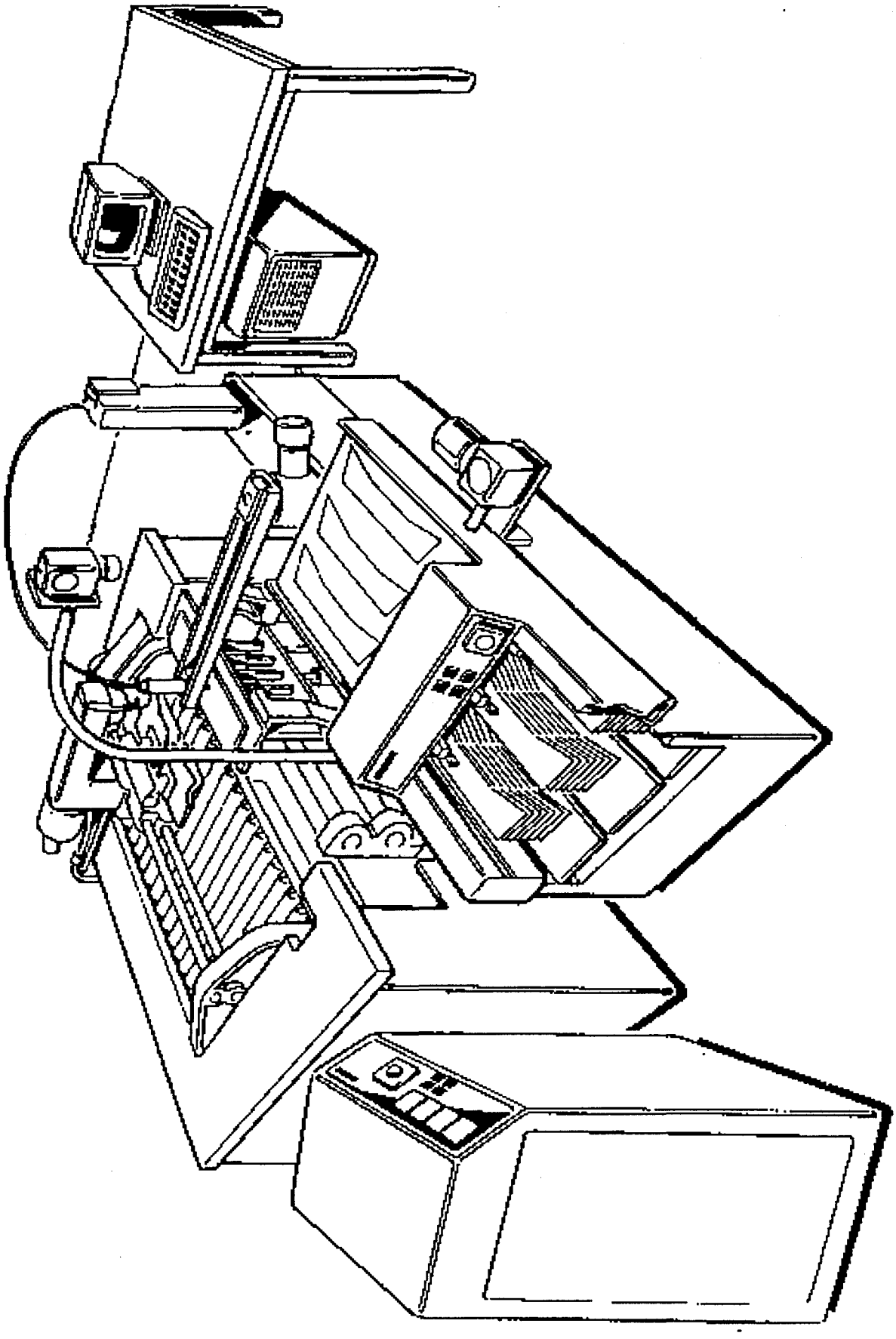


Figure II.5: Cellule de travail pour le coulissage de cols de chemise

Le **chargeur** est composé de deux parties. D'un coté, il y a le "magasin" qui renferme les piles de pièces intervenant dans la confection du col. De l'autre coté, nous avons la plate-forme d'assemblage. Le chargeur y dépose sur demande un échantillon de chaque pièce nécessaire à la confection du col. Le fonctionnement du chargeur est piloté par un automate programmable. Pour saisir sur chaque pile du magasin une seule pièce de tissu, le chargeur met en œuvre des préhenseurs spécifiques (les "clupickers" de chez JETSEW) dont nous avons une représentation schématique à la figure II.6.

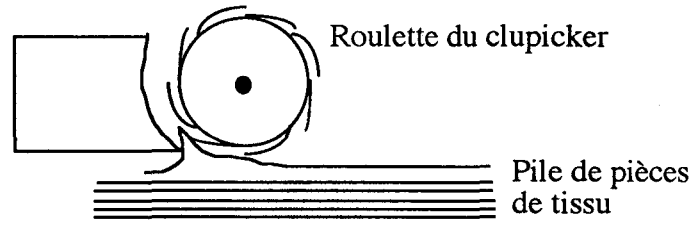


Figure II.6 : Principe de fonctionnement d'un "clupicker"

Les "clupickers" saisissent une pièce de tissu en la pinçant légèrement grâce à une roulette. Les "clupickers" ont de bonnes performances vis-à-vis d'autres techniques utilisant des aiguilles.

Le **manipulateur** est un robot 4 axes (Figure II.7). Il est équipé d'un préhenseur spécifique qui permet la prise multiple de petites pièces de tissu.

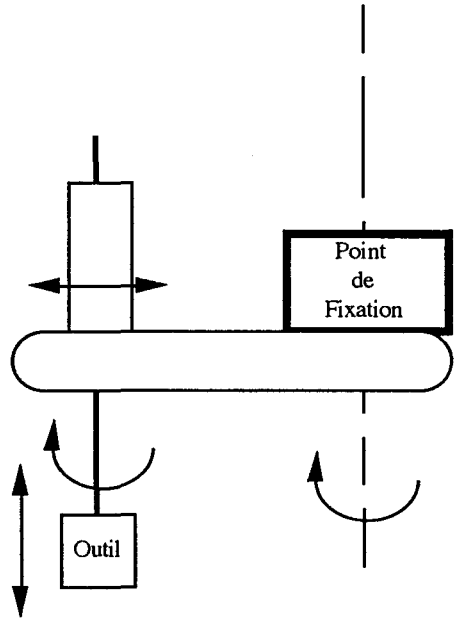


Figure II.7 : Structure du robot

Le principe du préhenseur repose sur l'utilisation d'une matrice d'aiguilles. Ce préhenseur est composé de deux plateaux (A et B Figure II.8).

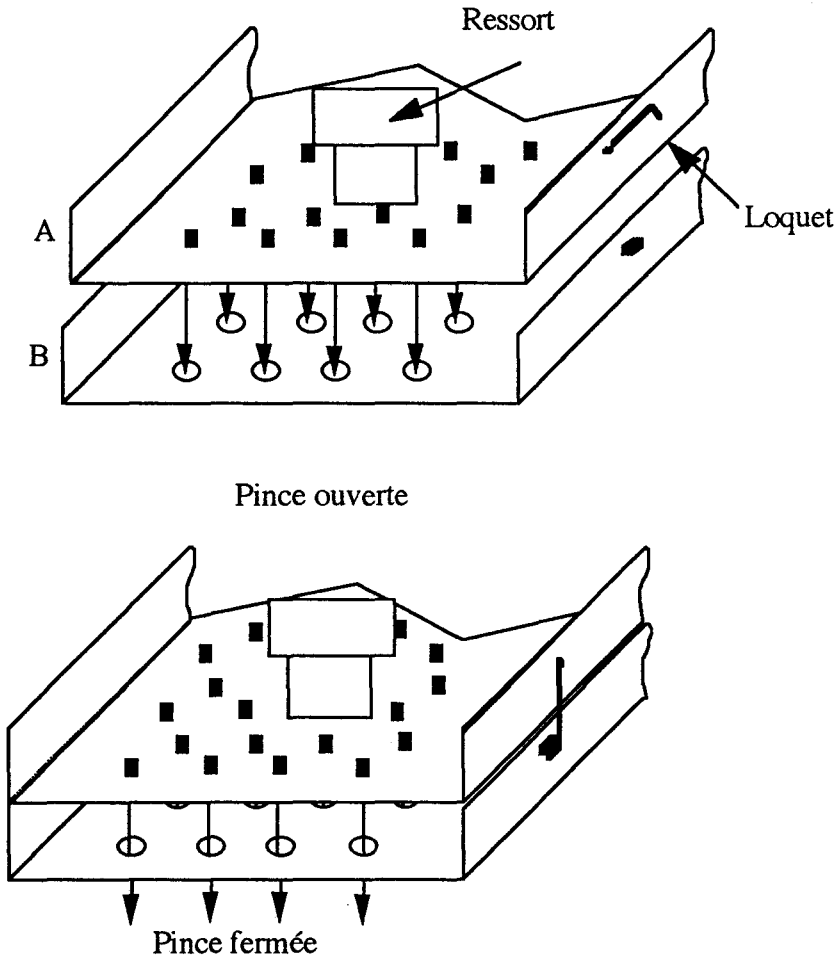


Figure II.8 : Principe du préhenseur

Le plateau A immobile supporte la matrice d'aiguilles. Le plateau B mobile est perforé pour laisser passer pendant son mouvement ascendant les aiguilles du plateau A qui viennent saisir (ou empaler) les pièces de tissu. Pour permettre le transport des pièces de tissu, le plateau B reste bloqué en position haute (pince fermée). Pour déposer les pièces de tissu sur la surface de réception, le plateau B reçoit un mouvement descendant qui libère les pièces du matelas d'aiguilles. L'amplitude de mouvement laissé au plateau B est réglé en fonction du nombre de pièces à prendre.

Le nombre de pièces préhensibles est fonction des facteurs suivants:

- la longueur des aiguilles;
- l'épaisseur et le poids au centimètre carré du tissu.

L'architecture matérielle du système de traitement d'image est constituée d'un micro calculateur compatible I.B.M. équipé d'un co-processeur arithmétique et d'une carte d'acquisition d'image du type MVP-AT. Ce choix de configuration résulte d'un compromis performance/prix. Sur le plan pratique, les deux techniques linéaire et matricielle d'acquisition d'image peuvent être envisagées. En effet, le mouvement en translation de la plate forme d'assemblage permet une

acquisition linéaire des images. C'est la solution matricielle qui a été retenue compte tenu des contraintes d'éclairage et d'asservissement de mouvement que nécessite l'acquisition linéaire. Ce choix se justifie d'autant plus que l'acquisition matricielle permet une précision du millimètre requise en confection.

Le fonctionnement de notre cellule automatique ressemble beaucoup au travail d'un opérateur devant l'unité automatique de couture. Il y a trois étapes:

- L'opérateur saisit les pièces nécessaires à la réalisation du col;
- Il effectue rapidement l'assemblage du col à l'aide d'un gabarit;
- Il dépose le col assemblé sur le chargeur de l'unité à coudre. Si cette dernière est occupée à coudre le col précédent, l'opérateur attend la fin du cycle de couture pour le relancer.

Le fonctionnement détaillé de notre cellule va être présenté au travers des cinq figures de II.9 à II.113. Nous y utilisons le symbolisme des Réseaux de Pétri (R.d.P.) [BRAM 83][PERT 81][REIS 82]. Dans sa description, tout système peut être scindé en une partie commande et une partie opérative.

- La partie opérative se compose d'un ensemble de variables et d'un ensemble de fonctions. Les variables représentent l'état du système qui peut être modifié par l'activation des fonctions.
- La partie commande est le séquencement de l'activation des fonctions pour faire passer le système par différents états. Il dispose pour cela d'un compte rendu de l'état du système au travers des variables de la partie opérative.

Les étapes représentent les fonctions. L'arrivé d'un jeton dans une étape implique l'activation de la fonction associée. Le jeton n'est disponible qu'une fois la fonction exécutée et un changement d'état obtenu. Pour le tir ou franchissement d'une transition, deux conditions sont nécessaires:

- les étapes d'entrées de la transition doivent contenir le nombre de jetons requis;
- la condition associée à la transition doit être vraie.

Compte tenu de la dimension des RdP, nous avons emprunté la notion macroétapes du Grafcet pour la représentation.

La première partie du RdP sur la figure II.9 est relative à l'initialisation de notre cellule automatique. C'est durant cette phase que la cellule de travail est configurée en fonction de l'unité de production dans laquelle elle est insérée.

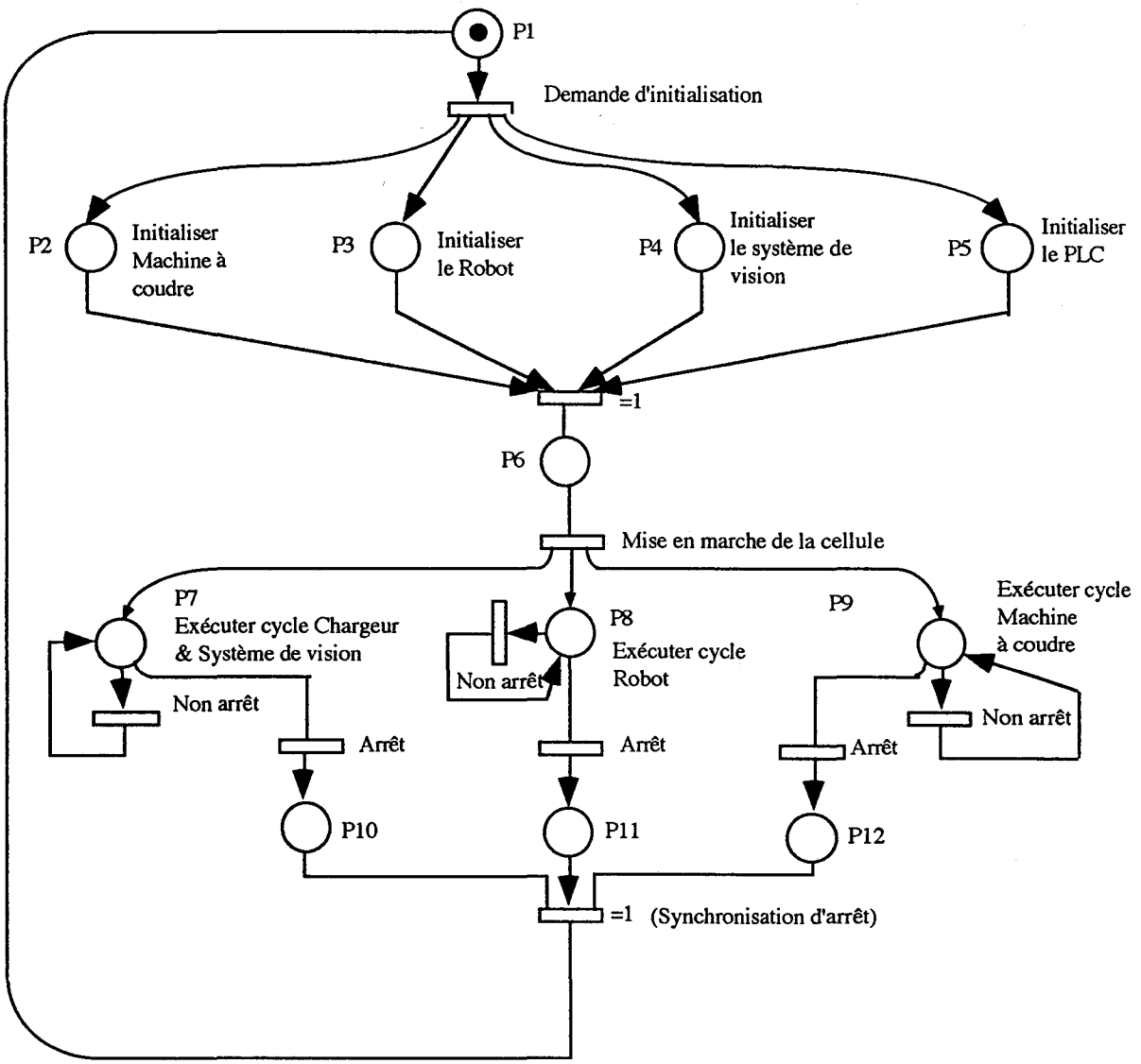


Figure II.9 : Fonctionnement global

Au cours de la phase d'initialisation, une procédure interactive permet de régler les questions relatives :

- Aux repérages des différents éléments de la cellule dans un repère absolu:
  La cellule est composée de différents éléments mécaniques travaillant ensemble. Il est nécessaire à l'installation de la cellule de repérer dans l'espace ces éléments les uns par rapport aux autres.
- Au montage sur la machine à coudre du gabarit adéquat à la forme du col:
  L'unité de couture (UAN2582 de chez Necchi) utilise un gabarit différent pour chaque forme de col.
- À l'indication au système de vision du modèle de col à confectionner:

Afin d'accélérer le temps de traitement de l'analyse de la plate-forme d'assemblage par le système de vision, qui sera développé au chapitre IV, quelques indications à priori sont données sur les formes à reconnaître.

- Au réglage du contrôle de qualité par le système de vision: Il faut ajuster les critères de qualité vis-à-vis de l'unité de production où est installée la cellule de travail.

Une fois l'initialisation de chaque élément de la cellule terminée, il est possible de lancer la production. Le cycle global de fonctionnement intégre les trois cycles indépendants suivants:

- Le cycle de l'ensemble Chargeur et Système de vision;
- Le cycle du robot;
- Le cycle de la machine à coudre.

Comme pour le poste manuel, l'opération d'assemblage est effectué par le robot en temps masqué pendant la phase de couture de la machine à coudre.

Une synchronisation des différents cycles est nécessaire lors de l'arrêt de la production.

Les figures II.10, II.11 et II.12 développent le fonctionnement des trois cycles indépendants.

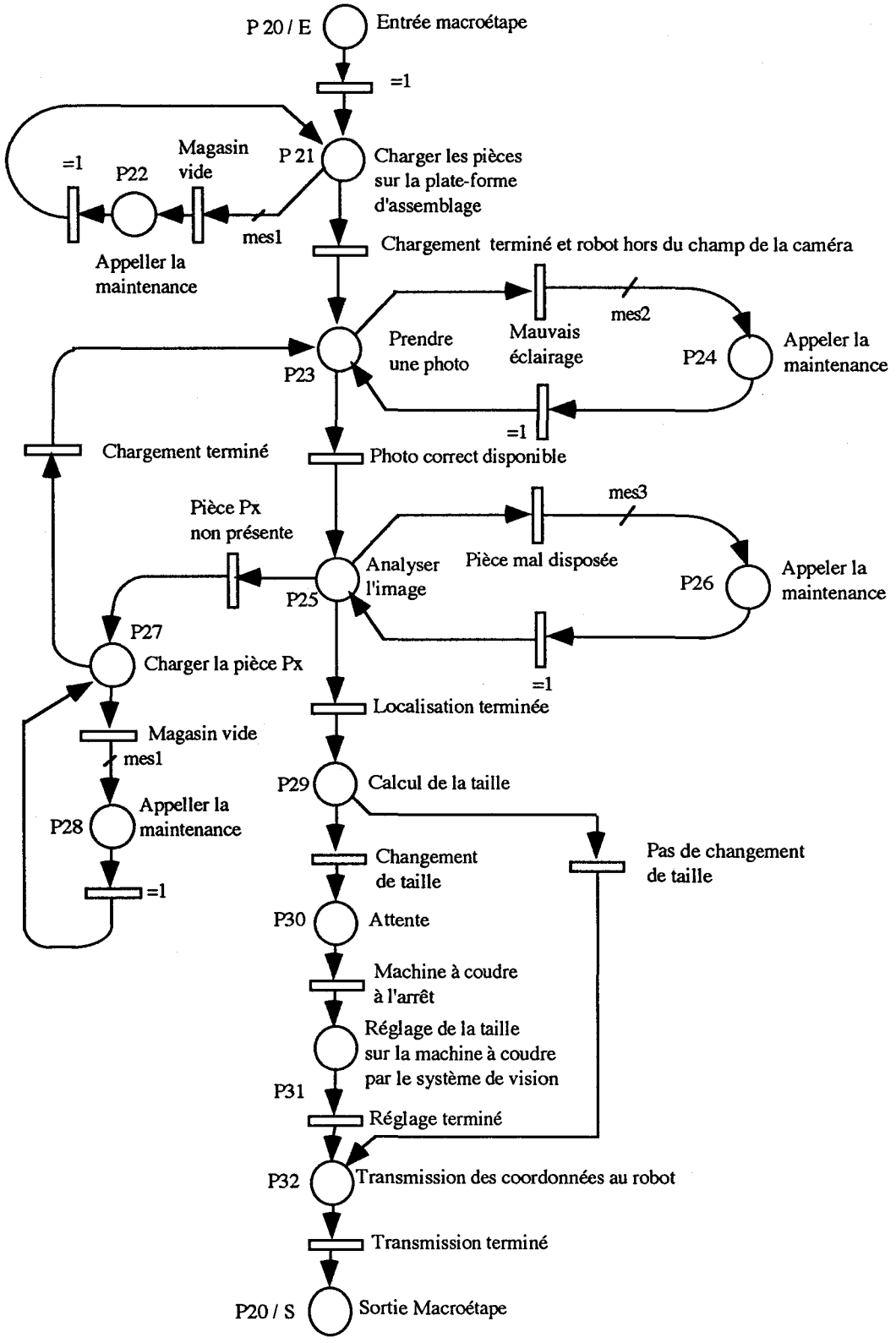


Figure II.10: Cycle de l'ensemble Chargeur et Système de vision (Expansion de la macroétape p7)

Commentaires du R.d.P de la figure II.10:

- La première étape consiste au chargement des pièces du col sur la plate-forme d'assemblage. Si le magasin d'entrée du chargeur est vide, un appel à la maintenance est envoyé.

- Une fois le chargement des pièces effecctué, le système de vision peut prendre une photo si le robot a été mis en position d'attente hors du champ de la caméra.

- De mauvaises conditions de prise de vue peuvent nécessiter l'intervention de la maintenance.

- L'analyse de l'image peut nous amener dans trois états différents du système:

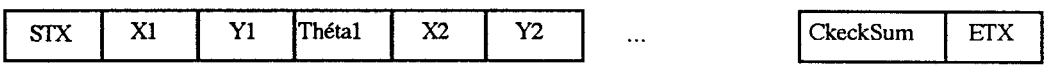
  - Il manque une pièce que nous allons charger séparément;
  - Il y a une erreur de chargement nécessitant l'intervention de la maintenance;
  - Les pièces nécessaires à l'assemblage d'un col ont été reconnues sur la plate-forme et localiser (position et orientation);

- La taille du col dont les pièces sont présentes sur la plate-forme peut ne pas être celle réglée sur la machine à coudre. Si cette hypothèse se vérifie il faut attendre la fin de la phase de couture en cours pour regler la nouvelle taille.

- La transmission, par ligne série, des positions des pièces à la commande du robot en vue de l'assemblage est faite à la demande de celui-ci. C'est un protocole du type client/serveur qui a été mis en œuvre. Une fois la demande faite par le robot (ENQ), le système de vision envoie les coordonnées des pièces sous la forme d'une chaîne de caractères.

  Composition de la chaîne de caractères:

  - Longueur de la chaine:39 (pour trois pièces);
  - format :



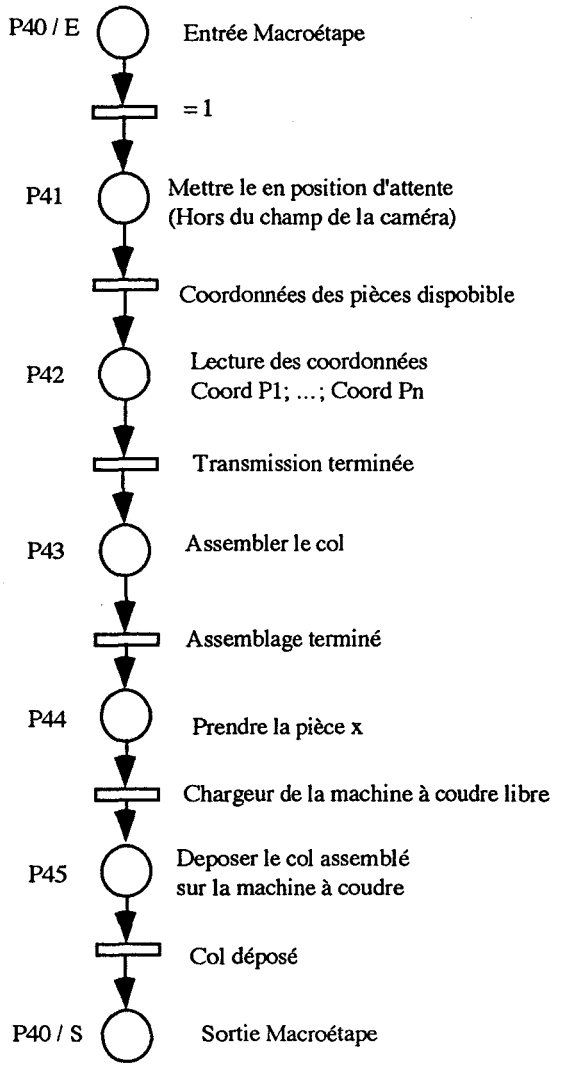


Figure II.11: Cycle du robot
(Expansion de la macroétape p8)

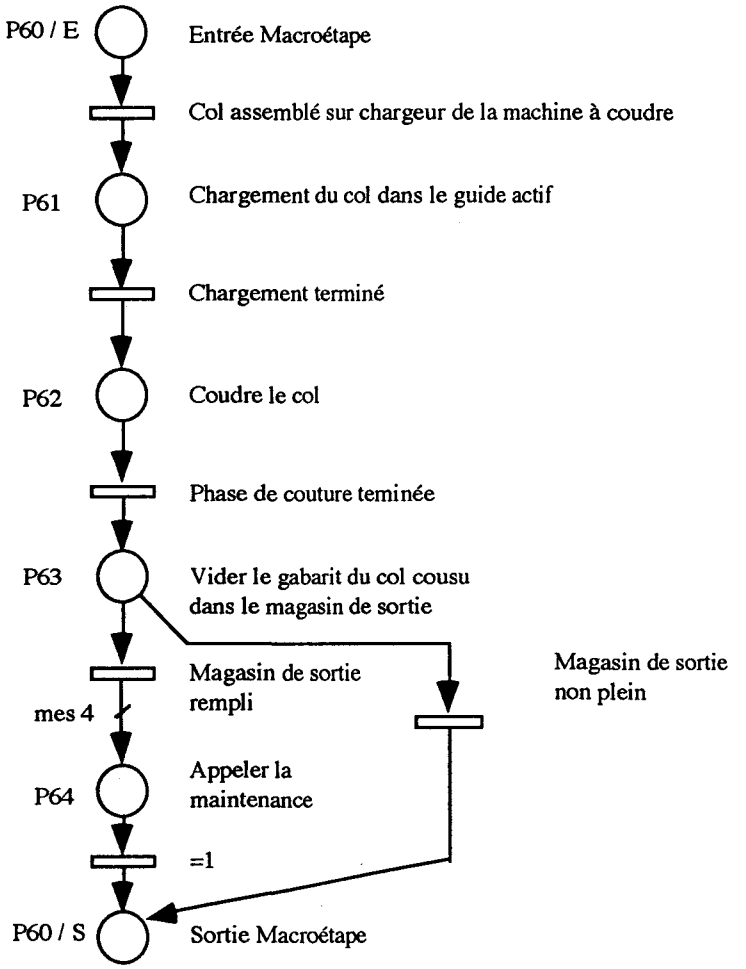


Figure II.12: Cycle de la machine à coudre (Expansion de la macroétape p9)

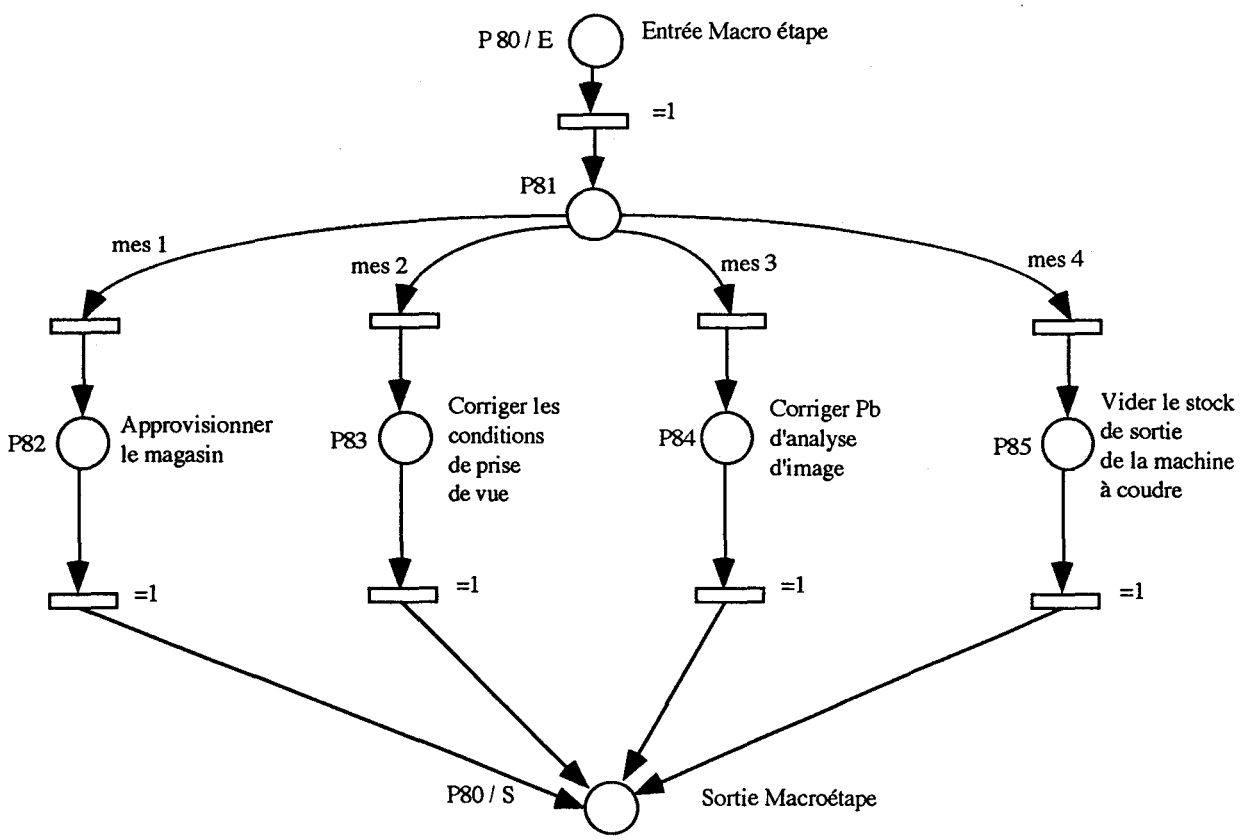


Figure II.14: Description des interventions de la maintenance (Expansion des macroétapes 22,24,26,28,64)

Nous remarquons à la figure II.14 qu'il n'est fait appel à la maintenance que lorsque un besoin d'analyse se fait ressentir et auquel l'intelligence locale n'est pas encore en mesure de répondre. Une exception concernent l'approvisionnement du magasin qui pourrait être prise en charge par une plate-forme mobile autonome.

II.5. CONCLUSION

L'industrie de la confection est dans l'obligation d'automatiser son processus de fabrication. Nous voyons deux différentes façons de le faire:

- l'approche intégrée;
- l'approche par tâche.

Ces deux approches ont leurs adeptes mais nous pensons que le pas à franchir pour l'approche intégrée est trop grand surtout pour les PME et compte tenu de la situation économique actuelle.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons décrit notre cellule flexible d'assemblage automatique de cols de chemise. Le projet "Loading and Guding system" a conduit à la réalisation d'une cellule de travail autonome pour le poste de coulissage des cols de chemise.

Le prototype a été exposé en avant première au Salon International du Matériel de Confection I.M.B. à Cologne en 1988. L'intérêt suscité auprès des professionnels a montré la justesse des options prises dans ce projet d'automatisation de l'industrie de la confection.

Les chapitres suivants de cette thèse vont essayer de transmettre les idées innovatrices maîtresses qui ont été à la base de la réalisation du prototype de cellule autonome pour l'industrie de la confection.

BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE II

LIVRES:

1 [BRAM 83] : BRAMS G.W., "Réseaux de petri : théorie et pratique", Masson, tome 1 et tome 2, 1983.

2 [JAUL 89]: JAULENT P, "SADT: Un langage pour communiquer", Édition Eyrolles 1989.

3 [PERT 81] : PETERSON J.L., "Petri net theory and the modeling of system", Prentice-Hall, 1981.

4 [REIS 82] : REISIG W., "Petri net: an introduction EATCS monographs on theoritical computer scineces", Spring verlog, Berlin, 1982.

Articles:

5 [FRED 86] : Frederick H. Abernathy, and Don Pippins, $(TC)^2$ Apparel, Textile and education at its best, Bobbin Magazine, September 1986, pp. 162,174.

6 [CONFE 86] : O.R., Cols: Pour quelques centiemmes de moins, Confection 2000, Décembre 1986, n° 74, pp 26,30.

III. MODÉLISATION DE L'ASSEMBLAGE DANS LE DOMAINE DE LA CONFECTION

III.1. INTRODUCTION

Les résultats obtenus dans le projet "Loading and guiding system" doivent ouvrir la route à d'autres réalisations. Il nous faut donc un outil pour décrire précisément la cellule d'assemblage et toutes les opérations qui y sont pratiquées. Ceci facilitera l'extension de cette cellule à d'autres postes que celui du coulissage de col de chemise.

La description doit présenter:

- d'un côté, les aspects génériques du projet,
- de l'autre, tous les détails techniques de sa réalisation.

Une méthode de modélisation facilite l'élaboration d'une telle description. Nous observons un intérêt croissant de la communauté scientifique pour les méthodes de modélisation de l'assemblage.

Les principaux avantages de disposer de telles méthodes sont les suivants:

- Une syntaxe univoque et une symbolisation uniforme [YOKOY 89] évitent les contresens du langage naturel et facilitent la communication au sujet de système complexe. Ce point est particulièrement important pour l'automatisation dans l'industrie. En effet, celle-ci implique la communication entre personnes de cultures différentes (ex: automaticiens, mécaniciens, confectionneurs). Chaque personne doit pouvoir saisir le point de vue de son interlocuteur.

- L'utilisation d'une méthode de modélisation guide la réflexion et minimise les oublis. Le résultat final est plus fiable.

- Une méthode de modélisation comporte souvent plusieurs étapes de réflexion. Un document est rédigé à la fin de chaque étape. Cette documentation, bien que fastidieuse à réaliser, assure l'établissement d'une base de connaissances. Celle-ci servira ultérieurement à de nouveaux développements.

- Une méthode, qui intègre l'aspect dynamique du phénomène décrit, permet la simulation de celui-ci. Les performances peuvent alors être étudiées hors-ligne ("off-line").

Il existe plusieurs méthodes de modélisation qui sont adaptées à la fabrication. Nous pouvons citer à titre d'exemples le GRAFCET [DAVI 89]; les Réseaux de Pétri (RdP) [CHAP 88] et le SADT.

Au chapitre précédent, nous avons utilisé les RdP et le SADT pour décrire le fonctionnement global de notre cellule. Chaque méthode a ses avantages. Le RdP est adapté aux problèmes de flux de pièces et de synchronisation. Le SADT offre une méthode structurée d'analyse de processus industriel. Ces méthodes ne sont malheureusement pas adaptées pour décrire précisément les spécificités techniques d'un poste d'assemblage. Elles ne fournissent aucune syntaxe pour décrire une opération de fabrication ou un mouvement de pièces dans l'espace.

Deux propriétés importantes caractérisent un poste d'assemblage:
- les caractéristiques des pièces manipulées,
- les caractéristiques des mouvements de pièces et d'instruments nécessaires lors de l'assemblage.

Nous avons donc recherché une méthode de modélisation qui représente clairement ces deux aspects.

J.P. Bourriere expose une méthode intéressante dans sa thèse: "Modélisation Intégrée des Systèmes de Robot d'Assemblage" [BOUR 90]. Se basant sur ses travaux , nous avons bâti les principes d'une méthode adaptée à la **M**odélisation d' **A**ssemblages de **PI**èces **F**lexibles (MAPIF).

Deux points particularisent cette méthode **MAPIF**:
- La manipulation de pièces flexibles,
- La prise en compte des opérations de positionnement réalisées par un système de perception.

Le présent chapitre se décompose en trois parties:
- Les principes de la méthode MAPIF,
- L'analyse du produit : "col de chemise coulissé",
- L'analyse des opérations pour le coulissage d'un col de chemise

III.2. PRINCIPES DE LA MÉTHODE MAPIF

Un peu à l'image de la méthode SADT, la méthode MAPIF présente une dualité Données/Actions:

Les Données

- La description des données définit d'une façon précise le produit à réaliser. Elle comporte deux volets: une description statique, et une description dynamique.

  La description statique rassemble les caractéristiques physiques et visuelles du produit.

  La description dynamique indique la chronologie des opérations de fabrication pour obtenir ces caractéristiques.

Les Actions

- La description des actions définit les traitements à mener pour obtenir le produit final. Grâce à une syntaxe analytique spécifique, il est possible d'exprimer les actions au travers des résultats obtenus.

  Cette description comporte deux niveaux d'analyse. Un premier niveau décrit le processus de fabrication sans faire d'hypothèse sur l'environnement matériel utilisé (machine, robot, technique de transbordement). Le deuxième niveau permet de représenter un poste de travail avec l'environnement matériel mis en oeuvre.

  L'existence d'un alphabet graphique associé à tous les types d'actions permet une représentation schématique d'un poste de travail.

Dans la suite de chapitre nous allons décrire par la méthode MAPIF l'opération de coulissage de col de chemise.

III.3. L'ANALYSE DU PRODUIT : "COL DE CHEMISE COULISSÉ"

III.3.1 Introduction

Par "produit", nous désignons quelque chose d'artificielle, de fabriqué. Un produit est entièrement défini en spécifiant à quoi il ressemble (description statique) et qu'elle est la stratégie de fabrication pour l'obtenir. (description dynamique).

Dans ce paragraphe nous allons analyser le produit "col de chemise coulissé" avec une approche pédagogique vis-à-vis de la méthode MAPIF. Pour chacune des descriptions (statique et dynamique), nous allons répertorier en détail ce qu'elle doit contenir et nous l'appliquerons ensuite au cas du col de chemise.

III.3.2 Description statique

Pour un produit mono-pièce, la description statique comporte les caractères physiques que doit présenter le produit. Cela regroupe des caractéristiques du style:

- taille,
- forme,
- surfilé,
- brodé,
- teint,
- etc....

Cette description statique doit être d'autant plus riche que la matière première est brute ou mal connue.

Un produit assemblé a ceci de particulier que plusieurs pièces interviennent lors de sa fabrication. Aux caractères physiques cités ci-dessus viennent s'ajouter tous les procédés de solidification qui maintiennent les pièces entre elles:

- cousus,
- thermo-collés,
- sertis,
- etc....

Pour un produit assemblé, la description statique comporte, en plus de l'énumération des caractères physiques, une description des configurations géométriques entre chaque pièce. Ces caractéristiques portent le nom de liaisons géométriques.

Pour définir sans ambiguïté une liaison géométrique entre deux pièces, un repère Ri est associé à chaque pièce. La liaison géométrique est réalisé dès que les repères de chaque pièce sont superposés(cf. figure III.1).

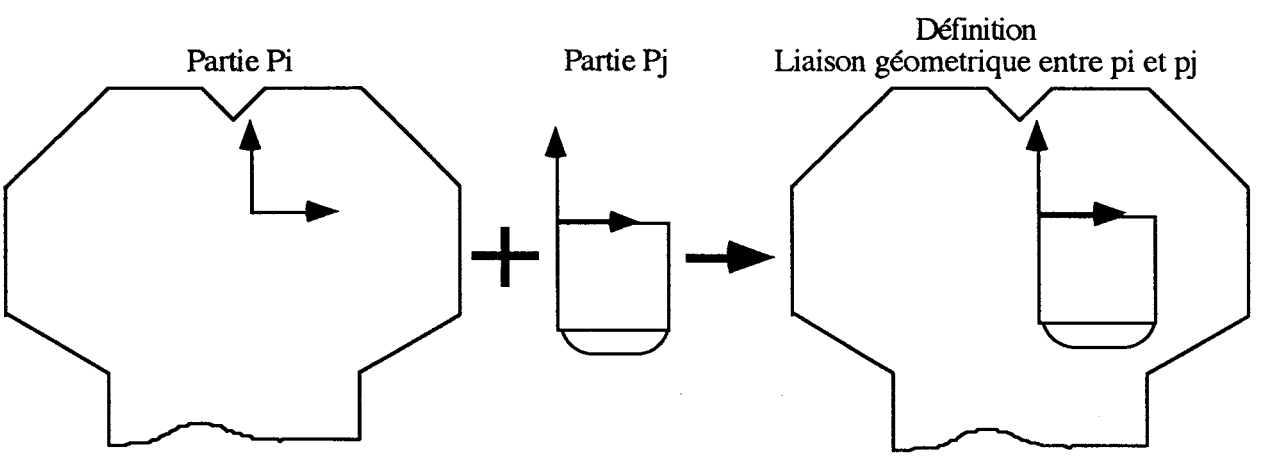


Figure III.1: Définition d'une liaison géométrique entre deux pièces

Pour les pièces solides, telles que des pièces mécaniques, un repère Ri suffit à définir une configuration géométrique unique dans l'espace à trois dimensions (3D). La distance entre deux points quelconques de la pièce reste constante. Les pièces faites en matière souple ne vérifient pas cette propriété. Dans la description statique, il est nécessaire de trouver des informations de "disposition géométrique". Il s'agit de la définition d'une configuration géométrique unique dans l'espace 3D.

Comment définir une configuration géométrique unique pour une pièce flexible? Une solution est de définir un ensemble de bipoints orientés sur la surface de la pièce. Une liste de bipoints avec leurs caractéristiques (longeur, orientation, sens) fige une configuration géométrique d'une pièce flexible.

La figure III.2 montre deux dispositions géométriques possibles pour la manche d'une chemise.

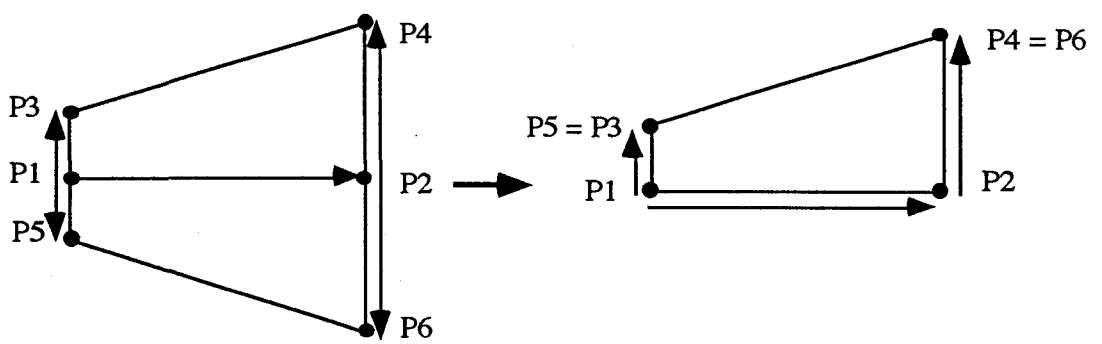


Figure III.2: Dispositions géométriques d'une manche de chemise

Dans le domaine de la confection, les points singuliers utilisés dans les liaisons ou les dispositions géométriques peuvent être:

- soit des points spécifiques sur la forme d'une pièce,
- soit des points en rapport avec le motif du tissu de la pièce.

La description statique d'un produit peut être mise sous la forme d'un tableau nommé "matrice fonctionnelle". Elle regroupe les fonctionnalités ou spécificités que doit présenter le produit.

Le nombre de colonnes correspond au nombre de pièces constitutives du produit. Il y a autant de lignes que d'informations citées lors de la description statique (caractères physiques, dispositions géométriques, liaisons géométriques).

III.3.3 Description statique du col de chemise coulissé

Le col de chemise est un produit assemblé qui comporte trois pièces (c_1, c_2, c_3) minimum. Il y a deux pièces en tissu (c_1, c_2) et une pièce en triplure (c_3).

Comme les pièces sont faites en matière souple, nous devons définir la disposition géométrique nécessaire pour l'assemblage. En prenant chaque sommet du trapèze comme point singulier, il est possible de définir une configuration géométrique unique grâce à la définition de quatre bipoints de sens, longueur et orientation fixées (cf. figure III.3).

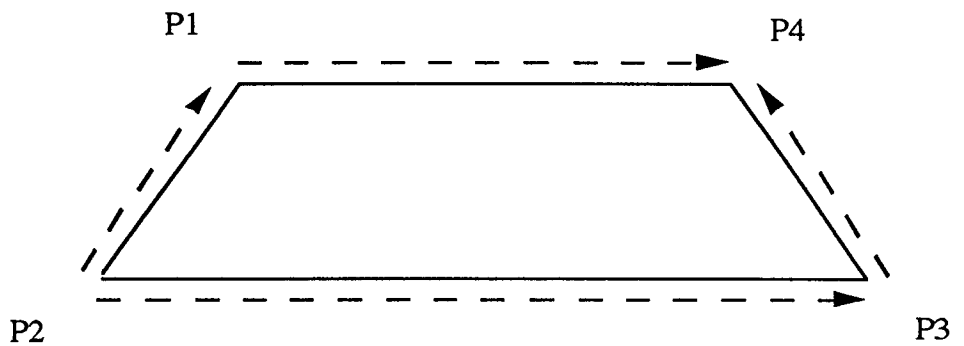


Figure III.3: Disposition géométrique d'une pièce de col avant l'assemblage

Pour coulisser le col de chemise, il faut vérifier les caractéristiques physiques suivantes:

- le produit de base (c_1) a la disposition géométrique de la figure III.3,
- le produit de base (c_2) a la disposition géométrique de la figure III.3,
- le produit de base (c_3) a la disposition géométrique de la figure III.3,
- le produit de base c_1 a une taille homologuée,
- le produit de base (c_2) a la même taille que (c_1),
- le produit de base (c_3) a la même taille que (c_1),

Le col coulissé est défini par deux liaisons géométriques. Les couples de pièces (c_1, c_2) et (c_2, c_3) doivent être superposés. Plusieurs types de superpositions sont possibles. Les figures III.4 et III.5 présentent deux liaisons géométriques possibles. La liaison de la figure III.4 assure une parfaite superposition en un point du contour (exigé par certaines machines à coudre) tandis que celle de la figure III.5 a l'avantage de répartir les défauts de coupe sur tout le contour du col.

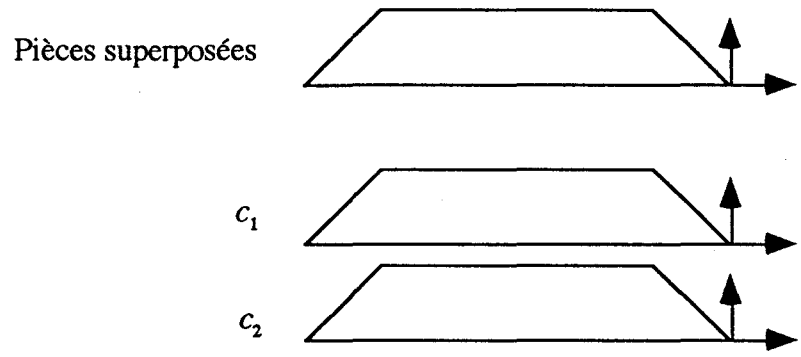


Figure III.4: Liaison géométrique entre les pièces (c_1) et (c_2).

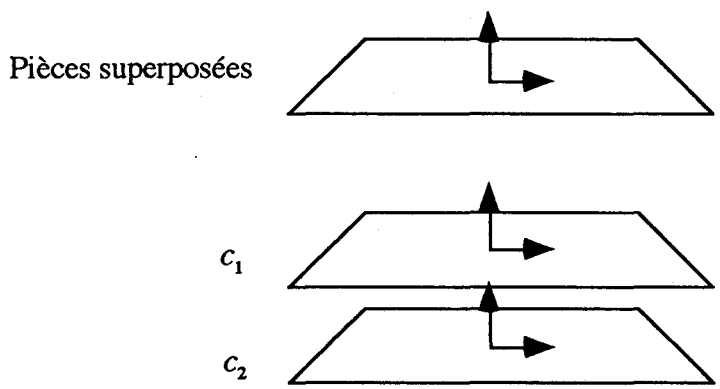


Figure III.5: Liaison géométrique entre les pièces (c_1) et (c_2).

La description du produit "col de chemise coulissé" est résumée par la matrice fonctionnelle de la figure III.6. Elle se lit en ligne. On distingue :

- ϕ_i : les caractères physiques,
- d_i : les dispositions géométriques, et
- l_i : les liaisons géométriques.

Composants / C.F.	c_1	c_2	c_3	Commentaires
ϕ_1	1			A une taille homologuée
ϕ_2		1		A la même taille que P1
ϕ_3			1	A la même taille que P1
d_1	1			A la bonne disposition géométrique
d_2		1		A la bonne disposition géométrique
d_3			1	A la bonne disposition géométrique
ϕ_4	1	1	1	Cousues
l_1	1	1		Superposées
l_2		1	1	Superposées

Figure III.6: Matrice fonctionnelle du col de chemise coulissé

III.3.4 Description dynamique

La description dynamique d'un produit expose la liste des opérations à mettre en oeuvre lors de la fabrication. Il s'agit d'obtenir ou de vérifier la présence de toutes les caractéristiques de la matrice fonctionnelle:

- les caractères physiques,
- les liaisons géométriques, et
- les dispositions géométriques.

L'objectif de la description dynamique est de définir la meilleure chronologie des opérations à mener pour obtenir le produit.

Pour certaines opérations, la chronologie est parfois évidente. Des caractères physiques peuvent ne plus être accessibles une fois certaines liaisons géométriques réalisées ou encore une disposition géométrique n'est plus réalisable après application d'un caractère de solidification. Cela induit des règles logiques de chronologie dans l'application de la matrice fonctionnelle.

Les cas de chronologie évidente mis à part, il reste souvent plusieurs séquences possibles pour les opérations nécessaires à la fabrication du produit. Certains auteurs

([SEKIG 83], [BOURJ 84], [DEFAZ 87], [HENRI 89]) ont élaboré une méthodologie d'identification systématique des alternatives de montage d'un produit complexe.

La méthode MAPIF n'entre pas dans le cadre de celles-ci mais offre un formalisme simple et clair pour modéliser un processus de fabrication défini. Elle permet de représenter l'évolution du produit au fur et à mesure de l'établissement ou de la vérification des caractéristiques de la matrice fonctionnelle. Nous donnons ci-dessous les principes de base de ce formalisme.

Formalisme de la méthode MAPIF:

Pour la description dynamique d'un produit, deux termes sont importants :
- constituant,
- fonction.

Nous avons les constituants de base à partir desquels débute la fabrication. La matrice fonctionnelle comporte autant de colonnes que de constituants de base. A chaque ligne de la matrice fonctionnelle correspond un nouveau constituant. Tout constituant comporte au moins un constituant de base.

Les constituants évoluent ligne après ligne d'une seule fonctionnalité à la fois (caractère physique, liaison géométrique ou disposition géométrique). Pour décrire la superposition de trois constituants de base, il faut deux lignes dans la matrice fonctionnelle.

Soit un produit fait de p constituants de base. Sa matrice fonctionnelle comporte p colonnes et n lignes. Compte tenu des règles d'évolution des constituants, nous avons la relation $n \geq p - 1$. Lors de la fabrication du produit, un total de $q = n + p$ constituants sont manipulés, les p constituants de base et les n constituants qui en découlent dont le constituant final.

Les n lignes de la matrice fonctionnelle se décomposent en:
- n_1 lignes relatives à un caractère physique (ϕ),
- n_2 lignes relatives à une disposition géométrique (d), et
- n_3 lignes relatives à une liaison géométrique (l).

Un mot binaire unique x_i peut être associé à chaque constituant manipulé lors de la fabrication du produit. Chaque bit a un indique la présence soit:
- d'un constituant de base c_i^{α},
- d'un caractère physique ϕ_i^{β},
- d'une disposition géométrique d_i^{δ},
- d'une liaison géométrique l_i^{μ}.

$$x_i = c_i^p \dots c_i^\alpha \dots c_i^1 \, \phi_i^{n_1} \dots \phi_i^\beta \dots \phi_i^1 \, d_i^{n_2} \dots d_i^\delta \dots d_i^1 \, l_i^{n_3} \dots l_i^\mu \dots l_i^1 \qquad \text{(III.1)}$$

ou $\left\{c_i^\alpha, \phi_i^\beta, d_i^\delta, l_i^\mu\right\} \in \{0,1\}$,et

i est l'indice du constituant et $i \in [1,n]$,

α est l'indice du constituant de base et $\alpha \in [1,p]$,

β est l'indice du caractère physique et $\beta \in [1,n_1]$,

δ est l'indice de la disposition géométrique et $\delta \in [1,n_2]$,

μ est l'indice de la liaison géométrique et $\mu \in [1,n_3]$.

La dimension du vecteur binaire x_i est $n + p$.

Une fonction est l'opération nécessaire pour obtenir un nouveau constituant. Il s'agit de réaliser ou de vérifier une nouvelle ligne de la matrice fonctionnelle. Une fonction peut prendre deux constituants au maximum en entrée et n'aura jamais qu'un seul constituant en sortie. Celui-ci se compose des constitutants de base présent dans les deux constituants en entrée. Ces constituants de base conservent les caractéristiques qu'ils possédaient au sein des constituants en entrée plus celles apportées par la fonction.

De la définition ci-dessus d'une fonction, nous déduisons le postulat suivant:

"Une fonction qui possède plus de deux constituants en entrée peut être décomposée en sous-fonctions élémentaires".

Une fonction est entièrement définie par ses entrées et sa sortie:

$$(x_1, x_2) \xrightarrow{f_1} x_3 \qquad \text{(III.2)}$$

Comme à un constituant, il est possible d'associer un mot binaire unique de taille $q = n$ à une fonction.

$$f_i = \Delta\phi_i^{n_3} \dots \Delta\phi_i^\beta \dots \Delta\phi_i^1 \, \Delta d_i^{n_2} \dots \Delta d_i^\delta \dots \Delta d_i^1 \, \Delta l_i^{n_1} \dots \Delta l_i^\mu \dots \Delta l_i^1 \qquad \text{(III.3)}$$

ou $\left\{\Delta\phi_i^{\beta}, \Delta d_i^{\delta}, \Delta l_i^{\mu}\right\} \in \{0,1\}$

Ex : $f_1 = \ldots\left(\phi_1^{\beta} \oplus \phi_2^{\beta}\right)\ldots\left(d_1^{\delta} \oplus d_2^{\delta}\right)\ldots\left(l_1^{\mu} \oplus l_2^{\mu}\right)$ ou $\oplus$ est un ou inclusif.

$\Delta\phi_i^{\beta} = 1 \Leftrightarrow$ le caractère physique β est apporté par la fonction f_i.

$\Delta d_i^{\delta} = 1 \Leftrightarrow$ la disposition géométrique δ est assurée par la fonction f_i.

$\Delta l_i^{\mu} = 1 \Leftrightarrow$ la liaison géométrique μ est assurée par la fonction f_i

La dimension du vecteur binaire f_i est n.

La description dynamique d'un produit est constituée par la liste des fonctions nécessaires à la fabrication de celui-ci:

$$\left\{f_1, f_2, \ldots, f_{n-1}, f_n\right\} \qquad \text{(III.4)}$$

L'écriture ci-dessus reflète mal la chronologie des opérations car il est difficile de voir si des fonctions peuvent s'exécuter simultanément.

Il existe une représentation graphique qui permet de mieux appréhender la notion du temps passé. Il s'agit d'une représentation arborescente (cf. figure III.7). En haut de l'arbre, nous avons les feuilles que sont les constituants de base. Chaque noeud symbolise une fonction pouvant avoir une ou deux branches en entrée mais une seule branche en sortie. Tout en bas de l'arbre, nous avons le tronc principal qui correspond au produit décrit. C'est le plus grand constituant possible possèdant tous les caractéristiques de la matrice fonctionnelle. Le temps s'écoule du haut en bas de l'arbre.

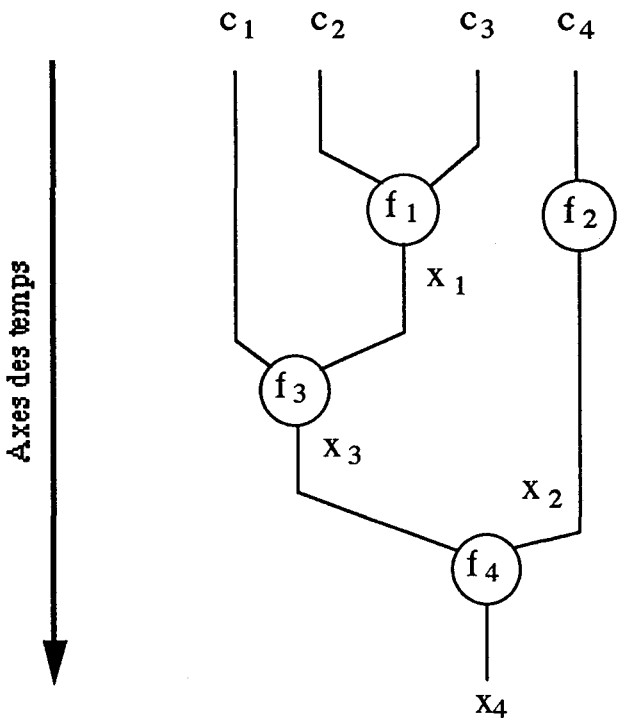


Figure III.7: Représentation arborescente d'une stratégie d'assemblage

Dans le domaine de la confection, le nombre de solutions d'assemblage d'un vêtement est rarement important. Une comparaison des représentations graphiques de chaque stratégie d'assemblage suffit lorsqu'un choix s'impose.

Sur la représentation graphique d'une stratégie d'assemblage, il est simple de constituer des regroupements de fonctions à exécuter simultanément en vue d'un gain de temps d'exécution. Il apparaît clairement sur la figure III.7 que les fonctions $\{f_1, f_2\}$ ou $\{f_3, f_2\}$ peuvent s'exécuter simultanément.

III.3.5 Description dynamique du col de chemise coulissé

En se basant sur la matrice fonctionnelle du col de chemise coulissé (cf. figure III.6), il est possible de donner une description dynamique de l'opération de coulissage.

Nous avons trois constituants de base $\{c_1, c_2, c_3\}$.

Intervient d'abord un groupe de fonctions à un seul argument qui traite les questions de disposition géométrique et de taille des constituants de base:

$$c_1 \xrightarrow{f_1} x_1 \xrightarrow{f_2} x_2$$

$$c_2 \xrightarrow{f_3} x_3 \xrightarrow{f_4} x_4$$

$$c_3 \xrightarrow{f_5} x_5 \xrightarrow{f_6} x_6$$

Viennent ensuite les fonctions purement d'assemblage:

$$(x_2, x_4) \xrightarrow{f_7} x_7$$

$$(x_6, x_7) \xrightarrow{f_8} x_8$$

Le coulissage se termine par un procédé de solidification destiné à pérenniser les liaisons géométriques:

$$x_8 \xrightarrow{f_9} x_9$$

L'ensemble des fonctions:

$\{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8, f_9\}$

représente l'opération de coulissage d'un col de chemise.

La figure III.8 expose une stratégie d'assemblage possible.

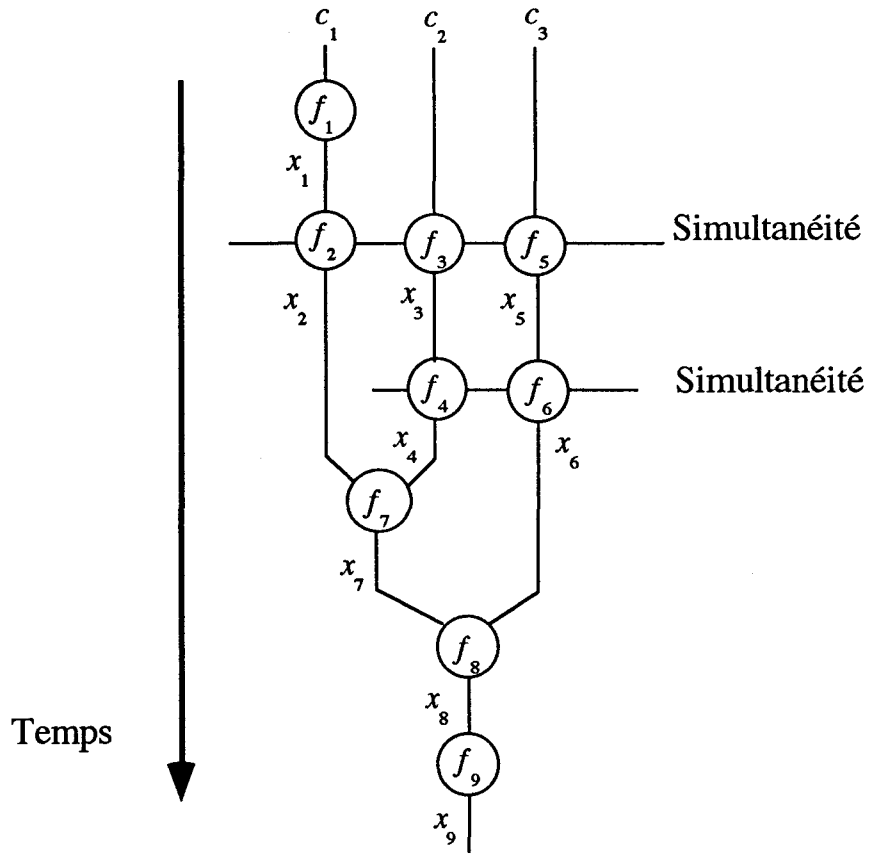


Figure III.8: Stratégie d'assemblage pour le coulissage du col de chemise

La figure III.8 montre des regroupements possibles de fonctions en vue d'une exécution simultanée et obtenir ainsi un gain de temps dans l'opération d'assemblage.

III.3.6 Conclusion

Nous terminons ici l'étape de la description du produit. Cette description permet de voir en détail l'évolution entre les constituants de base et le produit fini. Une syntaxe spécifique désigne de façon unique chaque constituant manipulé lors de la fabrication et chaque opération appliquée sur ces constituants. La notion de disposition géométrique permet de singulariser une configuration géométrique d'un constituant flexible. Une représentation graphique du séquencement des opérations de fabrication permet de voir facilement le niveau de parallèlisme d'exécution pour une stratégie d'assemblage.

Le retard d'automatisation des tâches d'assemblage dans l'industrie de la confection vient de la difficulté à établir et gérer des liaisons et dispositions géométriques.

Notre cellule flexible d'assemblage de col de chemise traite certains types de liaisons et dispositions géométriques. La deuxième étape de la méthode MAPIF, "Analyse du

processus de fabrication", va permettre de qualifier ces liaisons et dispositions géométriques que nous sommes en mesure de réaliser.

III.4. L'ANALYSE DU PROCESSUS DE FABRICATION : COULISSER UN COL DE CHEMISE

III.4.1 Introduction

Dans l'analyse du produit, nous étudions les questions de stratégie d'assemblage en occultant la complexité des actions mécaniques. Dans le terme "processus de fabrication", nous regroupons l'ensemble des actions réelles, subies par les constituants, qui nous amènent des constituants de base au produit final.

Dans un processus de fabrication, l'environnement matériel agit et les constituants subissent.

Deux environnements matériels différents peuvent réaliser des actions similaires. C'est pour cette raison que nous allons proposer une analyse du processus de fabrication comportant deux niveaux.

Un premier niveau, que nous nommons "Objet/Tâche", décrit le processus de fabrication sans aucune considération sur l'environnement matériel.

Le deuxième niveau, que nous nommons "Agrégat/Acte", décrit sur un plan technique le processus de fabrication d'un produit avec les caractéristiques de l'environnement matériel utilisé.

Avec l'analyse du processus de fabrication, nous entamons la partie "Description des actions" de la méthode MAPIF. Dans l'analyse du produit, nous avons manipulé la notion de fonction dans l'optique de trouver la meilleure stratégie d'assemblage. Nous allons maintenant nous intéresser plus précisément à l'exécution concrète d'une stratégie d'assemblage.

La cellule flexible d'assemblage de col de chemise est un maillon de l'environnement matériel d'une chaîne de fabrication de chemises. Au travers de la "Description des actions", nous allons pouvoir décrire les fonctionnalités supplémentaires que nous apportons à l'environnement de production.

Chaque niveau d'analyse possède son alphabet graphique qui permet une présentation schématique du processus de fabrication.

Pour l'analyse du processus de fabrication du "col de chemise coulissé", nous allons pratiquer une démarche pédagogique similaire à celle menée lors l'analyse du produit. Nous allons définir précisément les deux niveaux d'analyse en faisant suivre chaque description de l'analyse du col de chemise.

III.4.2 Niveau Objet/Tâche

Au niveau Objet/Tâche de l'analyse du processus de fabrication, nous allons développer plus avant l'écriture analytique introduite dans l'analyse du produit. Cette écriture nous permettra de décrire précisément les fonctions de fabrication.

Objet:

Nous élargissons la définition du constituant à celle de l'objet. Un objet est un constituant localisé dans l'environnement de travail. Chaque objet o_i est défini par un vecteur caractéristique qui décrit son état. Ce vecteur a deux composantes principales:

$$o_i = \left[P_i, x_i \right] \tag{III.5}$$

- **état fonctionnel** x_i: cela regroupe les caractéristiques du constituant correspondant à l'objet.

$$x_i = c_i^p \ldots c_i^\alpha \ldots c_i^1 \phi_i^{n_1} \ldots \phi_i^\beta \ldots \phi_i^1 d_i^{n_2} \ldots d_i^\delta \ldots d_i^1 l_i^{n_3} \ldots l_i^\mu \ldots l_i^1 \tag{III.6}$$

L'écriture binaire d'un constituant peut être condensée sous la forme d'un vecteur à trois composantes:

$$x_i = \left[m_i \; ph_i \; g_i \right] \tag{III.7}$$

m_i est l'état matériel du constituant (présence ou absence des composants de base)
ph_i est l'état physique du constituant.
g_i est l'état géométrique du constituant. Cela regroupe toutes les caractéristiques géométriques (dispositions et liaisons géométriques).

La manipulation du vecteur x_i sous sa forme binaire n'étant pas toujours aisée, nous disposons d'une écriture numérique plus compacte, X_i, où chaque composante $\left[m_i \; ph_i \; g_i \right]$ est codée en décimal.

Ex:

$$x_i = \begin{bmatrix} 0101 & 10 & 11101 \\ m_i & ph_i & g_i \end{bmatrix}$$

$$X_i = [5\ 2\ 29]$$

- **état position** P_i: il s'agit de localiser l'objet dans l'environnement de travail (position et orientation dans l'espace).

  Pour localiser un objet, il faut lui affecter un repère orthonormé. Souvent, ce repère est associé au centre d'inertie de l'objet, avec pour orientation l'un des axes d'inertie.

  La composante P_i du vecteur caractéristique d'un objet regroupe les coordonnées du repère de l'objet exprimé dans un référentiel fixe, arbitraire, associé à l'environnement de travail.

$$P_i = \left(X, Y, Z, \theta_x, \theta_y, \theta_z\right) \qquad \text{(III.8)}$$

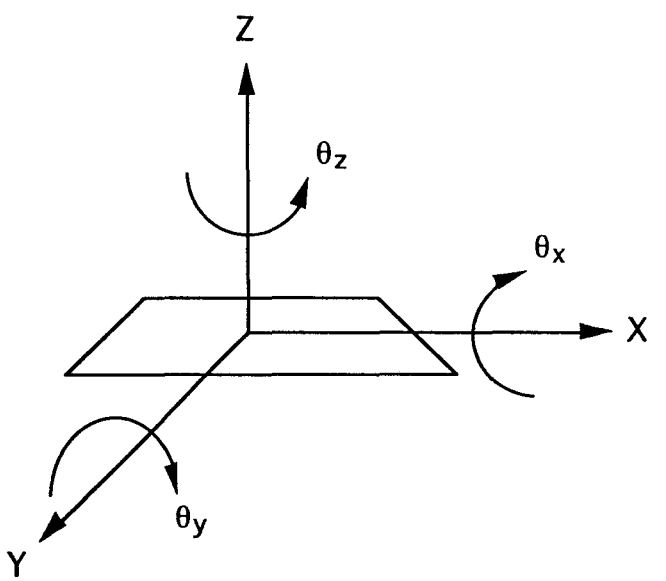


Figure III.9: Repère associé à un objet

Le terme d'objet de base est utilisé pour les objets dont le constituant est un constituant de base.

Tâche

La tâche t_i correspond à une intervention de l'environnement matériel conduisant à la transformation d'un ou deux objets o_i pour donner un seul objet en sortie.

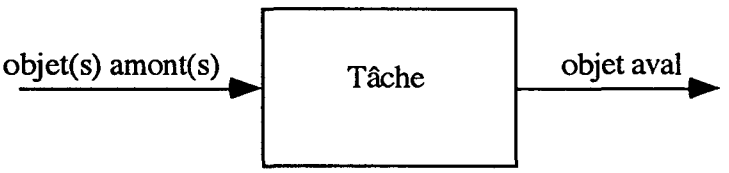


Figure III.10 : une tâche transforme un ou deux objets pour donner un nouvel objet.

Une tâche est entièrement définie par l'équation de transformation suivante:

$$o_s = t_i\left(o_1, o_2\right) \tag{III.9}$$

où $o_2 \in \left\{\left\{o_i\right\} \cup \varnothing\right\}$

A ce niveau de l'analyse du processus de fabrication, les tâches, comme les fonctions dans la description dynamique du produit, ont au maximum deux entrées.

A l'image des objets, une formulation analytique unique binaire est associée à chaque tâche:

$$t_i = \left[\Delta P_i \; f_i\right] \tag{III.10}$$

$$\Delta P_i = \left(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z\right) \tag{III.11}$$

$$f_i = \Delta\phi_i^{n_3} \ldots \Delta\phi_i^{\beta} \ldots \Delta\phi_i^{1} . \Delta d_i^{n_2} \ldots \Delta d_i^{\delta} \ldots \Delta d_i^{1} . \Delta l_i^{n_1} \ldots \Delta l_i^{\mu} \ldots \Delta l_i^{1} \tag{III.12}$$

ou $\left\{\Delta\phi_i^{\beta}, \Delta d_i^{\delta}, \Delta l_i^{\mu}\right\} \in \{0,1\}$

Comme pour les constituants, l'écriture binaire de la composante f_i peut être condensée sous la forme d'un vecteur à deux composantes:

$$f_i = \left[\Delta ph_i \ \Delta g_i\right] \qquad \text{(III.13)}$$

Δph_i est l'apport physique de la tâche (Ex: couture, traitement thermique).

Δg_i est l'apport géométrique de la tâche (Ex: positionnement d'une pièce, supperposition de pièces). Cela regroupe les caractéristiques géométriques (dispositions et liaisons géométriques).

La manipulation du vecteur f_i n'étant pas toujours aisée du fait de sa dimension, nous disposons d'une écriture numérique plus compacte, F_i, où chaque composante $\left[\Delta ph_i \ \Delta g_i\right]$ est codée en décimal.

Il faut remarquer que les tâches transforment un ou deux objets mais n'en créent pas. Il n'y a pas de composantes matérielles dans l'apport fonctionnel d'une tâche.

Dans un processus de fabrication, nous recensons trois types de tâches:

- **Tâche de déplacement**

C'est une tâche ayant un seul objet en entrée (tâche unitaire). L'objet en sortie se distingue de celui en entrée par une modification d'état exclusivement sur la position de l'objet.

Nous pouvons traduire cela sous la forme:

$$o_e = \left[P_e \ x_e\right] \xrightarrow{t_i} o_s = \left[P_s \ x_s\right] \qquad \text{(III.14)}$$

$$x_e = x_s$$

$$t_i = \left[P_s - P_e \ 0\right]$$

Les tâches de déplacement regroupent toutes les opérations de transport ou de placement d'objets au cours d'un processus de fabrication.

Ces tâches sont délicates à réaliser pour les objets faits en matière souple.

Une tâche de déplacement est représentée dans l'alphabet graphique par le sigle suivant:

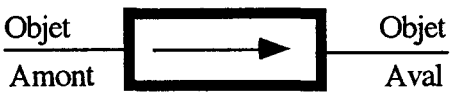


Figure III.11 : Tâche de déplacement

- **Tâche physique**

Une tâche physique apporte une valeur ajoutée à un objet (un caractère physique).

L'équation qui caractérise une tâche physique est la suivante:

$$o_e = \left[P_e\ x_e\right] = \left[P_e\ \left[m_e\ ph_e\ g_e\right]\right] \xrightarrow{t_i} o_s = \left[P_s\ x_s\right] = \left[P_s\ \left[m_s\ ph_s\ g_s\right]\right] \quad \text{(III.15)}$$

$P_e = P_s$, $m_s = m_e$ et $g_s = g_e$

$t_i = \left[0\ \left[ph_s \oplus ph_e\ 0\right]\right]$ avec $\oplus$: le "ou exclusif" bit à bit.

Une tâche physique est représentée dans l'alphabet graphique par le sigle suivant:

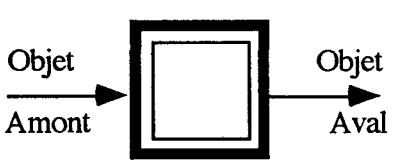


Figure III.12 : tâche physique

- **Tâche géométrique**

Une tâche géométrique concerne les opérations qui établissent une liaison ou disposition géométrique. La position de l'objet de sortie est fixée d'avance pour chaque tâche géométrique.

Une tâche géométrique est décrite par l'une des équations suivantes:

- tâche géométrique unaire

$$o_e = \left[P_e\ x_e\right] = \left[P_e\ \left[m_e\ ph_e\ g_e\right]\right] \xrightarrow{t_i} o_s = \left[P_s\ x_s\right] = \left[P_s\ \left[m_s\ ph_s\ g_s\right]\right] \quad \text{(III.16)}$$

$P_s = P_e$, $m_s = m_e$, et $ph_s = ph_e$

$t_i = \left[0\ \left[0\ g_s \oplus g_e\right]\right]$ avec $\oplus$: le "ou exclusif" bit à bit.

Les tâches géométriques unaires correspondent à l'établissement ou à la vérification d'une disposition géométrique. Les tâches géométriques unaires sont les opérations d'assemblage les plus difficiles à réaliser lors de la fabrication d'un vêtement (Ex: plier une jambe de pantalon, plier une chemise).

- tâche binaire

$$\left.\begin{aligned} o_e^1 &= \left[P_e^1\ x_e^1\right] = \left[P_e^1\ \left[m_e^1\ ph_e^1\ g_e^1\right]\right] \\ o_e^2 &= \left[P_e^2\ x_e^2\right] = \left[P_e^2\ \left[m_e^2\ ph_e^2\ g_e^2\right]\right] \end{aligned}\right\} \xrightarrow{t_i} o_s = \left[P_s\ x_s\right] = \left[P_s\ \left[m_s\ ph_s\ g_s\right]\right] \quad \text{(III.17)}$$

$t_i = \left[P_s\ \left[0\ g_s \oplus \left(g_e^1 + g_e^2\right)\right]\right]$ avec + qui est le "ou" logique et $\oplus$: le "ou exclusif" bit à bit

Les tâches binaires correspondent à l'établissement ou à la vérification d'une liaison géométrique entre deux objets. Dans une tâche géométrique binaire, intervient toujours un déplacement d'un ou des deux objets d'entrée vers la position finale. ($P_s = P_1$ ou $P_s = P_2$).

Les tâches géométriques (unaire et binaire) sont représentées dans l'alphabet graphique par les sigles suivants:

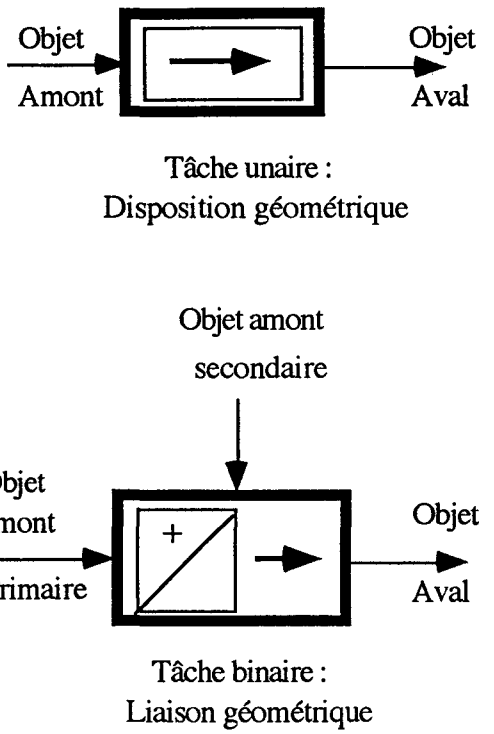


Figure III.13 : Tâches géométriques

III.4.3 Analyse du coulissage de col de chemise au niveau Objet/Tâche

Dans la cellule flexible d'assemblage des cols de chemise, nous avons un échantillon complet de tous les types de tâches.

Nous trouvons plusieurs tâches de déplacement:

- le déplacement des objets de base du magasin sur la plate forme d'assemblage,
- le transfert du col assemblé au chargeur de la machine à coudre, et
- le transfert du col assemblé du chargeur de la machine à coudre dans le gabarit de couture.

Les tâches de déplacement sont difficiles à réaliser en confection, car il faut maintenir les objets manipulés dans leur disposition géométrique respective.

Une solution consiste à faire glisser les objets sur des surfaces planes. Les déplacements possibles par cette technique sont caractérisés par le vecteur suivant:

$$\Delta P_i = \left(\Delta X, \Delta Y, 0, 0, 0, \Delta \theta_z \right) \qquad \text{(III.18)}$$

La disposition géométrique de notre cellule flexible rend impossible l'emploi unique de cette technique. Des déplacements verticaux sont nécessaires. Nous pratiquons une nouvelle technique basée sur l'emploi de la pince décrite dans le chapitre II. Cette pince permet des déplacements de pièces de tissu dont le vecteur caractéristique est:

$$\Delta P_i = \left(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z \right) \qquad \text{(III.19)}$$

Cette nouvelle pince offre plus de dégrés de liberté dans le déplacement des pièces tout en conservant leur disposition géométrique. La précision de mouvement est grandement améliorée.

Les caractéristiques du robot utilisé limitent néanmoins les déplacements au vecteur $\Delta P_i = \left(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, 0, 0, \Delta\theta_z \right)$. Le gain de deux degrés de liberté représente un réel progrès technologique.

Outre les tâches de déplacement de notre cellule, nous avons aussi trois tâches physiques : la détermination de la taille de l'objet de base $\left(o_1 = c_1 \right)$ et le contrôle de taille des objets de base (o_2 et o_3). C'est l'emploi d'un système d'analyse d'images qui a permis l'automatisation de ces tâches. Il permet de déterminer la taille des pièces présentes sur la plate-forme d'assemblage. Habituellement, dans les cellules d'assemblage automatique, beaucoup d'hypothèses sont faites sur l'état des objets de base. En quelque sorte, il s'agit d'un fonctionnement en boucle ouverte. Notre cellule d'assemblage est une première tentative de fonctionnement en boucle fermée du déplacement et du positionnement des pièces manipulées.

Les tâches géométriques sont au nombre de 5, avec notamment le contrôle de la bonne configuration des objets de base sur la plate-forme d'assemblage et l'établissement de deux liaisons géométriques lors de l'assemblage.

La vérification des dispositions géométriques après le transfert en provenance du magasin est un contrôle du bon déroulement de la tâche de déplacement entre le magasin et la plate-forme d'assemblage. Elle est faite par le système d'analyse d'images.

Les deux tâches géométriques binaires réalisent la superposition des pièces du col. Dans ces tâches, l'intérêt des performances supplémentaires de la pince du robot est encore plus grand. Le déplacement vertical et la modification d'orientation d'un des deux objets d'entrée de la tâche est indispensable avant l'établissement de la liaison géométrique. Sans cette capacité à manipuler les pièces du col, l'assemblage automatique n'aurait pas pu être réalisé.

Nous trouvons ci-dessous la représentation schématique de l'assemblage d'un col de chemise. Cette représentation donne une vue concise de l'ensemble des tâches réalisées.

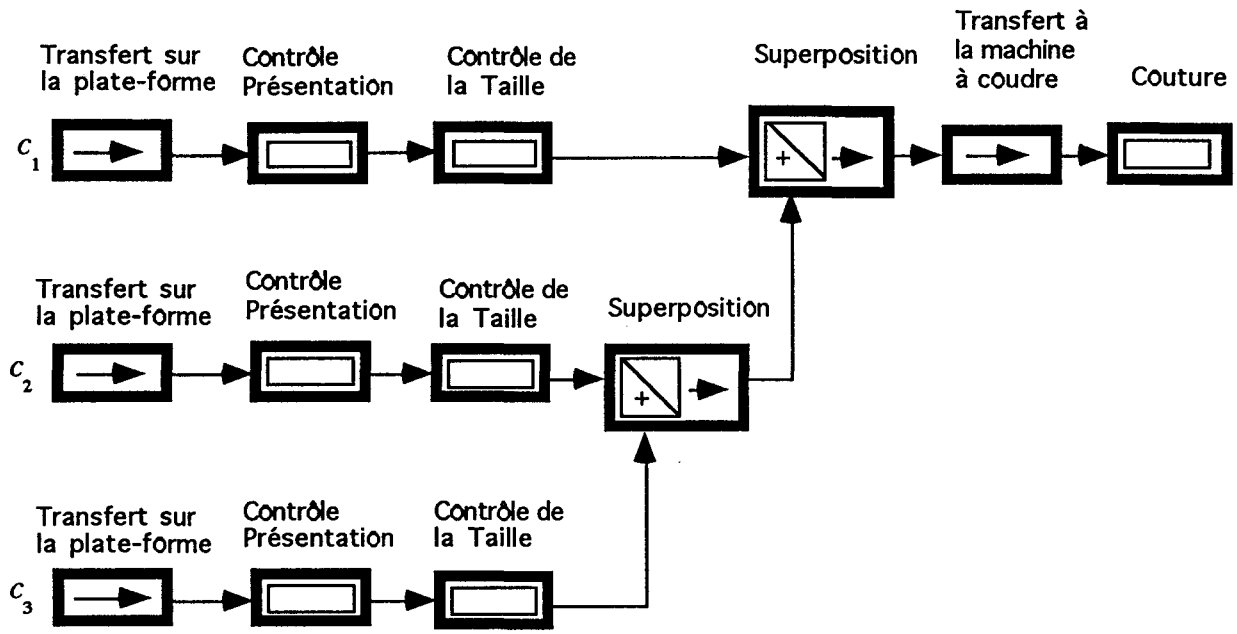


Figure III.14 : Processus de fabrication du col de chemise coulissé

III.4.4 Niveau Agrégat/Acte

L'analyse Objet/Tâche de la méthode MAPIF définit analytiquement les opérations nécessaires pour la mise en oeuvre d'une stratégie d'assemblage donnée.

L'aspect matériel n'apparaît pas du tout au niveau Objet/Tâche. Le niveau Agrégat/Acte va intégrer cet aspect dans la description du processus de fabrication.

Agrégat

La réalisation d'une tâche nécessite l'intervention d'un ou plusieurs instruments qui peuvent temporairement faire corps avec les objets.

La notion d'objet est étendue à celle d'agrégat (ce terme a été utilisé la première fois par Brault [BRAUL 86]). Un agrégat représente une composition hybride qui comprend les objets de l'analyse objet/tâche et/ou les instruments de l'équipement matériel.

La figure III.15 montre le scénario de la prise d'un objet du col de chemise sur la plate-forme d'assemblage. Nous pouvons observer sur cette figure les différents agégats que l'on peut distinguer lors de la prise d'un col de chemise sur la plate-forme d'assemblage.

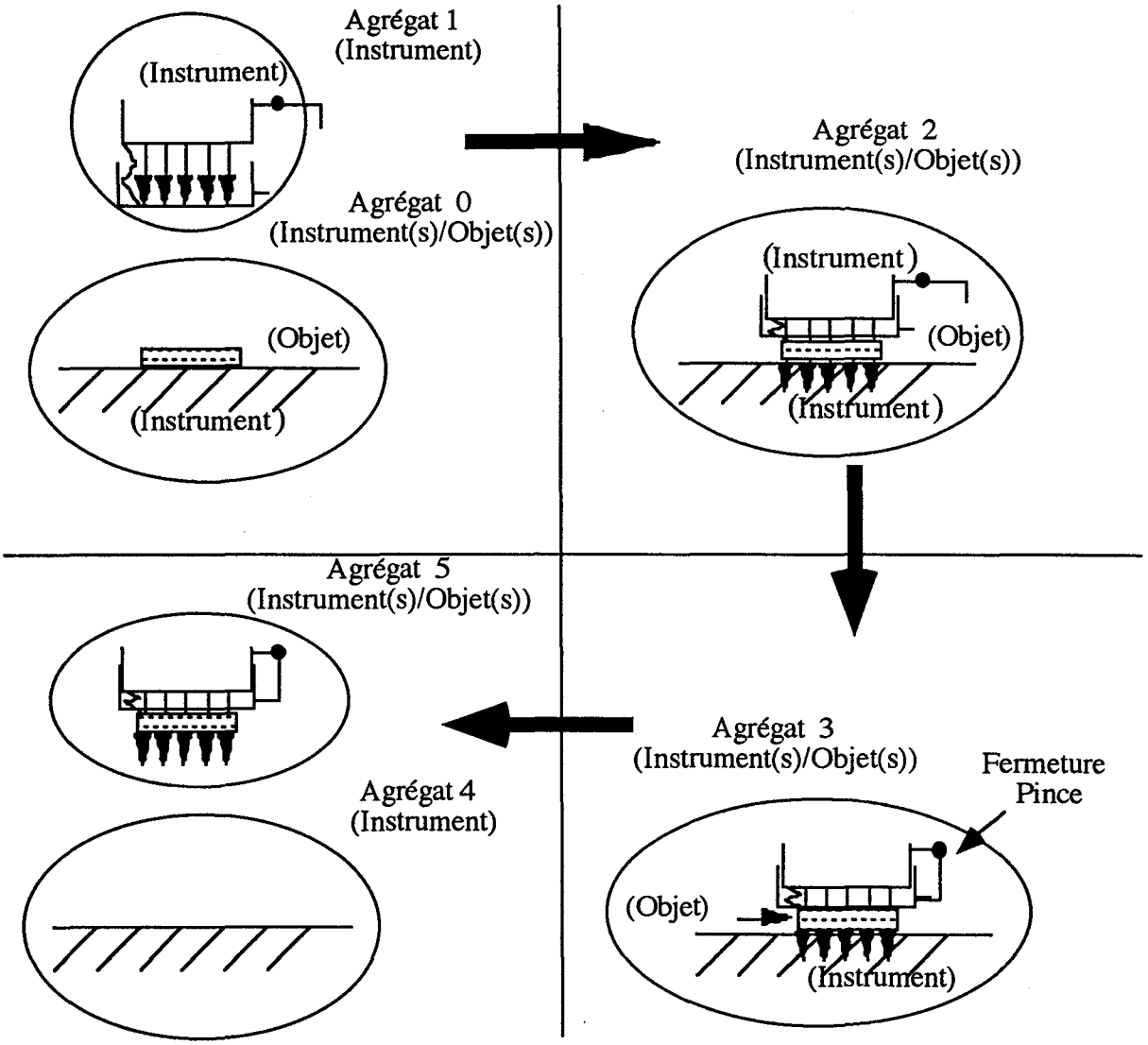


Figure III.15: Scénario de la prise d'un objet du col de chemise sur la plate-forme d'assemblage.

Dans un environnement matériel, nous distinguons deux types d'instruments:

- Les instruments de manipulation sont utilisés dans les tâches fonctionnelles géométriques (Ex: Le magasin, la plate-forme d'assemblage, la pince du robot). Il s'agit de dispositifs maintenant en équilibre dans le champ terrestre de pesanteur un objet au cours de la fabrication d'un produit.
  Les instruments de manipulation sont destinés à avoir d'une façon temporaire une liaison géométrique avec un objet. Nous nommons ces liaisons des "liaisons mécaniques" pour les différencier des liaisons géométriques des objets.
  Un effet physique peut être nécessaire pour maintenir la liaison mécanique. Cette effet est appelé un "caractère auxiliaire".
- Les instruments de procédé agissent sur les objets en vue de l'établissement ou de la vérification sur ceux-ci d'un ou plusieurs caractères physiques.

Comme pour le produit, une analyse de l'environnement matériel doit être menée afin d'énumérer tous les instruments avec les caractères auxiliaires et les liaisons mécaniques qui interviennent lors de la fabrication du produit. Cette analyse conduit à une extension de la matrice fonctionnelle du produit. Nous rajoutons t colonnes qui correspondent aux instruments de l'environnement matériel. La matrice fonctionnelle grandit aussi de r lignes relatives aux caractères auxiliaires et aux liaisons mécaniques.

Soit un produit fait de p constituants de base et fabriqué avec t instruments. Sa matrice fonctionnelle comporte $(p+t)$ colonnes et $(n+r)$ lignes. Compte tenu des règles d'évolution des agrégats, équivalentes à celles des constituants énumérées au paragraphe III.3.4, nous avons la relation $\left((n+r) \geq (p+t)-1\right)$. Lors de la fabrication du produit, un total de $s=(n+r)+(p+t)$ agrégats sont manipulés: les p constituants de base, les t instruments et les $(n+r)$ agrégats qui en découlent.

Les $(n+r)$ lignes de la matrice fonctionnelle se décomposent en:
- n_1 lignes relatives à un caractère physique,
- n_2 lignes relatives à une disposition géométrique,
- n_3 lignes relatives à une liaison géométrique,
- r_1 lignes relatives à un caractère auxiliaire, et
- r_2 lignes relatives à une liaison mécanique.

Il est possible d'utiliser un mot binaire unique y_i pour décrire physiquement chaque agrégat manipulé lors de la fabrication du produit. Chaque bit a un indique la présence soit:
- d'un constituant de base c_i^{α},
- d'un instrument i_i^{ρ},
- d'un caractère physique ϕ_i^{β},
- d'un caractère auxiliaire ψ_i^{∂},
- d'une disposition géométrique d_i^{δ},
- d'une liaison géométrique l_i^{μ}.
- d'une liaison mécanique entre un instrument et un constituant s_i^{ω}.

$$y_i = c_i^p \ldots c_i^{\alpha} \ldots c_i^1 i_i^t \ldots i_i^{\rho} \ldots i_i^1 \phi_i^{n_1} \ldots \phi_i^{\beta} \ldots \phi_i^1 \psi_i^{r_1} \ldots \psi_i^{\partial} \ldots \psi_i^1 d_i^{n_2} \ldots d_i^{\delta} \ldots d_i^1 l_i^{n_3} \ldots l_i^{\mu} \ldots l_i^1 s_i^{r_2} \ldots s_i^{\omega} \ldots s_i^1 \quad \text{(III.20)}$$

ou $\left\{c_i^{\alpha}, i_i^{\rho}, \phi_i^{\beta}, \psi_i^{\partial}, d_i^{\delta}, l_i^{\mu}, s_i^{\omega}\right\} \in \{0,1\}$,et

i est l'indice du constituant et $i \in \left[1,(n+r)\right]$,

α est l'indice du constituant de base et $\alpha \in [1, p]$,

ρ est l'indice de l'instrument et $\rho \in [1, t]$,

β est l'indice du caractère physique et $\beta \in [1, n_1]$,

∂ est l'indice du caractère auxiliaire et $\partial \in [1, r_2]$,

δ est l'indice de la disposition géométrique et $\delta \in [1, n_2]$,

μ est l'indice de la liaison géométrique et $\mu \in [1, n_3]$,

ω est l'indice de la liaison mécanique et $\omega \in [1, r_2]$.

La dimension du vecteur binaire y_i est $(n + r) + (p + t)$.

Dans l'écriture binaire d'un agrégat, nous voyons ressortir cinq sous-groupes homogènes:

$$y_i = [m_i \; m_i' \; ph_i \; ph_i' \; g_i \; g_i'] \qquad \text{(III.21)}$$

m_i décrit les constituants de base intervenant dans la constitution de l'agrégat, (présence ou absence des constituants de base),

m_i' décrit les instruments intervenant dans la constitution de l'agrégat (présence ou absence des instruments de l'environnement),

ph_i décrit l'état physique du constituant intervenant dans la constitution de l'agrégat,

ph_i' décrit l'état physique des instruments intervenant dans la constitution de l'agrégat,

g_i décrit l'état géométrique du constituant intervenant dans la constitution de l'agrégat. Cela regroupe toutes les caractéristiques géométriques (dispositions et liaisons géométriques), et

g_i' décrit l'état géométrique des instruments intervenant dans la constitution de l'agrégat.

Comme les objets, un agrégat est localisé dans l'espace. Un agrégat est entièrement défini par le vecteur:

$$a_i = \left[P_i, y_i\right] \qquad \text{(III.22)}$$

où $P_i = \left(X, Y, Z, \theta_x, \theta_y, \theta_z\right)$

La position associée à un agrégat est rarement le centre de gravité de celui-ci. Elle est souvent définie par rapport aux objets qui le constituent. La figure III.16 montre l'agrégat constitué d'un objet de base déposé sur la plate forme d'assemblage. La position définie pour cet agrégat est le centre de gravité de l'objet.

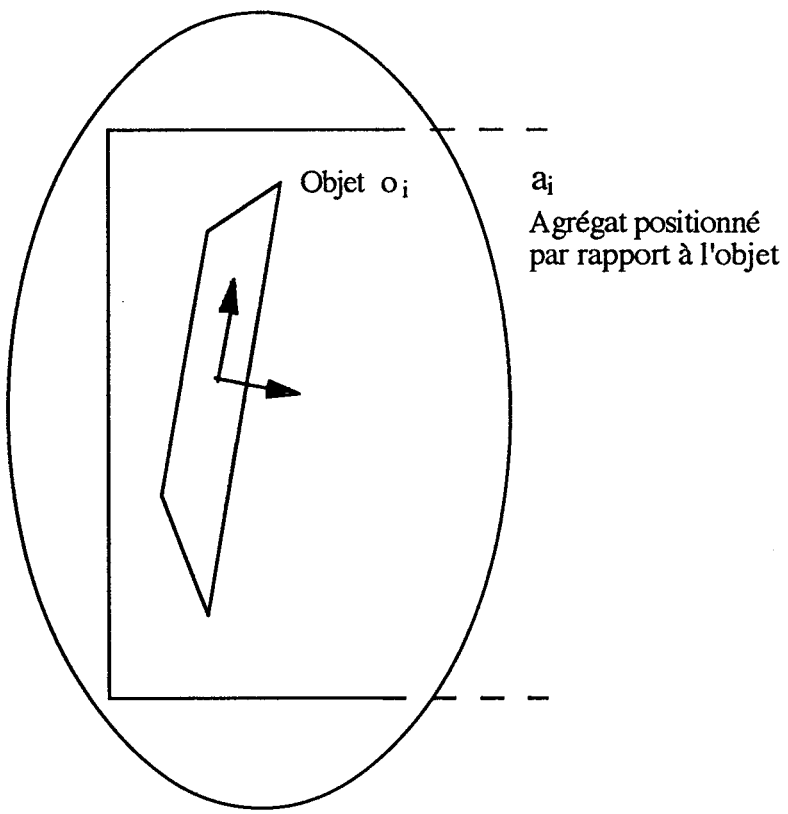


Figure III.16: Position d'un agrégat

Acte

L'acte A_i est une action mettant en oeuvre un ou deux agrégats en entrée pour produire un ou deux agrégats en sortie. Ceci peut se mettre sous la forme:

$$\left\{a_{s_1}, a_{s_2}\right\} = A_i\left(a_{e_1}, a_{e_2}\right) \qquad \text{(III.23)}$$

L'acte est caractérisé par les paramètres de transformation suivants

$$A_i = \begin{bmatrix} \Delta P_{i_1} & h_{i_1} \\ \Delta P_{i_2} & h_{i_2} \end{bmatrix} \qquad \text{(III.24)}$$

Chaque agrégat de sortie est fonction des deux agrégats d'entrée $\left(a_{e_1}, a_{e_2}\right)$

$$h_i = \Delta\phi_i^{n_1} \ldots \Delta\phi_i^{\beta} \ldots \Delta\phi_i^{1} . \Delta\psi_i^{r_1} \ldots \Delta\psi_i^{\partial} \ldots \Delta\psi_i^{1} . \Delta d_i^{n_2} \ldots \Delta d_i^{\delta} \ldots \Delta d_i^{1} \\ . \Delta l_i^{n_3} \ldots \Delta l_i^{\mu} \ldots \Delta l_i^{1} . \Delta s_i^{r_2} \ldots \Delta s_i^{\omega} \ldots \Delta s_i^{1} \qquad \text{(III.25)}$$

Chaque composante du vecteur A_i représente les variations de position et de composition apportées aux agrégats d'entrée pour obtenir l'agrégat de sortie. La composantes h indiquent les modifications apportées aux constituants de base et au instruments. La composante s'écrit aussi sous la forme: h_i

$$h_i = \left[\Delta ph_i \ \Delta ph_i' \ \Delta g_i \ \Delta g_i'\right] \qquad \text{(III.26)}$$

Nous répertorions quatres catégories d'actes:

- Actes de déplacement:

Un acte de déplacement est un opération unitaire (un seul agrégat en entrée).

Comme pour les tâches de déplacement, les actes de déplacement opèrent uniquement une modification de position de l'agrégat d'entrée.

$$a_e = \left[P_e \quad y_e\right] \xrightarrow{A_i} a_s = \left[P_s \quad y_s\right] \qquad \text{(III.27)}$$

$$y_s = y_e$$

$$A_i = \left[P_s - P_e \ \left[0 \ 0 \ 0 \ 0\right]\right]$$

Le sigle graphique associé est:

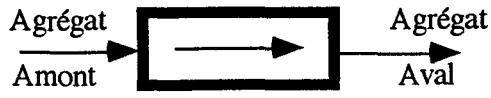


Figure III.17 : Acte de déplacement

Par rapport à une tâche de déplacement, un acte de déplacement représente aussi le déplacement d'un instrument.

- Acte physique:

Un acte physique ne réalise qu'une modification des caractères physiques des agrégats d'entrée.

Pour les caractères auxiliaires, un acte physique a un seul agrégat en entrée.

$$a_e = \left[P_e \quad y_e\right] \xrightarrow{A_i} a_s = \left[P_s \quad y_s\right] \qquad \text{(III.28)}$$

$$a_e = \left[P_e \quad \left[m_e \quad m'_e \quad ph_e \quad ph'_e \quad g_e \quad g'_e\right]\right] \xrightarrow{A_i} a_s = \left[P_s \quad \left[m_s \quad m'_s \quad ph_s \quad ph'_s \quad g_s \quad g'_s\right]\right] \qquad \text{(III.29)}$$

$$P_s = P_e \;,\; m_s = m_e \;,\; m'_s = m'_e,\; ph_s = ph_e \;,\; g_s = g_e$$

$$A_i = \left[0 \quad \left[0 \quad 0 \quad \left[ph'_e \oplus ph'_s\right] \quad 0 \quad 0 \quad 0\right]\right]$$

avec $\oplus$: est le "ou exclusif" bit à bit

Dans les cas où l'intervention d'un instrument apporte ou modifie un caractère physique d'un objet, l'acte correspondant a forcément deux agrégats en entrée et deux agrégats en sortie (l'instrument et l'objet).

$$\begin{matrix} a_{e(objet)} = \left[P_{e_1} \quad y_{e_1}\right] \\ a_{e(instrument)} = \left[P_{e_2} \quad y_{e_2}\right] \end{matrix} \xrightarrow{A_i} \begin{matrix} a_{s(objet)} = \left[P_{s_1} \quad y_{s_1}\right] \\ a_{s(instrument)} = \left[P_{s_2} \quad y_{s_2}\right] \end{matrix} \qquad \text{(III.30)}$$

$$A_i = \begin{bmatrix} h_{i_1} \\ h_{i_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & \begin{bmatrix} 0 & ph_s \oplus ph_e & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 0 & \begin{bmatrix} 0 & ph'_s \oplus ph'_e & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$ avec $\oplus$ qui est le "ou exclusif" bit à bit.

Nous avons deux lignes pour indiquer les transformations pour obtenir chaque agrégat de sortie en fonction des agrégats d'entrée.

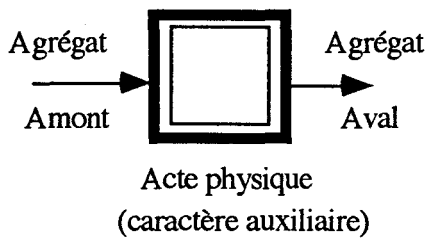


Figure III.18 : Acte physique unitaire

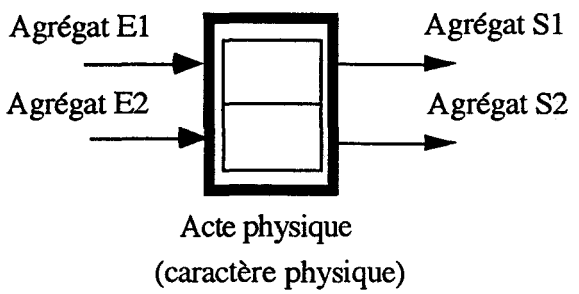


Figure III.19 : Acte physique binaire

- Acte géométrique:

Cette classe d'actes regroupe tous ceux qui produisent des modifications ou des vérifications de caractères géométriques (disposition géométrique, liaison géométrique, liaison mécanique).

Seule une liaison mécanique peut être supprimée. Dans tous les autres cas, dispositions géométriques et liaisons géométriques, une suppression supposerait une erreur d'assemblage.

La précision de la position des agrégats intervenant dans un acte géométrique doit être importante. Si, en mécanique, il est possible de guider l'approche entre deux agrégats au moyen d'un chanfrein, une telle technique n'est pas envisageable en confection. Compte

tenu du coefficient de frottement des tissus, il est impossible de glisser les agrégats l'un envers l'autre, tout en maintenant leur disposition géométrique respective.

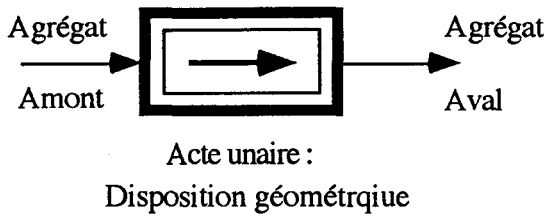


Figure III.20 : Acte géométrique unaire: disposition géométrique

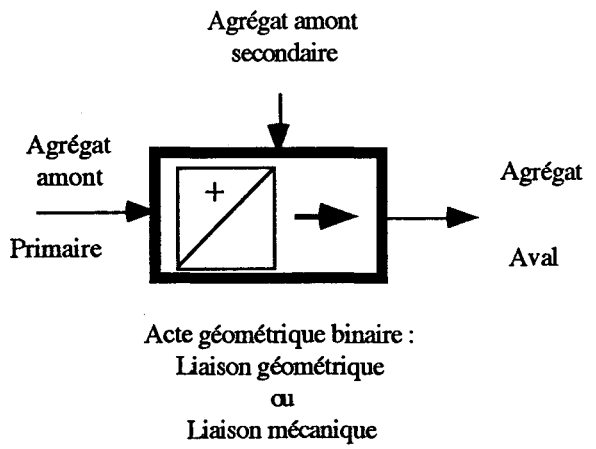


Figure III.21 : Acte géométrique binaire : Agrégation

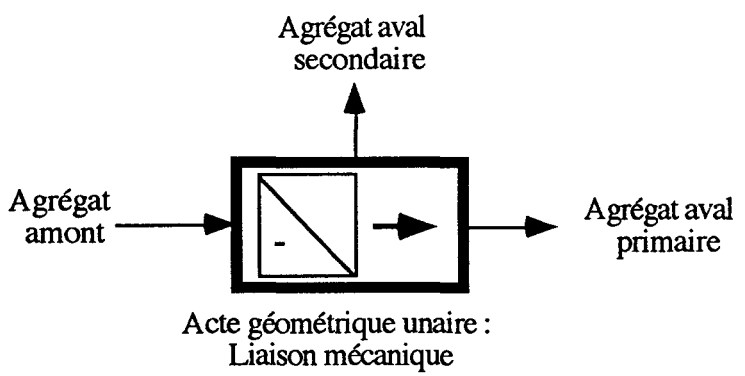


Figure III.22 : Acte géométrique unaire : Désagrégation

- Acte de positionnement:

Avant l'utilisation des capteurs de perception dans les applications de robotique, le moyen de connaître la position des agrégats était de cumuler à une position de départ tous les déplacements élémentaires appliqués et connus avec une précision relative.

Un capteur de perception, tel que celui de notre système d'analyse d'images, permet un repérage ou un positionnement d'agrégat au cours du processus de fabrication. C'est cette opération que nous nommons acte de positionnement.

Ces capteurs constituent un nouveau type d'instrument que nous nommerons instrument de positionnement.

L'utilisation de ces capteurs se répand de plus en plus, et il est nécessaire de représenter ces opérations dans la description d'un processus de fabrication.

Un acte de positionnement est caractérisé par l'équation:

$$a_e = \left[Inconnu \quad y_e \right] \xrightarrow{A_i} a_s = \left[P_s \quad y_s \right] \qquad \text{(III.31)}$$

Un acte de positionnement est symbolisé par le sigle suivant:

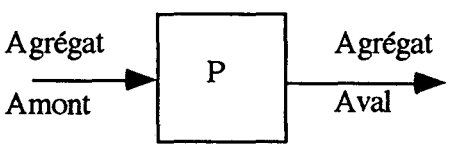


Figure III.23 : Acte de positionnement

III.4.5 Analyse du coulissage de col de chemise au niveau Agrégat/Acte

En utilisant l'alphabet graphique défini pour l'analyse au niveau agrégat/acte, nous allons décrire le poste de travail pour coulisser le col de chemise. La description est organisée en quatre parties qui symbolisent les étapes importantes de l'assemblage:

- Chargement de la plate-forme d'assemblage
- Contrôle des objets de base sur la plate-forme d'assemblage
- Assemblage du col
- Couture du col

Le lecteur étant peut-être peu familiarisé avec l'écriture vectorielle des agrégats, nous commentons les graphiques en langage usuel.

Chargement de la plate-forme d'assemblage

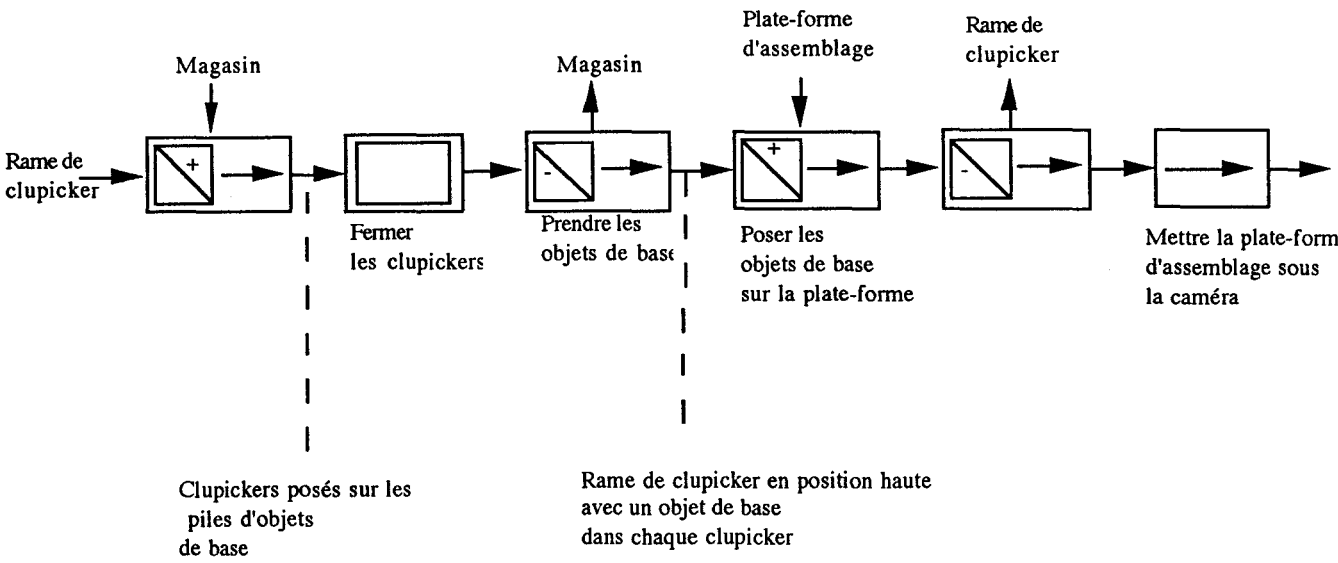


Figure III.24 : chargement de la plate-forme d'assemblage

Le cycle d'assemblage du col de chemise débute par le chargement sur la plate-forme d'assemblage d'un échantillon de chaque objet de base. Cette opération se décompose en six actes élémentaires comme le montre la figure III.24.

Seuls des instruments de manipulation interviennent dans cette étape:

- Le magasin qui soutient des piles d'objets de base,
- Le mécanisme, constitué de trois "Clupickers" solidaires, qui saisit les trois objets de bases du col de chemise sur les piles respectives du magasin,
- La plate-forme d'assemblage qui porte les objets de base du prochain col à assembler.

Sur les trois outils cités ci-dessus, seul le mécanisme avec les "Clupickers" ont un caractère auxiliaire : ouvert/fermé pour tenir les objets.

La figure III.24 ci-dessus est un zoom de la tâche "Transfert sur la plate-forme" présentée à la figure III.15. Il faut remarquer que l'incidence du matériel dans l'exécution de la tâche apparaît distinctement sur la figure III.24 par rapport à la figure III.15.

Dans l'analyse Objet/Tâche, les objets de base sont traités distinctement. Dans l'analyse Agrégat/Acte, compte tenu des instruments utilisés (rame de clupicker, plate-forme d'assemblage), ces objets de base forment avec les instruments des agrégats uniques:

- Le magasin avec les piles d'objets de base,

- Le mécanisme constitué de trois "Clupickers" solidaires avec un échantillon de chaque objet de base,
- La plate-forme d'assemblage avec un échantillon de chaque objet de base.

Contrôle des objets de base sur la plate-forme d'assemblage

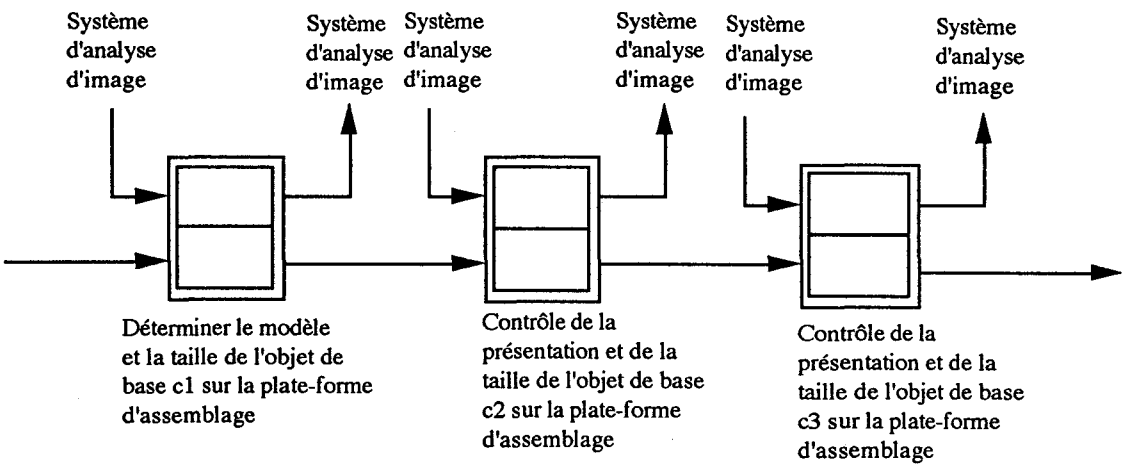


Figure III.25 : Contrôle des objets de base sur la plate-forme d'assemblage

Le graphique de la figure III.25 détaille l'analyse de la plate-forme d'assemblage. Il faut vérifier les caractères physiques que doivent présenter les objets de base du produit final.

Dans cette étape le même instrument intervient plusieurs fois. Il s'agit du système d'analyse d'images qui fait partie de la famille des instruments de procédé.

Le matériel utilisé pour le système d'analyse d'images implique une analyse séquentielle des trois objets de base. Ceci interdit la mise en oeuvre simultanée proposée par la description dynamique du produit au début de ce chapitre (cf. figure III.8).

Assemblage du col

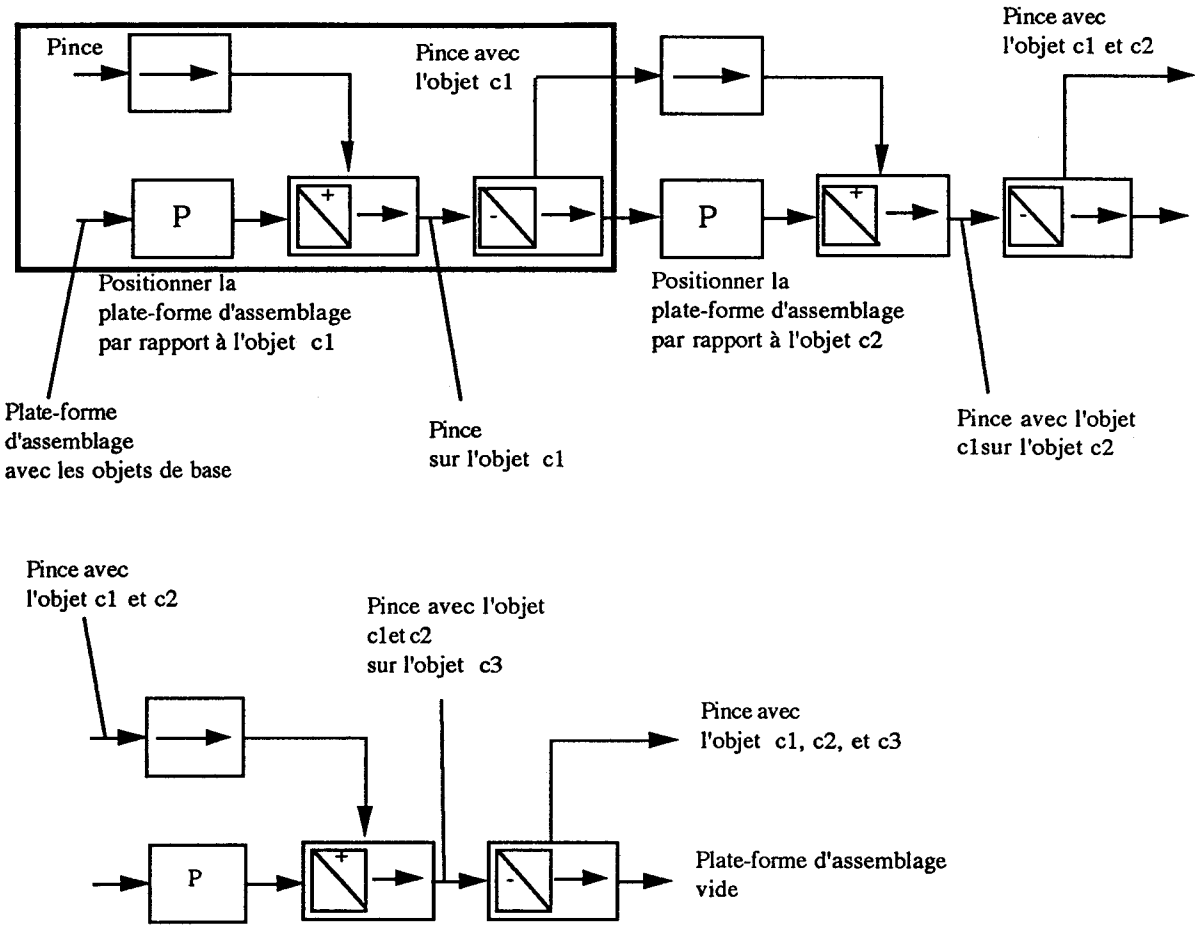


Figure III.26 : Assemblage du col

La figure III.26 développe l'opération d'assemblage du col de chemise. Cet assemblage revient à superposer les trois objets de base du col.

Deux instruments sont utilisés dans cette étape:

- Un instrument de manipulation innovateur dans la confection, la pince du robot, qui offre de grandes possibilités de déplacement d'objets en tissu. Comme toutes les pinces de robot, elle peut être ouverte ou fermée. Sa fermeture est automatique une fois la pince posée sur la plate-forme d'assemblage. Son ouverture est commandée et fait l'objet d'un caractère auxiliaire.
- Un instrument de positionnement, le système de vision, encore très peu utilisé dans l'industrie textile. Il positionne l'agrégat "plate-forme d'assemblage" par rapport à un des trois objets de base qu'il supporte.

Sur la figure III.26, le motif de base encadré se répète trois fois. Ce motif de base est la traduction, dans la syntaxe de la méthode MAPIF, des mouvements qui apparaissent sur la figure III.15.

Couture du col

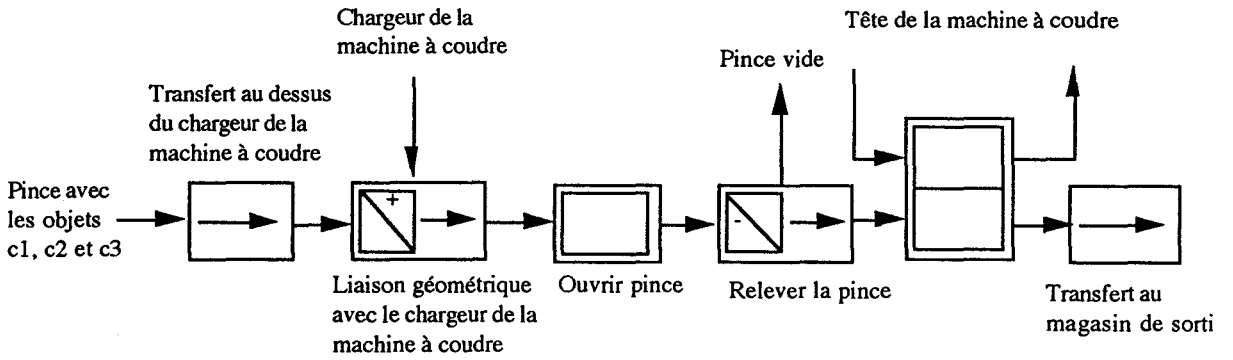


Figure III.27 : Couture du col

La couture est la dernière étape dans le coulissage d'un col de chemise.

Pour la première fois dans la description de la cellule flexible d'assemblage du col de chemise, nous voyons apparaître l'outil de procédé "machine à coudre". Les trois premières étapes sont indépendantes de cet outil.

Une fois que la machine à coudre dispose d'un chargeur qui permet une liaison géométrique avec la pince du robot, elle peut être alimentée automatiquement par notre système robotisé.

III.4.6 Conclusion

L'étape d'analyse du processus de fabrication par la méthode MAPIF met en avant l'incidence de l'environnement matériel dans l'implantation d'une stratégie d'assemblage donnée. Le choix de cette dernière résulte de l'étape d'analyse du produit.

Trois aspects de l'étape d'analyse du processus de fabrication sont pour nous importants:

- Premièrement, nous disposons d'une syntaxe analytique qui permet de spécifier et de juger les tâches ou actes prenant part à un processus de fabrication;
- Deuxièmement, nous disposons d'une représentation schématique qui permet de communiquer plus rapidement le principe d'un processus de fabrication.

- Troisièmement, l'existence des deux niveaux Objets/Tâches et Agrégats/Actes permet de dissocier le principe de fabrication de son implantation industrielle.

Dans le cas de notre cellule flexible d'assemblage de col de chemise, la méthode MAPIF a permis d'expliciter deux points forts de cette réalisation:

- Une plus grande liberté dans le déplacement de pièces de tissu grâce aux spécificités de la pince du robot,
- Un très grand intérêt à intégrer un système d'analyse d'images dans une cellule flexible d'assemblage. Il peut jouer le rôle d'instrument de procédé ou celui de positionnement.

III.5. CONCLUSION

En introduction de ce chapitre, nous avons explicité l'intérêt industrielle à disposer d'une méthode de modélisation d'un processus de fabrication.

Ce chapitre III présente la méthode **MAPIF** (**M**odélisation d'**A**ssemblage de **PI**èces **F**lexibles) en l'appliquant à la description de notre cellule flexible d'assemblage de col de chemise.

Les caractéristiques de la méthode MAPIF sont:

- Analyse d'un produit flexible:
  - introduction de la notion de disposition géométrique pour définir une configuration particulière d'une pièce flexible;
  - construction d'une matrice fonctionnelle pour décrire le produit; et
  - description dynamique avec choix d'une stratégie d'assemblage.
- Analyse du processus de fabrication
  - niveau Objet/Tâche qui permet de spécifier de façon analytique les opérations nécessaires; et
  - niveau Agrégat/Acte qui montre l'incidence du choix d'un environnement matériel dans l'implantation d'une stratégie d'assemblage donnée.

L'apport de la méthode MAPIF par rapport au travaux de J.P. Bourrière se situe dans la représentation d'assemblage de pièces flexibles et l'intégration dans la représentation d'un processus de fabrication des opérations de localisation d'une pièce.

Pour que cette méthode se développe, il faut maintenant créer des outils informatiques qui facilitent sa mise en œuvre. La rédaction de certains documents peut être semi automatisée et en enlever ainsi les aspects rébarbatifs (éditeur sous environnement graphique).

La méthode MAPIF nous a permis d'établir une documentation qui facilitera l'adaptation de notre cellule flexible d'assemblage de col de chemise à d'autres postes de travail (poignets, manches...).

BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE III

Livres:

1 [DAVI 89] : R. David et H. ALLA, "Du Grafcet aux réseaux de Petri", Editions Hermès, 1989.

Thèses

2 [BOURR 90] : BOURRIERES J.P., "Contribution à la modélisation intégrée des systèmes robotisés d'assemblage", Université de Franche-Comté, Besançon, Janvier 1990.

3 [BOURJ 84] : BOURJAULT A., "Contribution à une approche méthodologique de l'assemblage automatisé: élaboration automatique des séquences opératoires.", thèse d'Etat, Université de Franche-Comté, Besançon, Novembre 1984.

4 [BRAUL 86] : BRAULT G., "Modélisation, commande et simulation d'îlots flexibles d'assemblage.", Thèse de l'Université de Franche-Comté, Besançon, Novembre 1986.

Articles

5 [CHAPP 88] : CHAPPE D., BOURJAULT A., "Utilisation des réseaux de Pétri temporisés pour la conception et l'évaluation des systèmes d'assemblage automatisés.", 12 th IMACS World Congress on Scientific Computation, Paris, 1988.

6 [SEKIG 83] : SEKIGUCHI H., KOJIMA T., INOUE K., HONDA T., "Study on automatic dtermination of assembly sequences.", Annals of the CIRP, Vol. 32, , pp. 371-374, Jan. 1983.

7 [DEFAZ 87] : DE FAZIO T.L., WHITNEY D.E., "Simplified generation of all assembly sequences", IEEE Robotics and Automation, Vol. RA-3, n°6, pp. 640-658, December 1987.

8 [HENRI 89] : HENRIOUD J.M., BOURJAULT A., CHAPPE D., "Contribution to computer-aided design of flexible assembly systems.",Preprints of the 6th Symp. on information control problems in manufacturing technology, INCOM'89, Madrid, September 1989.

9 [YOKOY 89] : YOKOYAMA Y., "Symbols for assembly sytems", Jpn. J. of Adv. Automation Tech., Vol. 1, n°0, pp. 24-38, April 1989.

IV. FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME D'ANALYSE D'IMAGE

IV.1. INTRODUCTION

L'analyse d'image est de plus en plus utilisée dans des systèmes de contrôle commande pour processus industriel, plate-forme mobile, etc. . Le succès que remportent actuellement les capteurs d'image s'explique de la façon suivante:

- accès à une importante quantité d'informations (spatiales, énergétiques, et temporelles),
- grande flexibilité d'utilisation.

Les premiers travaux sur l'analyse d'image remontent aux années 1970. [BARRO 71,DUDA 73,GREG 70]. L'analyse d'image intègre un ensemble de techniques qui proviennent de différents domaines scientifiques:

- La classification,
- L'optimisation,
- L'intelligence artificielle.

L'analyse d'image est la solution adéquate pour bon nombre de problèmes d'automatisation industrielle. Dans le cadre de notre cellule flexible automatique d'assemblage de col de chemise, le système de vision permet de résoudre les points suivants:

- reconnaissance du modèle de col présent sur la plate-forme d'assemblage,
- détermination de la position des pièces constitutives du col,
- détermination de la taille du col.

A l'exception des algorithmes utilisés , ce qui différencie un système de vision d'un autre sont les performances face aux types d'images traitées et aux conditions de prise de vue. Notre système doit:

- être performant quelque soit le type de col et le type de tissu (coloris, texture);
- fonctionner avec les conditions habituelles d'éclairage d'un site industriel.

Bien que l'analyse de séquences d'images soit d'un grand intérêt pour beaucoup d'applications (robotique mobile, météorologie, etc....), nos travaux concernent plus spécifiquement les problèmes relatifs au cas de scènes statiques.

Dans toutes les applications d'analyse d'image, nous retrouvons les trois aspects suivants:

- le traitement d'image (TI): calcul sur des informations visuelles,
- la reconnaissance d'objet (RO) : méthode de représentation de données avec les techniques associées de mise en correspondance.

- l'interprétation d'une scène (IS) : raisonnement sur les données en provenance de la RO permettant la compréhension d'une scène.

La bibliographie sur ces trois étapes est abondante. Elle rassemble de nombreux algorithmes qui vont de la simple heuristique à l'implantation d'une théorie mathématique avancée.

Des contraintes spécifiques à l'industrie textile (matériaux utilisés, types des opérations à réaliser) ont limité jusqu'à présent l'utilisation de systèmes de vision dans les tâches de confection.

Nos travaux concernent l'étude d'algorithmes qui permettent une utilisation plus importante des systèmes d'analyse d'image (SAI) au sein d'un poste de travail en confection comme celui décrit au chapitre II.

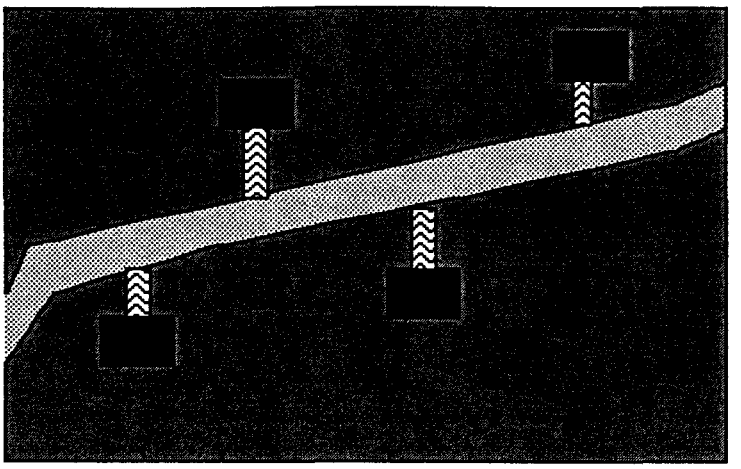
Dans ce chapitre, nous commençons au paragraphe 2 par introduire l'architecture de tout système d'analyse d'image (SAI) avec les trois composantes élémentaires: traitement d'image (TI), reconnaissance d'objets (RO), interprétation d'une scène (IS). Dans le paragraphe 3, nous explicitons les spécifications particulières au SAI de notre cellule flexible automatique d'assemblage de col. Les paragraphes 4 et 5 exposent pour les deux composantes élémentaires TI et RO les différentes solutions existantes possibles et les methodes que nous avons effectivement implantées dont une nouvelle heuristique de suivi de contour.

IV.2. LES TROIS ÉTAPES D'UN SYSTÈME D'ANALYSE D'IMAGE

Tout système d'analyse d'image comporte dans son fonctionnement les trois étapes suivantes:

- le traitement d'image (TI):

Une fois la scène acquise et disponible sous une forme qui puisse être manipulée par un système informatique (cf. figure IV.1), le TI fournit une image structurée ou caractéristique (cf. figure IV.2).



Scène obsevée :
image aérienne

Figure IV.1: Scène réelle

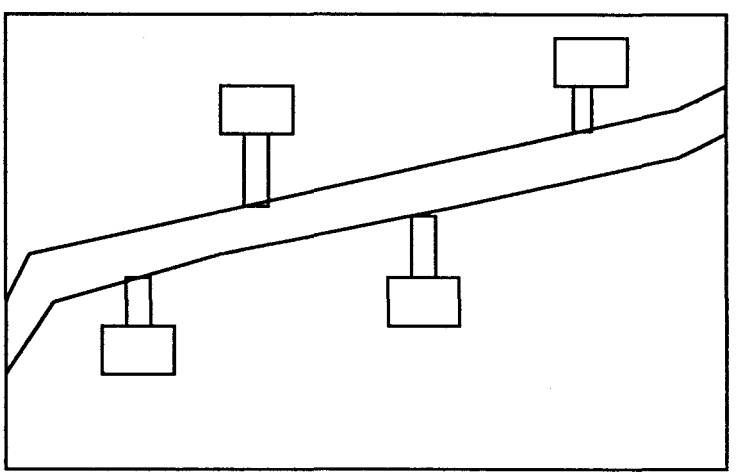


Figure IV.2: Image structurée ou caractéristique

Dans le TI, l'image brute subit un ensemble de traitements pour éliminer le bruit, et les informations redondantes ou superflues. Comme exemple d'image structurée, la figure IV.2 expose une image ne comprenant que l'information "contour".

- la reconnaissance d'objet (RO) :

A partir de la base de connaissance qui contient un modèle des objets connus, le processus de RO identifie les objets présents dans l'image structurée (cf. figure IV.3).

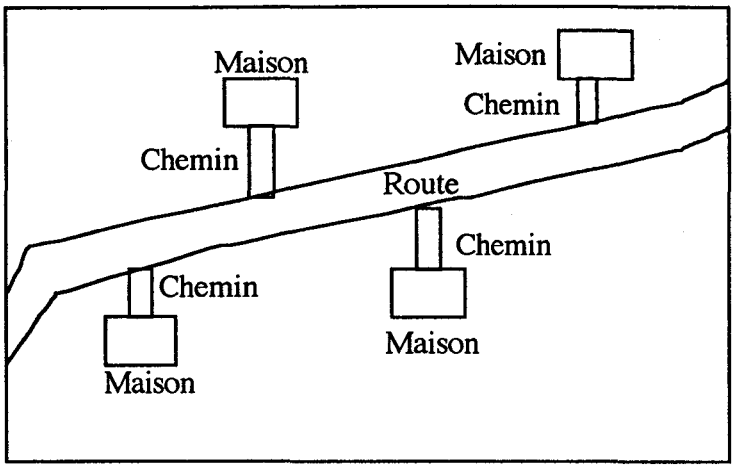


Figure IV.3: Identification des objets présents dans l'image structurée

- l'interprétation d'une scène (IS):

Sur la base d'un modèle de comportement du monde, l'IS fournit une description symbolique de la scène observée (cf. figure IV.4). La disposition des maisons par rapport aux chemins et à la route sur la figure IV.3 laisse supposer que la scène réelle est une route de campagne.

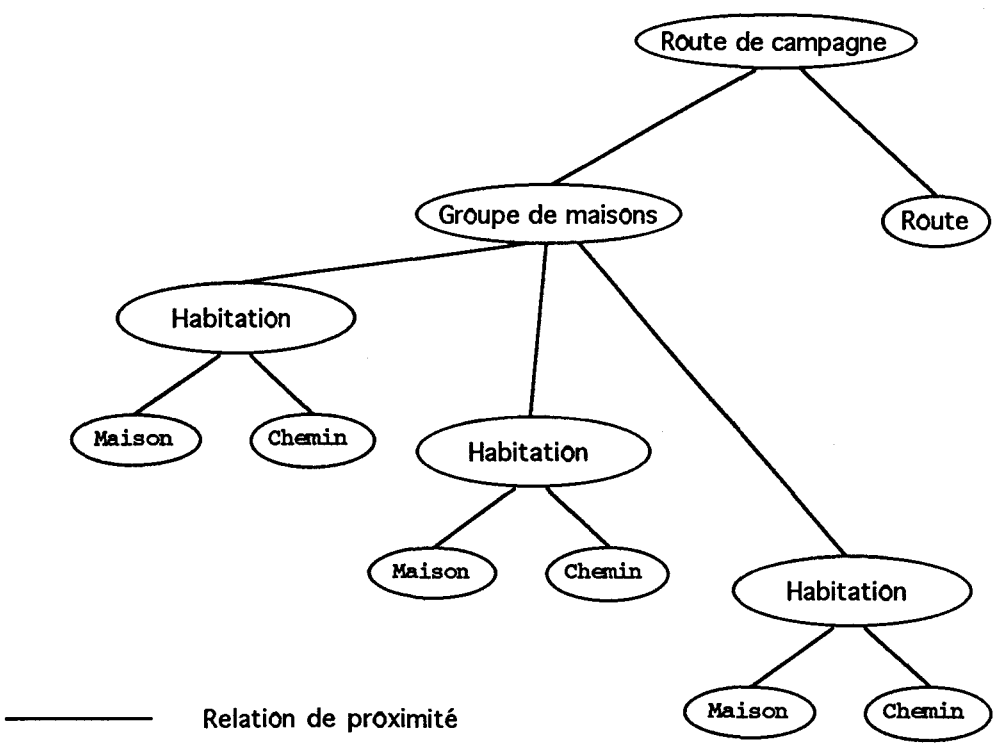


Figure IV.4: Description symbolique de la scène observée

Une fois que la description symbolique d'une scène est disponible, le système d'analyse d'image est en mesure de répondre à des questions du type:

- Quel est le modèle du col dont les pièces sont sur la plate-forme d'assemblage?
- Est-il possible d'assembler le col?

Regardons plus en détail chacune des trois étapes (TI, RO, IS) d'un système d'analyse d'image.

IV.2.1 Le processus de traitement d'image (TI)

Tout processus de TI commence par la saisie de la scène à étudier au moyen d'une caméra. L'ensemble des opérations ultérieures comprises dans le TI transforme cette image saisie pour extraire les caractéristiques utiles et obtenir l'image structurée. (cf. figure IV.5).Dans le processus de TI, seules les informations du niveau image sont manipulées.

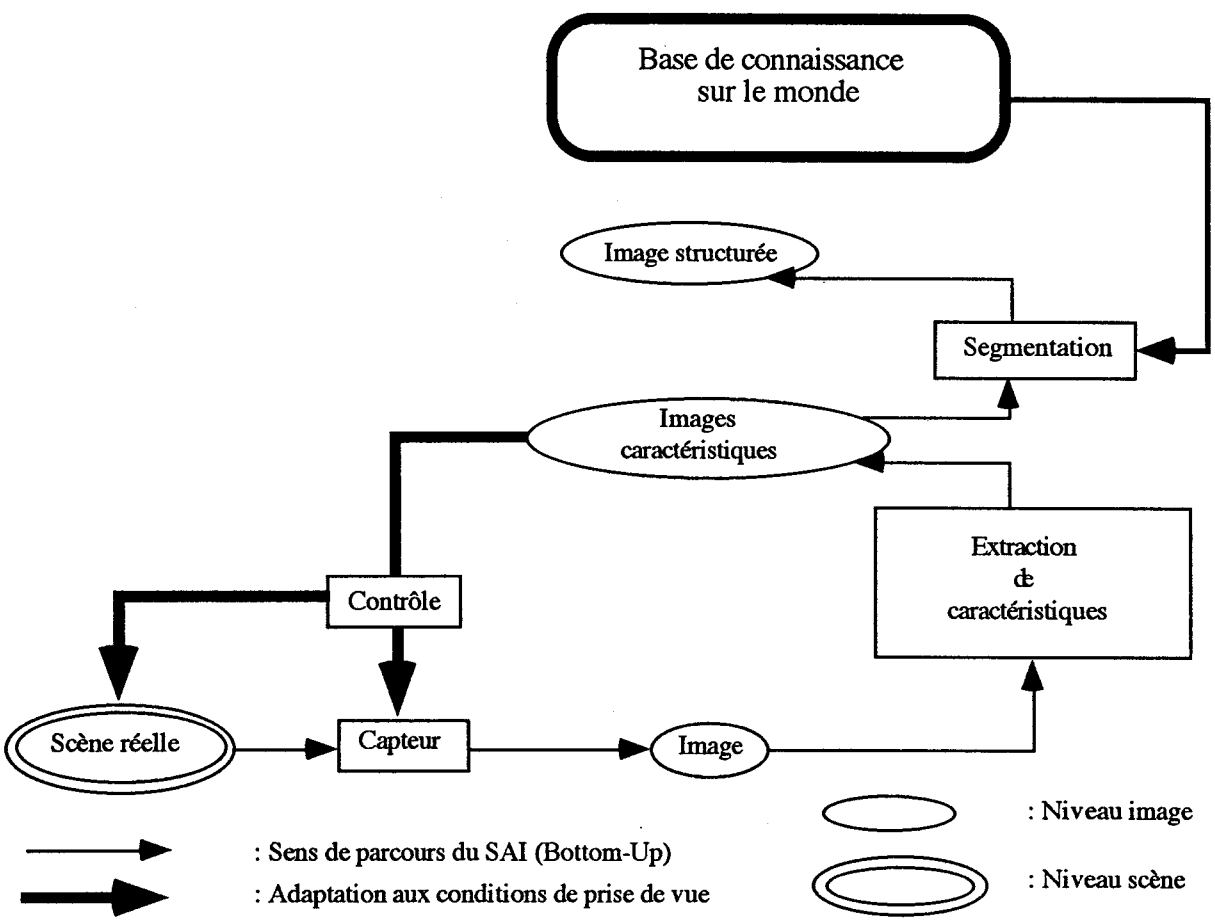


Figure IV.5: Processus de TI

Un ensemble d'opérations est nécessaire pour extraire les caractéristiques d'une image. Tout d'abord, nous avons un travail de filtrage pour éliminer le bruit de l'image perçue. Le résultat est

une image filtrée. Sur celle-ci, nous choisissons d'appliquer certaines opérations pour faire ressortir soit:

- des points caractéristiques (position d'une sous image, point de contour),
- des contours spécifiques (droite, arc de cercle),
- des régions caractéristiques.

La capacité d'extraire tel type de caractéristiques dépend principalement de la qualité de la prise de vue. Un mauvais éclairage ou un objectif mal focalisé rend difficile par exemple une extraction de contour.

Des traitements, telle que l'analyse de l'histogramme d'une image permettent de juger de la qualité d'une prise de vue. Dans notre cellule, lorsque l'éclairage est insuffisant, il est détecté grâce à l'analyse de l'histogramme et signalé à l'opérateur qui peut alors intervenir en conséquence.

Une fois l'image filtrée, les algorithmes d'extraction de caractéristiques peuvent être entrepris. Suivant l'algorithme, l'information résultante peut être plus ou moins dense. L'opération de "Segmentation" est là pour ne conserver que les caractéristiques pertinentes et donner l'image structurée.

L'opération de segmentation se trouve fortement simplifiée à partir du moment où l'on connaît a priori le monde observé. Nous verrons dans le processus de TI de notre application que la connaissance des couleurs possibles pour les cols a fortement influencé le choix de l'algorithme d'extraction des contours.

IV.2.2 Processus de reconnaissance d'objets (RO)

La reconnaissance d'objet effectue une mise en correspondance entre les informations présentes dans l'image structurée et les modèles abstraits des objets recherchés (cols, l'indicateur de taille sur la machine à coudre, ...). Sans modèle de référence pour l'objet recherché, il est impossible de le retrouver dans une image.

Les méthodes de mise en correspondance utilisées par le processus de RO détermine entièrement les structures à recherchr lors du TI.

Depuis les débuts de l'analyse d'image, un grand nombre de modélisations d'objet ont été mises au point avec les méthodes de mise en correspondance associée. Nous citerons à titre d'exemple:

- Définition d'un vecteur de paramètres caractéristiques. La technique de mise en correspondance peut être une simple égalité, un calcul de corrélation ou bien une méthode de classification.

- Description et reconnaissance symbolique avec utilisation des techniques d'IA.

Pour une application donnée, le choix de la modélisation dépend beaucoup des objets à reconnaître. Plus encore que pour le processus de TI, la RO est influencée par la connaissance du monde dont sont extraits les objets à reconnaître (cf. figure IV.6).

BU LILLE

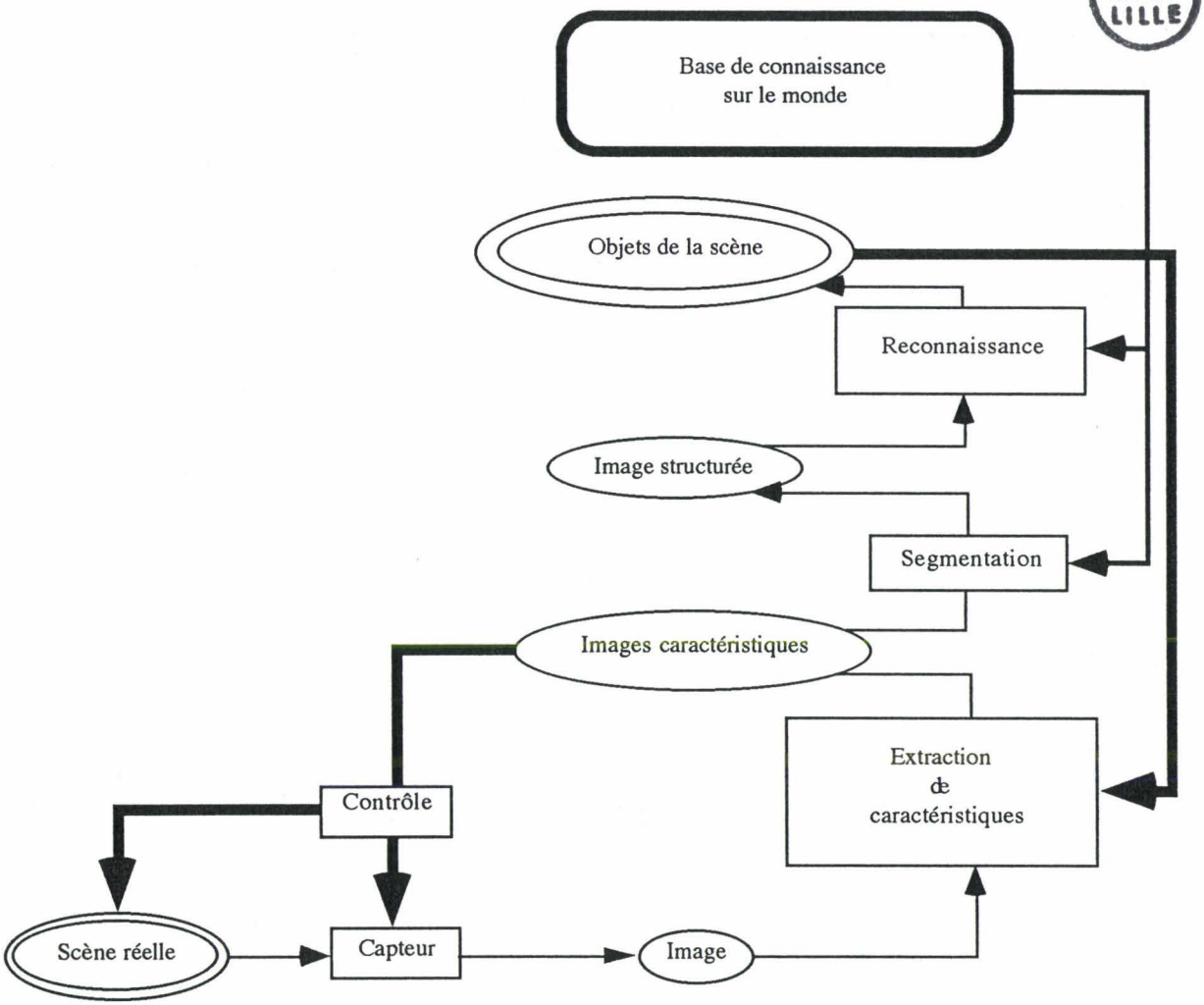


Figure IV.6: Processus de RO

Le processus de RO est le trait d'union entre les informations au niveau image (pixel, région, surface) manipulées lors du TI et l'aspect sémantique de la description d'une scène fournie par le SAI. (col, maison, quartier).

IV.2.3 Processus d'Interprétation d'une Scène (IS)

Le résultat que doit fournir un SAI ne se limite pas uniquement à la liste des objets reconnus dans la scène. Le processus de RO remplit déjà cette tâche.

Un SAI doit reconstruire la scène réelle à partir de ce qui a pu être reconnu par le processus de RO et de ce qu'il connaît sur le monde observé. L'observation d'une table avec des couverts entourée de chaises laisse supposer que la scène observée est une salle à manger. Le processus d'IS analyse les relations fonctionnelles et géométriques des objets présents pour donner une interprétation subjective de la scène observée (cf. figure IV.7).

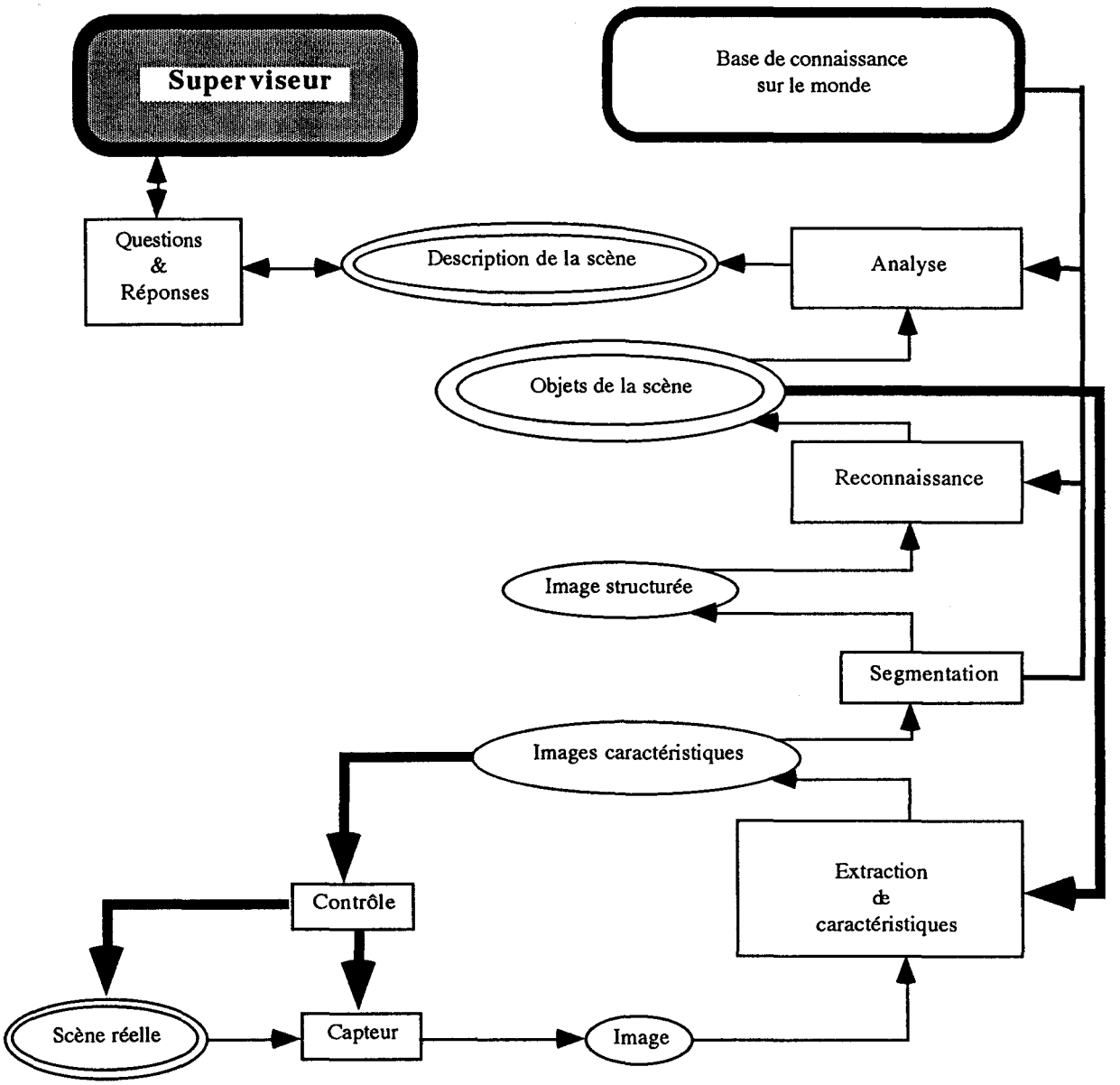


Figure IV.7: Système d'analyse d'image avec les trois étapes (TI, RO, IS)

Seule une bonne connaissance du monde réel permet cette extrapolation à partir des informations fournies par la caméra.

La finalité du processus d'IS d'un SAI est de répondre aux questions du superviseur. Ces questions peuvent être du genre:

- Est-on en mesure d'assembler un col?
- Quelle pièce du col manque-t-il sur la plate-forme d'assemblage?

IV.3. SPÉCIFICATIONS DES PRISES DE VUE DE LA PLATE-FORME D'ASSEMBLAGE

Dans le cadre de notre cellule flexible, le problème du SAI est moins lié à la diversité ou complexité des scènes à analyser qu'au temps d'analyse. Le monde observé est moins complexe par rapport à d'autres applications. Nos travaux dans le développement du SAI touchent surtout les étapes TI et RO.

Le monde observé par la caméra est la plate-forme d'assemblage. Ce monde respecte un certain nombre de règles que nous pouvons qualifier de contraintes naturelles. Ce sont ces contraintes qui vont permettre au processus d'IS de construire la description de la scène:

- Les types des objets qui peuvent être présents sur la plate-forme sont strictement réglementés (cf. figure IV.8).
  - L'indicateur de taille qui intervient dans les phase de réglage de la machine à coudre.
  - Les pièces constitutives du col dont les formes théoriquement possibles sont toutes bien définies.
- Aucun des types des objets à reconnaitre ne possède une épaisseur importante.

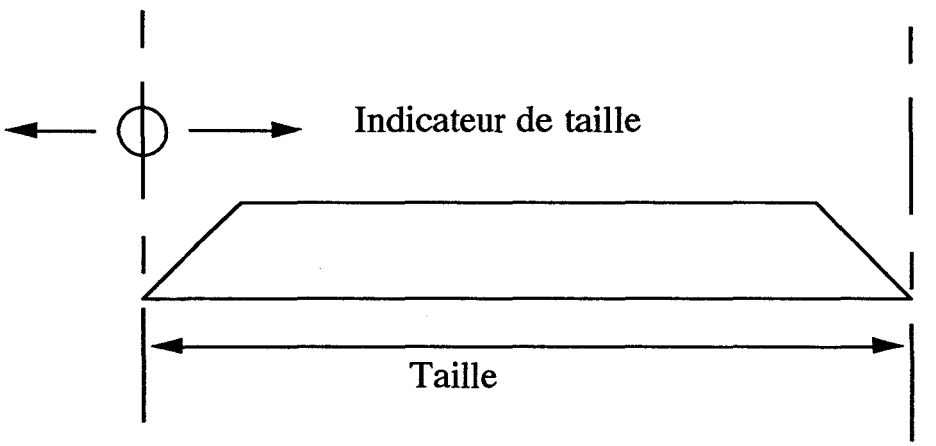


Figure IV.8: Les objets constituant le monde réel appréhendé.

- La position des objets sur la plate-forme est mécaniquement contraint:
  - L'indicateur de taille circule sur le haut de la scène.
  - Les pièces du col à assembler sont disposées transversalement par rapport à la prise de vue.

• Les pièces de tissu sur la plate-forme d'assemblage sont toujours dans des régions bien circonscrites R1,R2,R3 (cf. figure IV.9).

Une pièce hors des régions R1,R2,R3 ou un manque de pièce dans ces régions correspond à un défaut de chargement de la plate-forme d'assemblage.

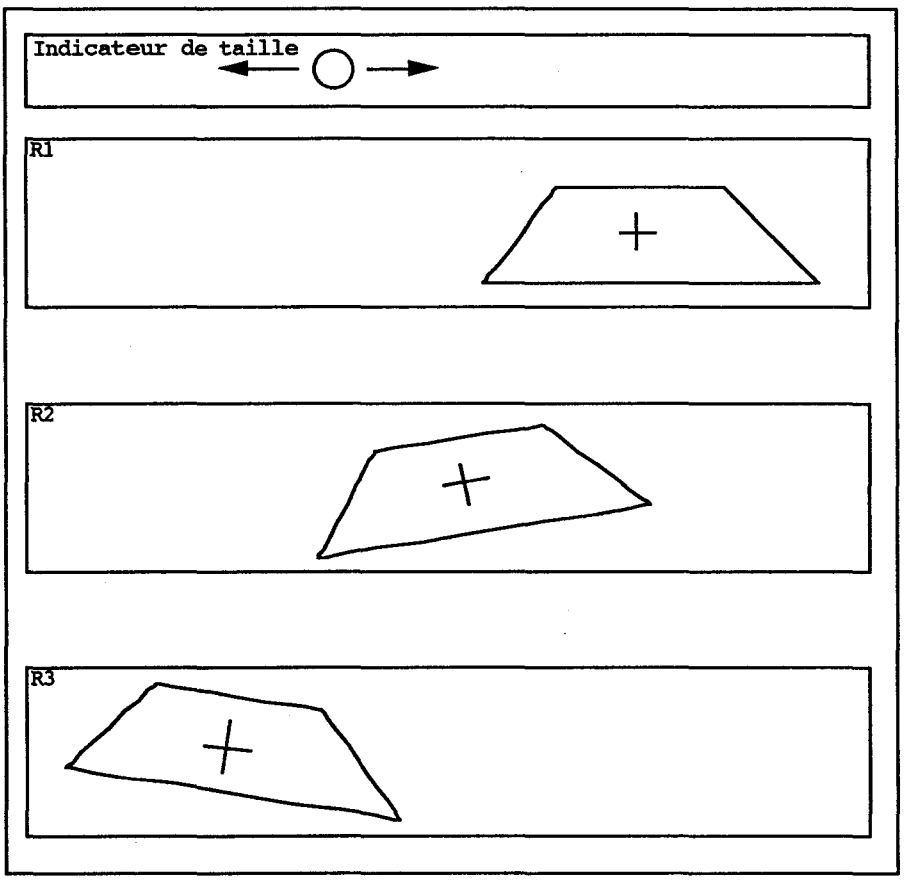


Figure IV.9: Dispositions possibles des objets sur la plate-forme d'assemblage.

- Habituellement, le tissu utilisé pour les chemises est uni et de couleur claire. Néanmoins, certains tissus de fantaisie comme celui présenté par la figure IV.10 peuvent être utilisés. Le SAI doit fonctionner quelque soit le tissu employé pour les pièces du col de chemise.

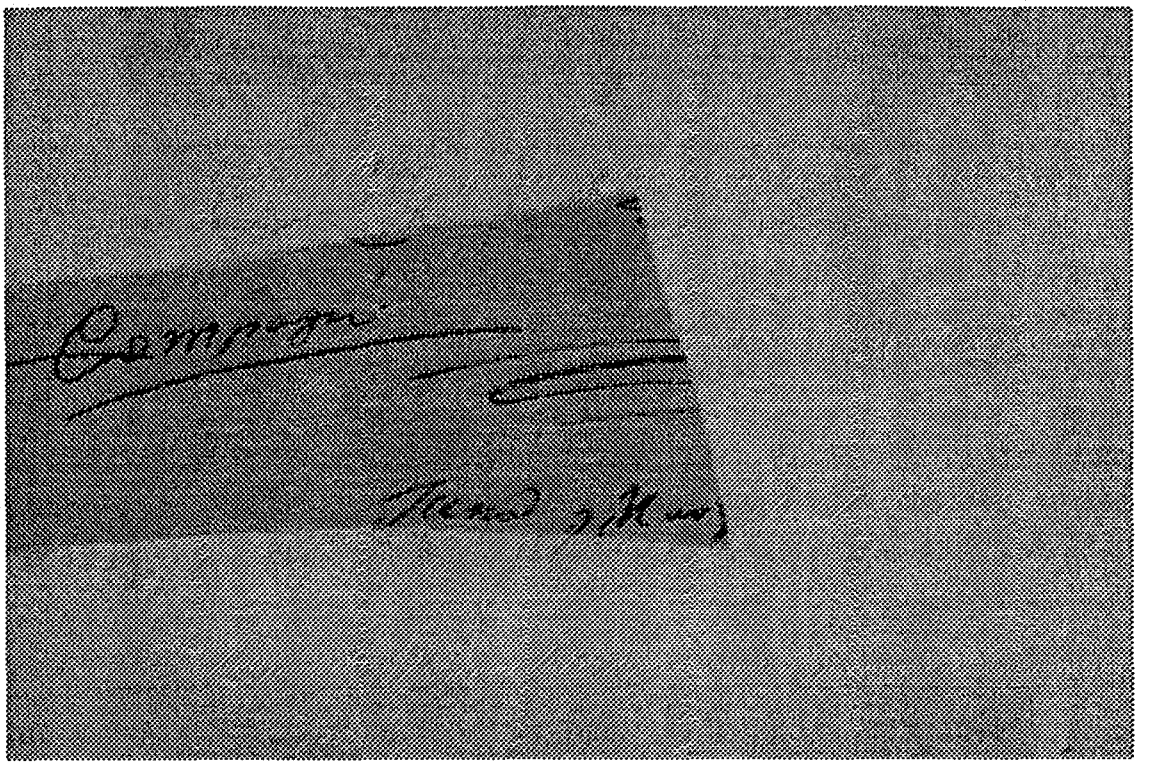


Figure IV.10 : Col fantaisie

Pour la grande majorité des applications industrielles, le monde observé par les systèmes d'analyse d'image est fortement contraint. Ceci a permis d'utiliser des algorithmes spécifiques pour les trois étapes TI, RO et IS aux temps d'exécution plus rapides.

Dans notre application, les questions auxquelles doit répondre le SAI sont:

- Le dépilage sur la plate-forme s'est il bien passé?
- A-t-on toutes les pièces pour assembler un col?
- Quelle pièce manque-t-il pour pouvoir assembler le col?
- Déterminer la position et l'orientation des pièces, pour commander le robot d'assemblage.
- Compte tenu de la coupe et du type du motif, est-il possible d'assurer la symétrie du motif sur les pointes du col? Dans le cas d'une réponse positive, le SAI doit determiner la correction à apporter durant l'assemblage pour obtenir cette symétrie?

Pour réaliser le système d'analyse d'image de notre application, nous avons tout abord étudié les solutions existantes pour chacune des étapes TI, RO et IS. Aucune solution n'a été entièrement satisfaisante. Nous avons donc développé des heuristiques spécifiques pour répondre aux contraintes de notre application. La dernière question, relative aux cols faits sur tissu à motif, fera l'objet du chapitre V.

Le paragraphe qui suit traite en premier lieu du processus RO car, comme nous l'avons dit précédemment, il définit les structures qui doivent être recherchées par le processus de TI. Ce dernier fait l'objet du paragraphe 5.

IV.4. LE PROCESSUS DE RECONNAISSANCE D'OBJETS (RO)

Le processus de reconnaissance d'objet (RO) est une mise en correspondance entre des informations caractéristiques d'une image et les modèles des objets connus du monde.

La forme d'un objet est une caractéristique intrinsèque de celui-ci. Une très grande majorité des méthodes de RO manipulent des caractéristiques images liées à la forme des objets (contour, topologie). Très peu de processus RO utilisent les autres caractéristiques intrinsèques d'un objet tel que la couleur ou la texture [KEND 84].

Généralement les SAI utilisés pour guider des robots d'assemblage ont un processus RO basé sur la forme des objets. Ceci s'explique simplement par le fait que l'information de position et orientation d'un objet est directement liée à la forme. La solution que nous avons adoptée respecte bien cette règle.

Même si les images traitées par un SAI sont une vision planaire du monde réelle, la troisième dimension est une information très importante pour le processus RO. En mettant de coté l'impact du processus de constitution d'une image sur la forme que va prendre l'objet dans l'image, la figure IV.11 montre déjà l'influence de la troisième dimension. Ce phénomène augmente la difficulté du processus RO puisque à un objet correspondent plusieurs formes.

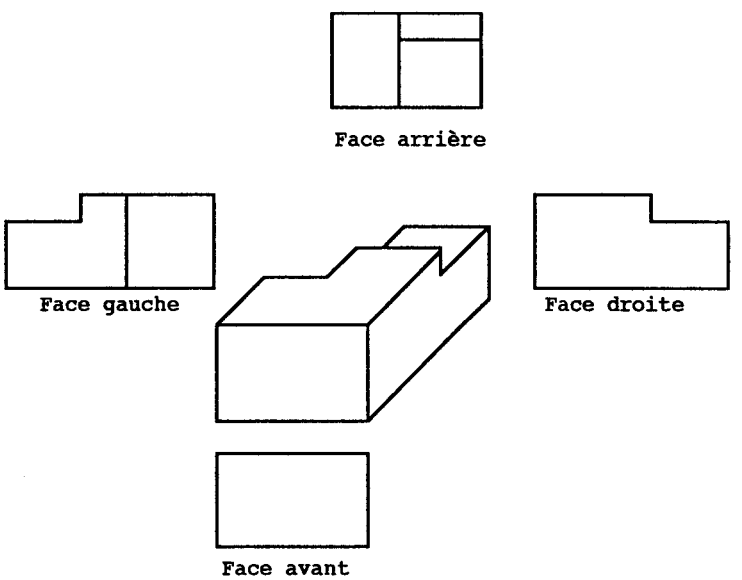


Figure IV.11 : Importance de la troisième dimension dans le processus RO (formes différentes)

L'impact de la troisième dimension persiste quelque soit la caractéristique retenu pour reconnaître un objet. La figure IV.12 montre que la texture ou la couleur peut aussi évoluer sous l'effet conjugué de la troisième dimension et de l'éclairage.

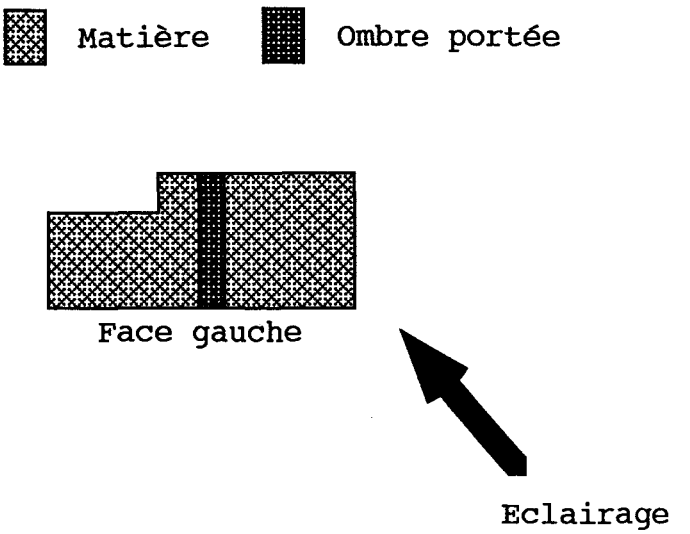


Figure IV.12 : Importance de la troisième dimension dans le processus RO (couleur ou texture différentes)

Les contraintes naturelles liées au poste de coulissage de col de chemise font que nous ne sommes pas confrontés aux problèmes de la troisième dimension pour notre SAI. Tous les objets à reconnaître sont plans. Pour les autres applications la solution est de toujours présenter les objets sous le même angle de vision grâce à un positionnement mécanique.

Nous verrons dans le paragraphe 5 comment les informations de forme, et plus spécifiquement celle du contour, peuvent être extraites d'une image. Le travail du processus RO, présenté dans ce chapitre, est d'étudier toutes ces informations pour, dans un premier temps, décrire et apprendre une forme et, ensuite, être en mesure de la reconnaître.

Dans la suite de ce paragraphe 4, nous étudions plusieurs méthodes de RO qui répondraient aux spécifications du SAI de notre cellule flexible automatique d'assemblage de col. Toutes ces méthodes ont en commun les deux spécifications suivantes:

- elles utilisent les contours fermés comme informations caractéristiques d'une forme;
- elles peuvent fournir la position et l'orientation des formes.

IV.4.1 Description d'une forme par une série de Fourier

Les modélisations de forme d'objet basées sur l'utilisation de la série de Fourier sont nombreuses ([ZAHN 72], [PERS 74], [KUHL 82], [LIN 87]). Elles utilisent une fonction périodique extraite du contour de la forme. La figure IV.13 et IV.14 montre un exemple simple de fonction périodique extraite du contour d'une forme.

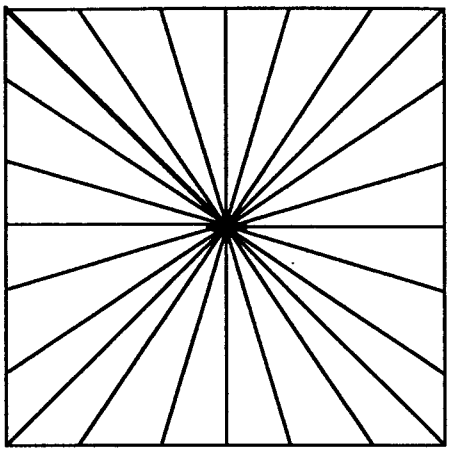


Figure IV.13 : Exemple de fonction périodique associée au contour d'un carré (distance par rapport au centre de gravité)

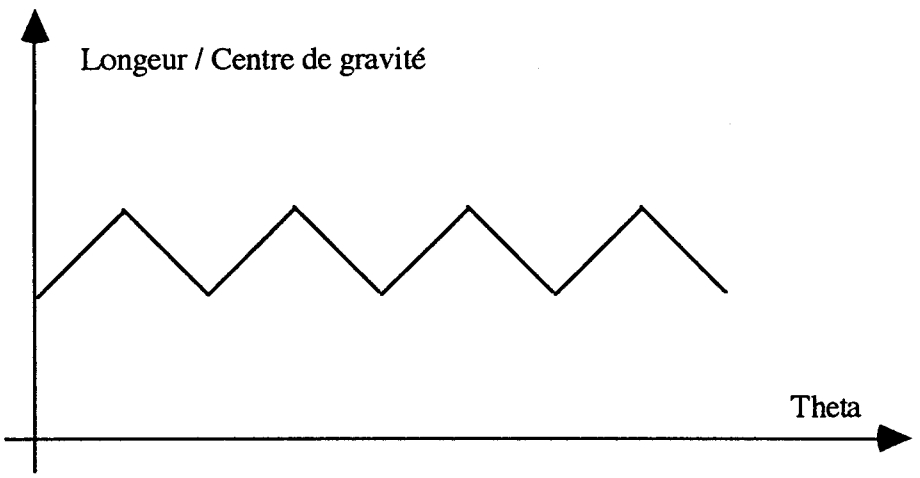


Figure IV.14 : Représentation de la fonction périodique définie figure IV.13

Ce type de modélisation dans le domaine fréquentiel est d'autant plus précis et non ambigu qu'un nombre important de coefficients de la série de Fourier est calculé. L'utilisation d'harmoniques élévés rend la méthode sensible au bruit présent sur le contour.

L'information de déphasage de la fonction périodique par rapport à une référence permet de déterminer l'orientation de la forme étudiée.

Le centre de gravité est utilisé pour définir la position des cols de chemise sur la plate-forme d'assemblage.

La description d'une forme par une série de Fourier est une méthode précise. La paramétrisation du contour et la grande quantité de calcul relatif à la série de Fourier sont les points délicats de la méthode.

IV.4.2 Description d'une forme par des moments invariants

C'est à partir des travaux de HU [HU 62] que des moments bidimensionnelles m_{pq} d'une image ont commencé à être utilisés.

Au début, les moments ont été utilisés pour comparer deux images entre elles (au niveau de l'intensité pixel) [WONG 78]. Une des premières applications a été la reconnaissance de caractère.

En travaillant sur des images binaires (0=fond, 1=forme), l'utilisation des moments a été étendue à la reconnaissance de forme. Les moments d'une forme donnent une information géométrique sur celle-ci, cela peut être assimilé à un calcul d'élongation (information topologique).

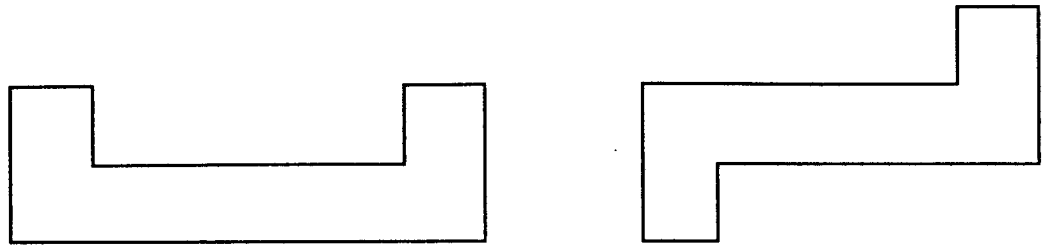
Le calcul des moments est basé sur des intégrales de surfaces. Le temps de calcul nécessaire devient très vite très important. Grâce au théorème de GREEN qui permet de transformer les intégrales de surfaces, pour les calculs des moments m_{pq}, en intégrales curvilignes [BROW 79],[ZAKA 87], l'utilisation des moments a connu un second souffle.

Un nombre limité de moments suffit à décrire une forme. Certains moments ont des significations précises connues:

- m_{00} : Surface de la figure;
- $\left(\frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}}\right)$ coordonnées du centre de gravité si la figure ne comporte pas de trou intérieur.

Les axes principaux d'inertie d'une forme sont ceux par rapport auxquels (m_{20}, m_{02}) sont maximaux. Ces axes peuvent être utilisés pour définir un repère orthogonal. Comme les axes d'inertie sont fortement liés à la forme, l'orientation de la forme peut être associée à l'orientation du repère des axes principaux d'inertie. Il est donc possible à partir des moments d'inertie de calculer l'orientation d'une forme.

Il faut souligner que le calcul d'orientation ci-dessus perd toute signification si la forme présente une symétrie circulaire par rapport à son centre de gravité (cf. figure IV.15).



Non symétrie par rotation

Symétrie par rotation de ∏

Figure IV.15 : Formes typiques

Ce cas de figure ne se présente dans aucune des formes de l'ensemble des types des objets à reconnaître sur la plate-forme d'assemblage.

Le lecteur trouvera en annexe II les formules qui permettent de calculer les moments bidimensinnelles d'une forme à partir de son contour .

La description d'une forme par des moments invariants connaît toujours un intérêt auprès des scientifiques qui étudient de nouveaux moments [YASE 84]. C'est une méthode de description moins discriminante que d'autres mais avec des temps de calcul plus faible. Ces temps de calcul restent néanmoins prohibitifs pour être envisagés dans le cadre de notre cellule flexible automatique d'assemblage de col.

IV.4.3 Description d'une forme par la transformation de Hough généralisée

La transformation de Hough simple [HOUG 62] est une méthode de détection de tronçon de forme. Elle se distingue pour sa relative insensibilité au bruit et sa capacité à reconnaître des tronçons partiellement apparent dans une image (cf. annexe III).

Au début, son utilisation dans le domaine de l'analyse d'image a été hésitante. Cette technique était limitée à la détection de tronçons élémentaires:

- droite , cercle et tronçon de cercle [DUDA 72]
- polygone [DAVI 86],[DAVI 87].

Une fois la complexité de la méthode surmontée, elle a fait l'objet de nombreuses publications. J. ILLINGWORTH a publié un gros travail bibliographique sur ce domaine [ILLI 88].

Il existe aujourd'hui une version plus générale de la transformation de Hough [DAVI 87],[BALL 81], qui permet la reconnaissance de formes quelconques (cf. annexe III).

L'algorithme utilise un échantillon de contour de la forme à reconnaître. A partir de celui-ci, il est en mesure de reconnaître la forme même si elle à subi une translation, une rotation et/ou une homothéthie. Les coefficients de ces transformations peuvent être retrouvés avec précision.

Cet algorithme permettrait de reconnaitre aisément les pièces du col de chemise présentes sur la plate-forme d'assemblage même si le contour est fortement bruité ou comporte des ruptures. L'inconvénient majeur actuel de la transformation de Hough est le temps de calcul que représente la gestion et l'interprétation des résultats du plan de Hough (cf. annexe III).

IV.4.4 Description géométrique d'une forme

Toutes les méthodes de modélisation que nous avons vues jusqu'ici sont performantes mais ne répondent pas aux spécification de temps de calcul qui permettraient de les utiliser dans notre cellule. Nous nous sommes donc tournés vers des méthodes aux performances moins importantes telle la modélisation d'une forme par description géométrique.

Nous qualifions de géométrique toute description de forme qui utilise une distance quelconque.

La distance entre deux points d'un plan doit vérifier les conditions suivantes:
d(x,y) = 0 si et seulement si x=y;
d(x,y) = d(y,x);
d(x,y) + d(y,z) >= d(x,z).

Une des distances la plus connue est la distance Euclidienne. Soit P1=(x_1, y_1) et P2=(x_2, y_2), la distance entre P1 et P2 s'écrit:

$$d_E(\mathrm{P1},\mathrm{P2}) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \qquad \text{(IV.1)}$$

Deux autres distances sont aussi bien utilisées, il s'agit du:

- Calcul de la différence en valeur absolue

$$d_A(\mathrm{P1},\mathrm{P2}) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \qquad \text{(IV.2)}$$

- Calcul du maximum de la différence

$$d_M(\mathrm{P1},\mathrm{P2}) = \max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\} \qquad \text{(IV.3)}$$

Sur la figure IV.16, pour chacune des mesures de distance citées ci-dessus, nous avons la représentation graphique reliant tous les points du plan situés à une distance unitaire de l'origine.

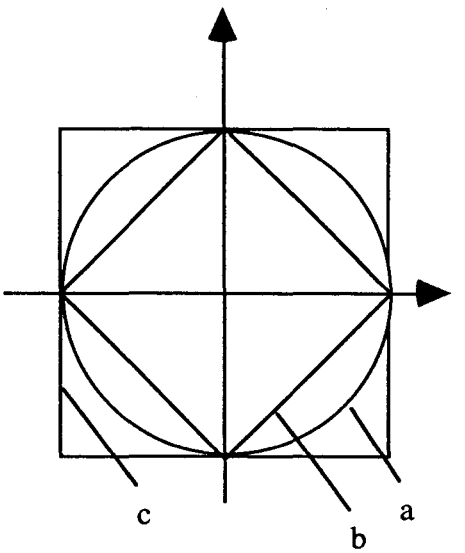


Figure IV.16 : Courbes d'"iso-distance" unitaire (Euclidienne (a), Différence absolue (b), Maximum (c))

La distance est le calcul de base de plusieurs paramètres géométriques simple d'une forme telle:

- le périmètre,
- la surface.

Ces paramètres sont des indices de forme qui peuvent être utilisés à reconnaître une forme dans une image.

Ces paramètres se calculent directement à partir des pixels du contour. Des algorithmes puissants ont été développés pour les calculer tout en suivant le contour d'une forme [FREE 74]. Ce sont des paramètres moins discriminants que les harmoniques d'une série de Fourier mais beaucoup plus simples et plus rapides à calculer.

Les deux paramètres, périmètre et surface, peuvent être combinés pour donner une mesure de compacité de la forme décrite:

$$T = 4.\pi.\frac{S}{P^2} \qquad \text{(IV.4)}$$

Ce paramètre, connu depuis l'antiquité, vaut 1 dans le cas du cercle. Pour les polygones équilatéraux (triangle équilatéral, carré, hexagone équilatéral), la valeur de T est donnée par l'équation:

$$T = \frac{\pi}{n} . \cot\left(\frac{\pi}{n}\right) \qquad \text{(IV.5)}$$

ou n est le nombre de cotés.

Nous venons de voir quelques paramètres géométriques simples qui peuvent servir de modèles pour le processus de RO. Le modèle prend la forme d'un vecteur caractéristique.

Pour que cette méthode de modélisation puisse être utilisée dans le SAI de notre cellule d'assemblage, il faut pouvoir déterminer l'orientation de la forme comme toutes les méthodes précédemment décrites. La modélisation géométrique seule ne le permet pas. Nous proposons dans le paragraphe suivant une heuristique simple pour résoudre la question de l'orientation. Elle utilise des points de contour à propriété topologique prédéfinie.

IV.4.5 Propriété topologique des points de contour d'une forme

Dans ce paragraphe nous allons éclaircir la notion de propriété topologique pour les points de contour d'une forme. Elle nous permettra de décrire l'heuristique que nous avons employé pour déterminer l'orientation des pièces du col.

L'expression "propriété topologique" existe au niveau d'une forme. De façon purement théorique, le caractère topologique d'une forme est invariant aux déformations non linéaires du contour de la forme. La figure IV.17 représente trois figures identiques au niveau topologique.

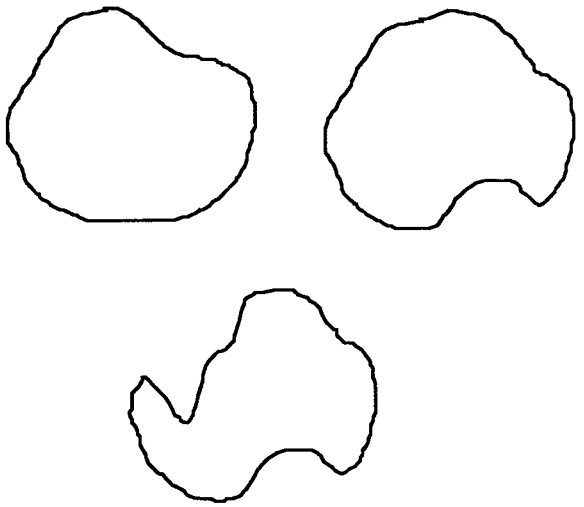


Figure IV.17 : Formes identiques d'un point de vue topologique

Dans toutes les méthodes de description de forme vues jusqu'ici, le terme "forme d'un objet" est implicitement associé à l'enveloppe extérieure. Cela n'a aucun caractère d'obligation et il est tout à fait possible de tenir compte des contours intérieurs. Dans une description topologique, les contours intérieurs avec les régions qu'ils définissent sont importants.

Une région connexe est une région dont toutes les paires de pixels peuvent être reliées sans sortir de la dite région. Cette définition est à relier au théorème de Jordan qui déclare que toute courbe fermée sépare un plan en deux régions connexes distinctes (l'intérieur et l'extérieur) (cf. figure IV.18).

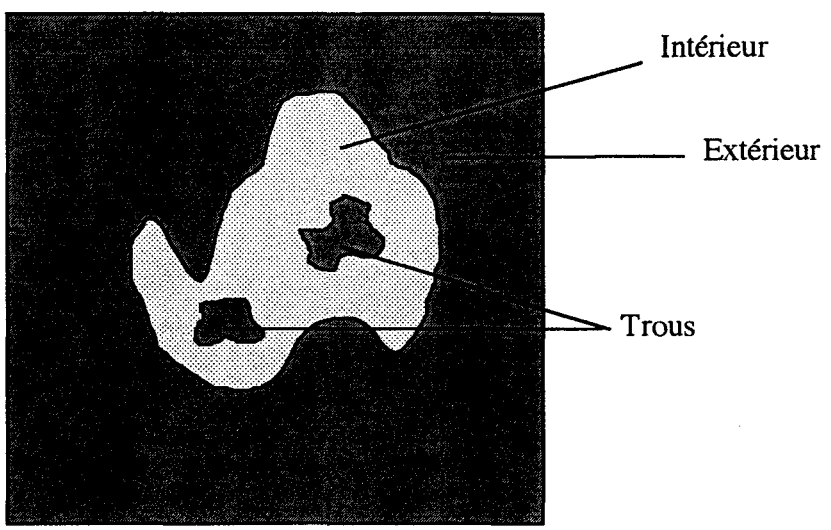


Figure IV.18 : Régions connexes d'une forme

Le nombre de régions connexes d'une forme est le caractère topologique le plus simple. Dans le même style il peut être plus intéressant d'utiliser le nombre de régions connexes intérieures ou nombre de trous.

Comme autres propriétés topologiques, nous citerons le nombre d'Euler qui correspond à la différence du nombre de régions connexes avec le nombre de trous. Ce paramètre topologique est intéressant dans la description d'image complexe avec plusieurs formes. Dans le cas d'un seul objet, comme les pièces du col, il vaut toujours 1.

Le modèle topologique des pièces du col de chemise est simple: une seule région connexe. Sa vérification n'a d'intérêt que dans un contrôle qualité supplémentaire. Par contre, certains points de contour aux propriétés topologiques particulières nous sont très utiles dans la détermination de l'orientation des pièces du col.

Une observation du contour de la forme des pièces du col de chemise (cf. figure IV.16), fait ressortir que l'orientation de celle-ci peut être associée à la pente d'un segment reliant deux points caractéristiques du contour. Cette caractéristique se retrouve dans une grande majorité des pièces de confection (poignet, poche, etc....).

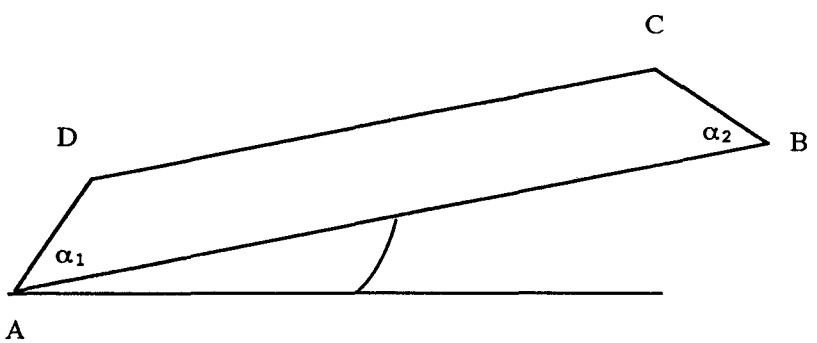


Figure IV.19: Topologie du contour des pièces d'un col

La détermination de l'orientation consiste à détecter ces points caractéristiques dans l'ensemble des points de contour. Nous remarquons aisément sur la figure IV.19, que l'orientation peut être assimilée à l'inclinaison du segment reliant les points (A, B).

Pour extraire le bipoint (A,B) du contour, plusieurs méthodes sont envisageables:

- Calculer la courbure en chacun des points du contour. Pour les points (A, B) , nous avons un angle obtu bien spécifique. Il existe de nombreux travaux sur l'analyse de la courbure d'une forme [DAVI 77, ROSE 71, ROSE 73].
- Utiliser la transformation de Hough pour segmenter l'ensemble des points de contour en quatre droites et retrouver ainsi les coordonnées des points d'intersection de ces droites.

L'emploi d'une de ces méthodes existantes pour extraire le bipoint (A,B) du contour nous conduit à perdre tout le bénéfice, en terme de temps de calcul, qu'il y aurait à utiliser le modèle géométrique pour la RO. Ce point nous a poussé à trouver une heuristique simple utilisant au maximum la connaissance dont nous disposons sur le monde réel observé.

Les contraintes mécaniques auxquelles sont soumises les pièces du col lors du chargement sur la plate-forme d'assemblage leur confèrent une propriété topologique spécifique. Les points A et B sont toujours les points extremums droit et gauche de l'ensemble des points de contour. Cette caractéristique associée à un point de contour a l'avantage d'être très facilement vérifiée pour chaque point de contour.

C'est cette heuristique utilisant la propriété topologique des points A et B et la RO sur la base d'un modèle géométrique qui rend le SAI capable de répondre aux questions du superviseur dans le temps de cycle de la machine à coudre.

Comme nous avons pu le voir, le modèle géométrique d'une forme, ainsi que tous les autres modèles présentés dans ce paragraphe, nécessitent la connaissance des points de contour de la forme décrite. Dans le paragraphe suivant, nous allons voir les différentes opérations du processus de TI permettant d'obtenir ces points dans une image.

IV.5. LE PROCESSUS DE TRAITEMENT D'IMAGE (TI)

Dans un processus de TI, nous distinguons trois étapes:
- la formation de l'image brute;
- le filtrage pour corriger les imperfections de l'image brute (bruits, défauts d'éclairage);
- l'extraction de caractéristiques.

IV.5.1 La formation de l'image brute

La formation de l'image de la plate-forme d'assemblage consiste à obtenir la fonction échantillonnée de l'intensité lumineuse f(D) que reflète la plate-forme. Cette image se présente sous la forme d'un tableau F de n lignes et p colonnes.

Dans le cadre de notre cellule, nous avons opté pour la technique des caméras matricielles CCD (Charge Coupled Device) à la place des caméras linéaires pour deux raisons:

Bien que le mouvement de translation de la plate-forme permette une saisie linéaire de l'image, la commande mécanique du déplacement de la plate-forme doit alors être très précise. Ceci rend la solution linéaire plus onéreuse.

- Le gain de précision que peut apporter le linéaire n'est pas nécessaire. La configuration matricielle mise en place (image 512x512 pour une plate-forme de 600x500 mm) assure totalement la précision requise lors des opérations d'assemblage.

Nous travaillons sur des images à 256 niveaux de gris. Cette précision est bien supérieure aux besoins de l'application mais c'est le standard pour tous les matériels de TI du marché.

La figure IV.20 montre l'architecture de la chaîne de formation des images dans notre cellule flexible.

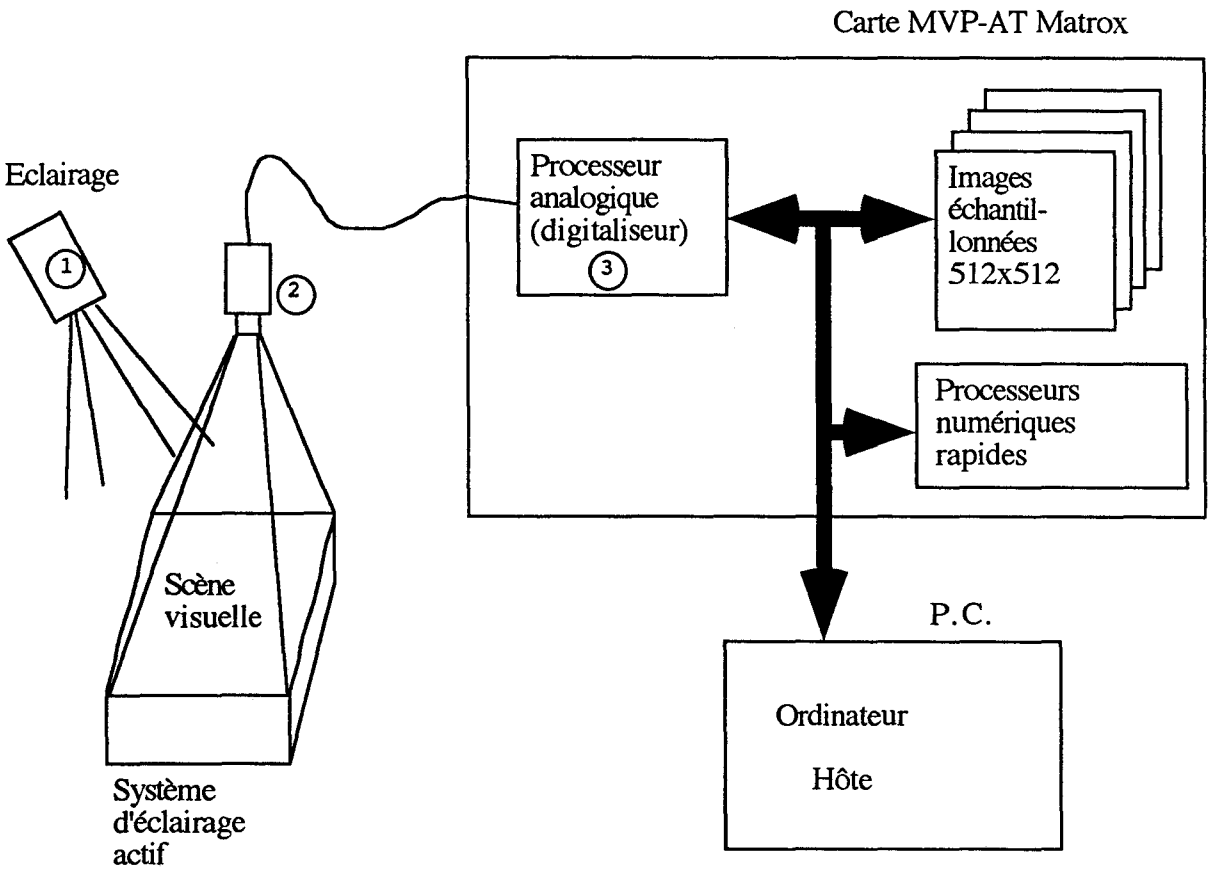


Figure V.20: Architecture matériel

Le système d'éclairage est un composant important de l'architecture matériel d'une chaîne de formation d'image. Nous désignons par système d'éclairage actif, un éclairage qu'il est possible de régler compte tenu des résultats des processus de TI ou de RO.

IV.5.2 Le filtrage de l'image brute

Dans une chaîne de production d'images, il y a plusieurs points sensibles générateurs de bruits. Nous entendons, par bruits, les effets indésirables pouvant altérer le bon fonctionnement d'une des étapes d'un SAI. Les points critiques, générateurs de bruits, ont été numérotés sur la figure IV.20. Dans l'ordre d'influence, nous avons:

La focale d'une caméra introduit inévitablement des déformations sur les bords de l'image échantillonnée par rapport à la scène réelle.

La scène peut subir des variations d'illumination, surtout si elle n'est pas protégée de la lumière extérieure. Une éclaircie du soleil ou une faiblesse du système d'éclairage modifie l'image obtenue.

La dernière source de bruit et non la moindre est le bruit électronique lors de l'échantillonnage. Cela donne aléatoirement à certains pixels de l'image une valeur d'intensité erronée.

Face au bruit, deux attitudes sont possibles:

- Une première solution est de corriger l'image avant d'entamer l'étape d'extraction de caractéristiques. Il s'agit d'une opération de filtrage. Nous allons donner quelques méthodes classiques connues et justifier celle effectivement utilisée.
- L'autre solution est d'utiliser des algorithmes d'extraction de caractéristiques dont les performances soient le moins sensibles possibles aux bruits. Cet aspect sera vu avec les méthodes d'extraction de caractéristiques.

Comme dans beaucoup de SAI, nous pratiquons une utilisation conjointe des deux approches. Concernant le filtrage de l'image brute, nous exposons ci-dessous, pour chaque type des bruits possibles, un traitement possible:

Déformation de l'image par l'optique

Les problèmes d'optique sont bien connus et peuvent être modélisés. Cette modélisation permet de reconstruire l'image originale.

Comme le bruit dû à l'optique ne touche que les bords de l'image, nous avons négligé ce phénomène pour deux raisons:

- Les objets sont bien centrés dans l'image, et donc les déformations subies sont faibles.
- Les calculs pour reconstruire l'image originale à partir du modèle de l'optique sont très lourds.

Problèmes d'éclairage

Un défaut d'éclairage se modélise beaucoup moins facilement qu'un défaut d'optique. Les défauts d'éclairage se corrigent surtout en appliquant des transformations sur l'image bruitée. Une des transformations possible est l'égalisation d'histogramme :

- Égalisation d'histogramme
  L'histogramme d'une image est la fonction de répartition de tous les pixels suivant les valeurs de niveaux gris possibles.

Pour les scènes comportant des objets à distinguer, l'éclairage est bon si l'histogramme de l'image correspondante est une courbe "multimodale" bien distincte. Chaque mode correspond à une région connexe dans l'image.(cf. figure IV.21)

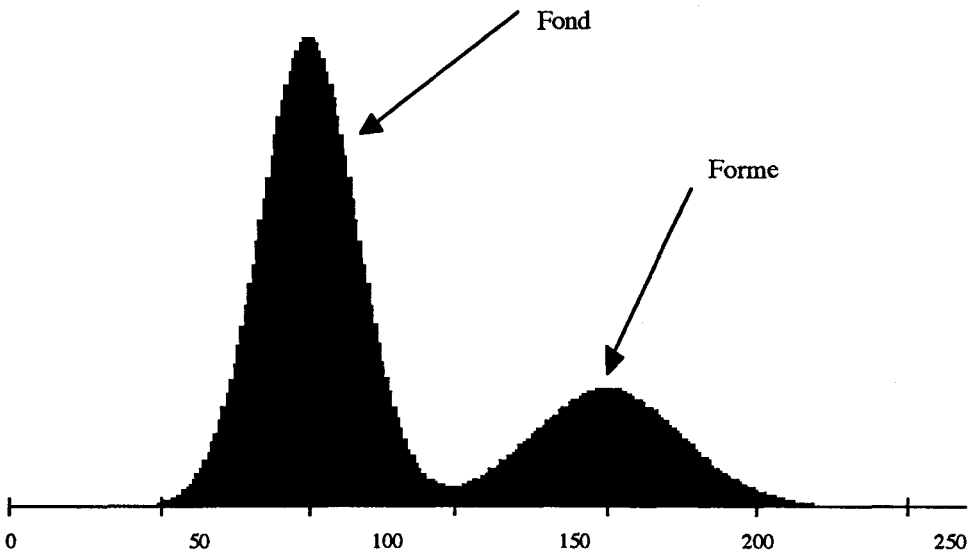


Figure IV.21: Exemple d'histogramme d'une image bien contrastée

Un défaut d'éclairage se traduit par une concentration des pixels (cf. figure IV.22) L'égalisation d'histogramme tente de transformer les intensités des pixels de l'image pour améliorer le contraste entre les régions connexes.

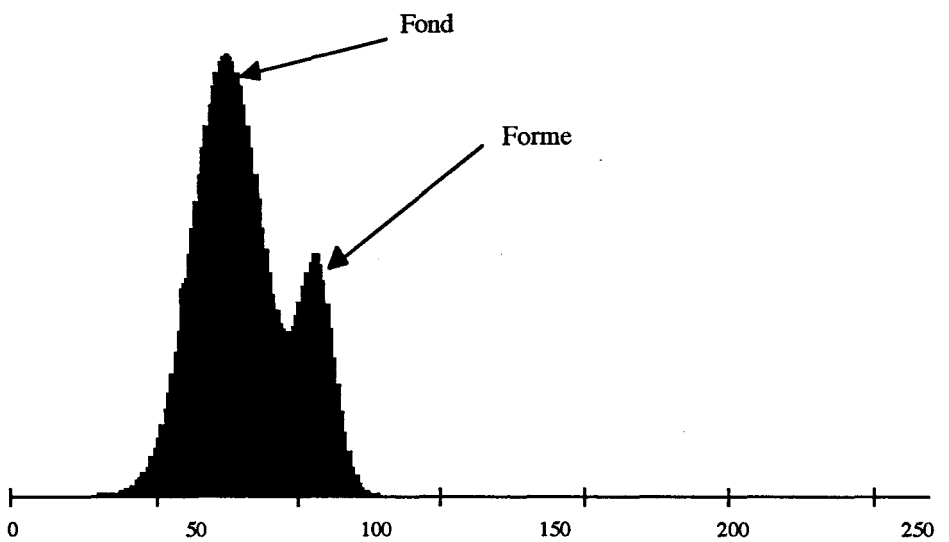


Figure IV.22: Exemple d'histogramme d'une image mal contrastée

Dans le cadre de notre cellule d'assemblage, deux cas de défaut d'éclairage peuvent se produire:

- Une panne du système d'éclairage,
- Col fait dans un tissu sombre ou comportant un motif de couleur sombre.

Ces défauts sont décelés par analyse de l'histogramme. L'analyse topologique de l'histogramme peut monter une trop grande concentration des modes. La réaction est soit d'émettre une demande de maintenance, soit d'avoir recours à l'éclairage rétroprojecté et analyser de nouveau l'amélioration de contraste obtenu.

Pour plus de détails sur les transformations concernant l'amélioration d'image mal éclairée, le lecteur peut se reporter à la bibliographie [BALLA 90,TOUM 87].

Bruit électronique

Le bruit électronique qui apparaît durant la digitalisation du signal analogique de la caméra se caractérise par des pixels ayant une intensité sans aucun rapport avec la luminosité du point correspondant dans la scène originale. Plusieurs solutions sont possibles avec leurs avantages et inconvénients respectifs:

- Calculer la tranformation de Fourier de l'image bruitée et appliquer un filtre passe bas

L'inconvénient est qu'un filtre passe bas peut supprimer des fréquences qui ne fassent pas partie du bruit (les transitions entre régions connexes d'intensité très différente correspondent aussi à des fréquences élevées dans le domaine fréquentiel). De plus, cette méthode nécessite beaucoup de temps de calcul.

- Appliquer un filtre spatial linéaire comme ceux de la figure IV.23 [DUDA 73].

$$M_1 = \frac{1}{9}.\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\end{bmatrix} \quad ; \quad M_2 = \frac{1}{10}.\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 2 & 1\\ 1 & 1 & 1\end{bmatrix} \quad ; \quad M_1 = \frac{1}{16}.\begin{bmatrix}1 & 2 & 1\\ 2 & 4 & 2\\ 1 & 2 & 1\end{bmatrix} \qquad \text{(IV.6)}$$

Figure IV.23: Filtres de convolution

Les filtres spatiaux linéaires sont beaucoup plus rapides que la T.F., mais ont toujours l'inconvénient d'atténuer toutes les fréquences élevées de l'image.

- Le filtre médian

L'application du filtre médian consiste à calculer, pour tout point de l'image, l'intensité médiane dans le voisinage de ce point. La taille de ce voisinage est souvent 3x3. Cette méthode non linéaire permet d'éliminer le bruit tout en conservant le contraste entre les régions de l'image. Le gain de performance vis-à-vis des filtres spatiaux linéaires se paie par un temps de calcul plus important.

- Filtrage temporel

Le niveau de gris en chaque point de l'image est la moyenne d'une série de niveaux gris obtenus successivement dans le temps pour ce point. Nous avons préféré cette méthode qui ne corrige que les points sur lesquels il y a des variations aléatoires. Cette méthode fournit de très bons résultats et est câblée sur la plupart des matériels. Une condition primordiale d'utilisation du filtrage temporel est que la scène soit parfaitement statique.

IV.5.3 Extraction de caractéristiques

Le processus de RO mis en œuvre dans notre cellule d'assemblage nécessite la connaissance du contour de toutes les formes présentes dans l'image. Le contour d'une forme est constitué de l'ensemble des pixels de contour connexes associés à la dite forme.

Des algorithmes de recherche de contour d'objet, directement à partir d'une image à niveau de gris, existent. Leurs performances sont très sensibles à la complexité de la forme des objets et au contraste de l'image. De bien meilleurs résultats sont obtenus en passant par une étape intermédiaire qui extrait d'abord les pixels de contour de l'image ("Extraction des pixels de contours d'une image"). Ceci doivent ensuite être rassemblés pour constituer un contour homogène ("Suivi des contours").

Nous avons choisi cette deuxième solution pour deux raisons. Premièrement, le processus de RO que nous utilisons nécessite le contour des objets avec une qualité importante et constante (non liée aux conditions de prise de vue) La deuxième raison est que la recherche de contour sur image à niveau de gris ne permet pas de faire la différence entre les pixels de contour local et les pixels de contour d'objet. Or seuls ces derniers sont nécessaires à la R.O. Les appellations "pixel de contour local" et "pixel de contour d'objet" vont être précisées au paragraphe suivant.

La suite du paragraphe comporte trois parties:

- Définition d'un pixel de contour;
- Extraction et suivi des pixels de contour;
- Nouvelle heuristique d'extraction et de suivi des pixels de contour basée sur l'utilisation de l'opérateur P2.

IV.5.3.1 Définition d'un pixel de contour

Concernant les pixels de contour présents dans une image, nous distinguons deux types:

- les pixels de contour local:
  Les pixels de contour local sont des pixels pour lesquels il existe un pixel voisin avec lequel il y a une grande différence d'intensité lumineuse. L'ensemble des pixels de contour local d'une image est défini par:

$$P_{cl} = \left\{ \forall h(x_i, y_i) \mid \Delta h(x_i, y_i) \neq 0 \right\} \quad \text{(IV.7)}$$

où

$h(x_i, y_i)$: intensité du pixel de coordonnée (x_i, y_i)

$\Delta h(x_i, y_i)$: variation de l'intensité au pixel de coordonnée (x_i, y_i)

- les pixels de contour d'un objet:
  Les pixels de contour d'un objet forment un sous ensemble connexe P_{co} de P_{cl}. Nous ne retenons ici que les pixels de jonction entre l'objet et son environnement extérieur souvent nommé fond.

La figure IV.24 montre l'image d'une pièce de col de chemise où apparait très nettement les deux types des pixels de contour.

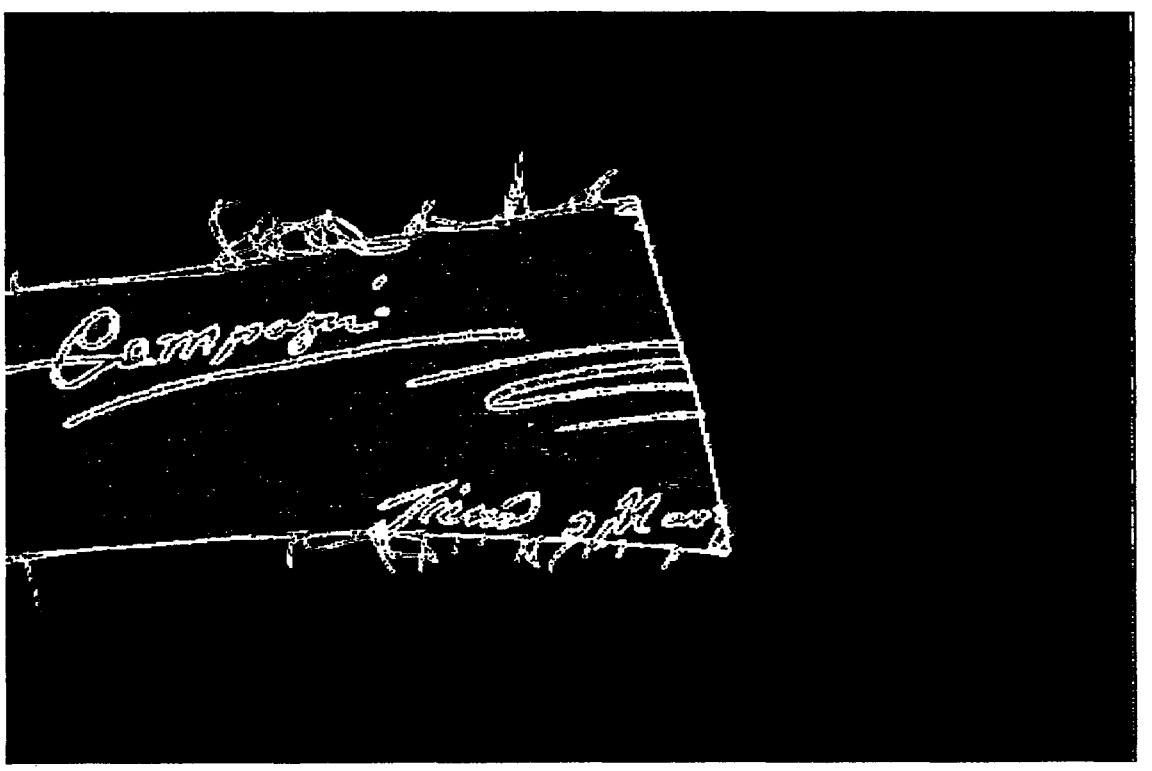


Figure IV.24: Col fantaisie avec pixels de contour local et contour externe

Pour l'analyse de la plate-forme d'assemblage, seuls les pixels de contour d'un objet sont nécessaires au processus de RO.

IV.5.3.2 Extraction des pixels de contour

Les méthodes d'extraction des pixels de contour mettent souvent en œuvre un opérateur mathématique ou sa modélisation numérique qui localise sur l'image étudiée tous les pixels de contour.

Parmi toutes les méthodes existantes pour l'extraction des pixels de contour, nous pouvons en distinguer deux types:

- Les méthodes qui utilisent un opérateur basé sur une accentuation des discontinuités d'intensité. Ces opérateurs mettent en œuvre le calcul d'un gradient, ou d'un Laplacien. La littérature relative à ces méthodes abonde. [Roberts 1965] [Wechlers and Sklansky 1977] [Akatsuka 1974].
- Les méthodes qui utilisent un modèle paramètrique des contours et en recherchent l'occurence dans une image. Généralement ces méthodes détectent plus de détails mais bien naturellement au prix de calculs complexes. Les travaux de Hueckel sur ce type de méthode sont les plus connus [HUEC 71, HUEC 73]

Les méthodes citées précédemment extraient l'ensemble total des pixels de contour local P_{cl} d'une image. Dans notre application seul les pixels de contours des objets P_{co} nous intéressent. Dans le cas où les objets de l'image ne comportent pas de contour intérieur, nous avons la relation:

$$P_{co} = P_{cl} \qquad \text{(IV.8)}$$

Par contre si les objets possèdent des contours intérieurs, il faut d'abord isoler les objets de leur environnement par une opération de binarisation et ensuite extraire les pixels de contour en utilisant l'une des méthodes citées.

Sur une image binaire, tous les opérateurs d'extraction de contour donnent généralement de bons résultats. La difficulté à extraire les pixels de contour se reporte sur l'opération de segmentation. C'est un problème qui fait l'objet de nombreux travaux de recherche [BHAN 87], [YANO 89], [ROBE 91]. A part le cas des cols fantaisies, les image de la plate-forme se binarise assez facilement (cf figure IV.25). La difficulté de segmentation des cols en tissu fantaisie est diminuée par l'utilisation au cas échéant d'un éclairage rétro-projeté (cf figure IV.26).

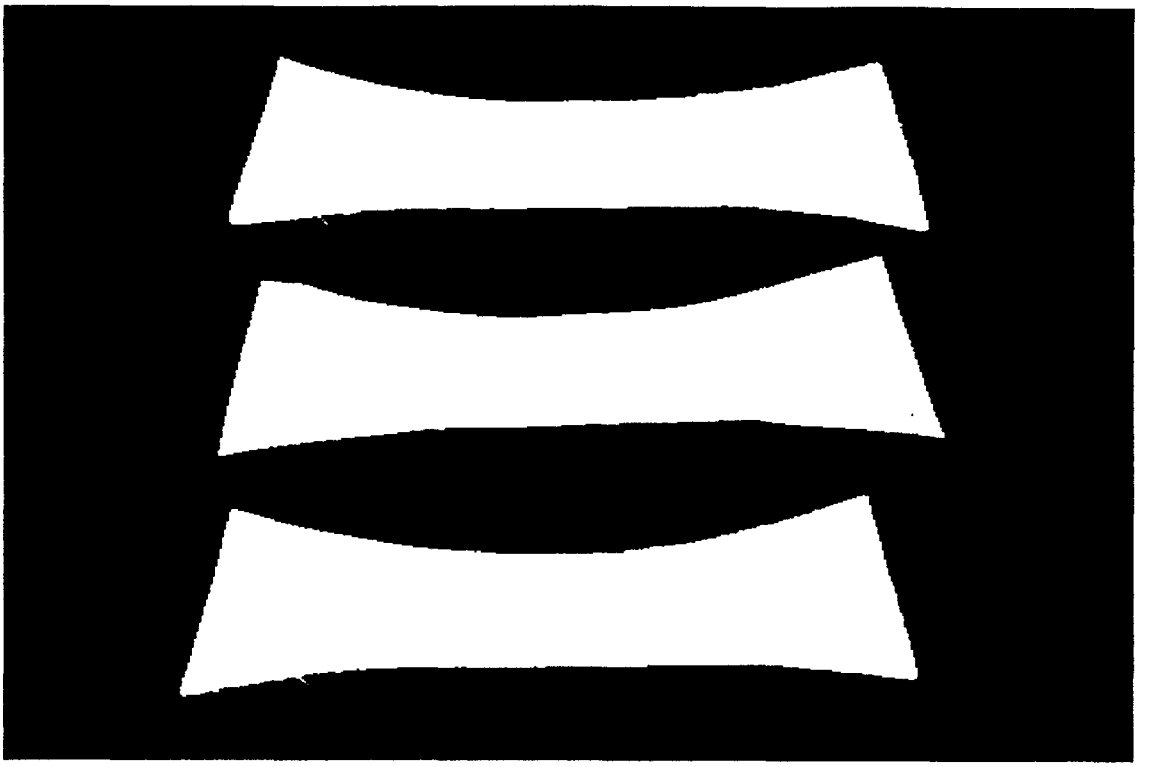


Figure IV.25: Résultat de la segmentation d'une image d'un col uni

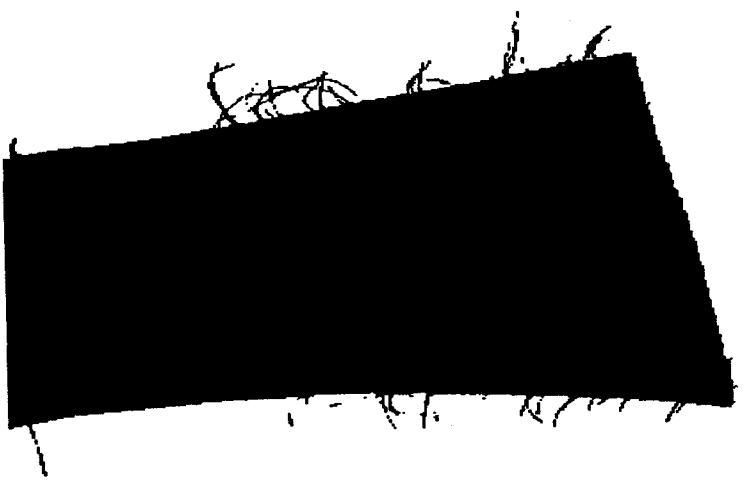


Figure IV.26: Résultat de la segmentation d'une image d'un col fantaisie éclairé par l'arrière

Une fois la ségmentation opérée, une quelconque méthode d'extraction de contour fournit directement l'ensemble des pixels P_{co}.

Si l'algorithme pour l'extraction de pixels de contour d'objet précédemment décrit est appliqué sur une image complexe (nombreuses régions) ou mal contrastée, deux sortes de défauts apparaissent(cf. figure IV.27) :

- Contour des objets bruité (non homogène, présence d'excroissances intempestives);
- Apparition de trous dans les objets sans aucune justification physique.

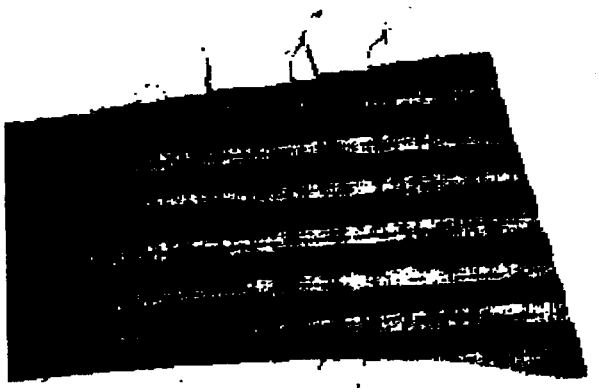


Figure IV.27: Résultat typique d'une segmentation bruité

Compte tenu des contraintes de temps que doit satisfaire notre processus de TI, nous ne pouvons pas nous permettre la mise en œuvre d'une méthode de segmentation très évoluée gourmande en temps de calcul. Nous segmentons les images de la plate-forme d'assemblage par analyse directe de l'histogramme. Nous sommes donc confrontés à la présence de bruits comme ceux décrits ci-dessus.

Une opération de suivi de contour scinde l'ensemble total des pixels du contour d'une image, en sous-ensembles correspondant à un seul objet ou à une caractéristique cohérente de l'image (ombre, tache).

Notre application nécessite une méthode insensible au bruit généré par l'opération d'extraction de contour. Il existe plusieurs méthodes qui se distinguent les unes des autres par la quantité de connaissances préalables du monde qu'elles utilisent:

- Le suivi de contour simple qui ne nécessite aucune information sur la forme des objets. Le contour est reconstitué de proche en proche en regardant les pixels connexes (voisins) au dernier pixel traité [PAPE 73, DUDA 73]. Les performances de cette méthode sont limitées:

gestion difficile des contours de connexité huit, obtention de contour avec des pixels memorisés plusieurs fois. Cette méthode ne filtre aucunement le contour des objets.

- Le suivi de contour par programmation dynamique. La programmation dynamique [BELL 62] est une technique d'optimisation. Appliquée au suivi de contour, la programmation dynamique consiste à trouver l'équation d'une courbe qui, compte tenu des pixels de contour extraits, soit le meilleur contour reliant tous les pixels. [MONT 71].

- Le suivi de contour par calcul de la transformation de Hough généralisé. Compte tenu d'un ensemble de pixel de contour, la méthode classifie ces pixels par rapport à un ensemble de forme prédéfinie.

Aucune de ces méthodes existantes ne nous satisfaisait pleinement. Soit la méthode est rapide mais insuffisamment filtrante, soit elle est insensible au bruit mais trop gourmande en temps de calcul. Nous avons donc développé une nouvelle heuristique d'extraction et de suivi de contour

IV.5.3.3 Nouvelle heuristique d'extraction et de recherche des contours basée sur l'utilisation de l'opérateur P2

Dans l'élaboration de cette nouvelle méthode de suivi de contour, nos principales motivations étaient les suivantes:

- la méthode doit être insensible aux types de bruits cités au paragraphe précédent;
- la méthode ne doit pas prendre en compte les contours des objets ayant l'épaisseur d'un pixel.

Soit l'exemple de l'image binaire sur la figure IV.28. Nous avons mis dans cette image un ensemble de points de contour particuliers pour lesquels notre heuristique se distingue. Nous avons une excroissance d'épaisseur un pixel qui peut être due à l'effilochage du tissu, ou un défaut de segmentation. Nous avons aussi plusieurs extrémités du contour de connexité 8.

Sur une image binaire, nous pouvons définir quatre types de pixels:

- pixel de fond $(ex: (10,4))$;
- pixel de forme $(ex: (10,11))$;
- pixel de contour du fond $(ex: (10,7))$;
- pixel de contour de forme $(ex: (10,8))$.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
8	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure IV.28: Image binaire d'exemple

Bien que le contour théorique d'une forme se situe entre les pixels de contour du fond et les pixels de contour de formes, nous ramènerons physiquement le contour aux pixels de contour des formes. En cela, nous suivons la majorité des algorithmes de suivi de contour.

Nous allons mettre ces pixels de contour des formes en évidence grâce à l'information receuillie sur leurs voisins. Cette information est obtenue en appliquant le filtre de convolution de la figure IV.29 que nous nommons "P2". Ce nom a été choisi en rapport aux puissances de deux qui constituent ses coefficients.

$$P2 = \begin{bmatrix} 8 & 4 & 2 \\ 16 & 0 & 1 \\ 32 & 64 & 128 \end{bmatrix}$$

Figure IV.29: Filtre de convolution P2

L'application du filtre de convolution "P2" sur une image binaire distingue l'ensemble des pixels de l'image en trois classes (cf. figure IV.30):

- pixel de fond (intensité = 0);
- pixel de forme (intensité = 255);
- pixel de contour du fond et de forme ($1 \leq$ intensité < 255);

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
3	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	64	32	0	0	x
4	x	0	128	64	160	192	96	32	0	0	0	128	193	96	48	0	0	x
5	x	0	129	64	177	193	112	48	0	0	128	193	227	116	56	0	0	x
6	x	0	131	68	187	199	124	56	0	128	193	227	247	124	56	0	0	x
7	x	0	131	68	187	199	252	248	224	225	227	247	127	60	24	0	0	x
8	x	0	131	196	251	231	253	249	241	243	247	127	62	28	8	0	0	x
9	x	0	3	5	155	215	255	255	255	255	255	126	60	8	0	0	0	x
10	x	0	2	6	143	207	255	255	255	255	255	124	56	0	0	0	0	x
11	x	0	0	0	131	199	255	255	255	255	255	252	120	32	0	0	0	x
12	x	0	0	0	131	199	255	255	255	255	255	253	248	112	32	0	0	x
13	x	0	0	0	131	71	63	31	31	31	31	31	157	216	112	32	0	x
14	x	0	0	0	3	6	30	14	14	14	14	14	15	141	88	48	0	x
15	x	0	0	0	2	4	8	0	0	0	0	0	2	7	12	24	0	x
16	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	8	0	x
17	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
18	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Figure IV.30: Résultat du filtre "P2" sur l'image binaire

Pour séparer les pixels de contour de fond de ceux de forme, il suffit d'appliquer l'opérateur "et logique" entre l'image binaire (cf. figure IV.28) et l'image résultante de la convolution (cf. figure IV.30), ce qui nous donne la figure IV.31.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
3	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
4	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	0	0	0	x
5	x	0	0	64	0	193	112	0	0	0	0	0	227	116	0	0	0	x
6	x	0	0	68	0	199	124	0	0	0	0	227	247	124	0	0	0	x
7	x	0	0	68	0	199	252	0	0	0	227	247	127	60	0	0	0	x
8	x	0	0	196	0	231	253	249	241	243	247	127	62	0	0	0	0	x
9	x	0	0	5	155	215	255	255	255	255	255	126	0	0	0	0	0	x
10	x	0	0	0	0	207	255	255	255	255	255	124	0	0	0	0	0	x
11	x	0	0	0	0	199	255	255	255	255	255	252	0	0	0	0	0	x
12	x	0	0	0	0	199	255	255	255	255	255	253	248	0	0	0	0	x
13	x	0	0	0	0	71	63	31	31	31	31	31	157	216	0	0	0	x
14	x	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	141	88	0	0	x
15	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	x
16	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
17	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
18	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Figure IV.31: Image ne contenant que les pixels de la forme

Attardons nous un peu sur l'image de la figure IV.31. C'est une véritable base de connaissance avec pour chaque pixel une information très précise sur la configuration de ses

voisins dans une fenêtre 3x3. Notre algorithme de suivi de contour est entièrement basé sur l'exploitation de ces informations.

A chaque valeur de pixel de la figure IV.31 correspond une configuration unique de ses huit proches voisins. Par passage de cette image au travers d'une Look Up Table (L.U.T.) nous allons éliminer les pixels indésirables:

- les pixels de forme;
- l'ensemble des pixels de contour de forme d'épaisseur un pixel;
- suivant que l'on désire suivre le contour de connexité 4 ou 8 nous sommes amenés à enlever des pixels de contour du type de celui en coordonnée $(11,8)$.

Le résultat de ce filtrage est exposé à la figure IV.32.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
3	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
4	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	0	0	0	x
5	x	0	0	0	0	193	112	0	0	0	0	0	227	116	0	0	0	x
6	x	0	0	0	0	199	124	0	0	0	0	227	0	124	0	0	0	x
7	x	0	0	0	0	199	252	0	0	0	227	0	0	60	0	0	0	x
8	x	0	0	0	0	231	0	249	241	243	0	0	62	0	0	0	0	x
9	x	0	0	0	155	0	0	0	0	0	0	126	0	0	0	0	0	x
10	x	0	0	0	0	207	0	0	0	0	0	124	0	0	0	0	0	x
11	x	0	0	0	0	199	0	0	0	0	0	252	0	0	0	0	0	x
12	x	0	0	0	0	199	0	0	0	0	0	0	248	0	0	0	0	x
13	x	0	0	0	0	71	63	31	31	31	31	31	157	216	0	0	0	x
14	x	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	141	88	0	0	x
15	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	x
16	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
17	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
18	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Figure IV.32: Filtrage de la figure IV.32

Le suivi de contour revient à l'exploitation d'une base de donnée.

- La recherche de contour peut se faire dans n'importe quel sens (de haut en bas; de droite à gauche), puisqu'il est possible de différencier les pixels de contour supérieur, inférieur, droit et gauche. Cette caractéristique permet aussi de différencier un contour externe d'un contour interne (trou). Cette distinction n'est possible que si l'objet est vue dans sa totalité.
- Le suivi de contour est un ensemble de règles. Prenons le cas d'un pixel ayant la valeur 252 (cf. figure IV.33). Le pixel de contour suivant est A si nous venons de B ou inversement B si nous venons de A. Le choix du pixel de contour suivant revient à l'exécution de deux sauts conditionnels en terme informatique.

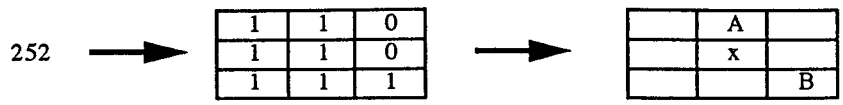


Figure IV.33: Principe des règles de notre système

Les performances de notre algorithme se distingue de celles des méthodes existantes sur les points suivants:

- bonne performance de filtrage sans utilisation particulière de connaissance préalable du monde,

- temps de calcul faible grâce à l'utilisation optimum d'opérations simples cablées sur beaucoup de matériels de SAI.

- simplicité de fonctionnement qui rend une implantation hardware tout à fait envisageable.

IV.6. CONCLUSION

L'utilisation d'un SAI au sein de notre cellule pour l'assemblage de col de chemise est l'assurance d'une flexibilité de fonctionnement vis-à-vis des différentes formes et tailles de col.

L'objectif premier était de disposer d'un SAI capable de reconnaître les pièces d'un col de chemise, d'en déterminer la position mais surtout l'orientation afin de guider le robot lors de l'assemblage. Ce SAI devait pouvoir tourner sur une configuration matériel modeste accessible au PME.

Sur les trois étapes (TI, RO, et IS) qui compose un SAI, nos travaux concernent surtout les étapes TI et RO. Il s'agissait de respecter des contraintes de temps et fiabilité très stricts. Nous avons développé une heuristique qui fournit rapidement les contours des pièces du col de chemise insensible au problèmes d'effilochage du tissu. Ces contours sont ensuite analysés selon une méthode géométrique simple qui offre comme avantage d'être très rapide.

La fonctionnement du SAI de notre cellule flexible automatique d'assemblage de col prouve qu'il est maintenant envisageable d'utiliser des SAI au sein de tâche de confection.

BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE IV

Livre(s)

1 [BALLA 90] : D. H. Ballard, C. M. Brown, "Computer Vision", Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, 1990.

2 [BELL 62]: R. BELLEMAN and S. DREYFUS, "Applied Dynamic Programming.", Princeton, Princeton University Press, 1962.

3 [BROW 79]: C. M. BROWN, "Two descriptions and a two-sample test for 3-d vector data.", TR49, Computer Science Dept., Univ. Rochester, February 1979.

4 [DUDA 73]: R. O. DUDA and P.E. HART, "Pattern Recognition and Scene Analysis.", New York, Willey, 1973.

5 [GREG 70] : R. L. Gregory: The Intelligent Eye, MacGraw-Hill, New York,1970.

6 [MATS 90] : T. Matsuyama, V. Shang-Shouq Hwang, "SIGMA A Knowledge-Based Aerial Image Understanding System", Plenium Press, 1990.

7 [TOUM 87]: J. J TOUMAZET, "Traitement de l'image sur micro-ordinateur", Sybex, 1987.

Thèse(s)

8 [ROBE 91]: C. ROBE, "Segmentation d'images par analyse de connexité", Doctorat de 3ème cycle, Université des Sciences et Technique de Lille.

Article(s)

9 [KEND 84]:J.R. KENDER, "Shape from texture, a brief overview and a new aggregation transform." Proc., DARPA IU Workshop, November 1978, 79-84.

10 [BALL. 81]: D.H. BALLARD, "Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes", Pattern Recognition, Vol. 13, pp 111-122, 1981.

11 [BARRO 71] : H. G., Barrow and R. J. Popplestone, "Relational Descriptions in Picture Processing", Machine Intelligence, Vol. 6, pp. 377-396,1971.

12 [BHAN 87]: B. BHANU, "Segmentation of natural scenes", Pattern Recognition, Vol 20, No5, pp 487-496, 1987.

13 [DAVI 77]: L. S. DAVIS, "Understanding shape: angles and sides", IEEE Transactions on computers, Vol. C-26, No. 3, pp 236-242, March 1977.

14 [DAVI 86]: E.R. DAVIES, "Reduced parameter spaces for polygon detection using generalized Hough transform", CH2342-4/86/0000/0498S01.00, IEEE, 1986.

15 [DAVI 87]: E.R. DAVIES, "A new framework for analysing the properties of the generalized Hough transform", Pattern Recognition Letters, 6, pp 1-7, 1987.

16 [DAVI 87]: E.R. DAVIES, "A new parametrisation of the straight line and its application for the optimal detection of objects with straight edges", Pattern Recognition Letters, 6, pp 9-14, 1987.

17 [DUDA 72]: R.O. DUDA, "Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures", Communication of ACM, Vol. 15, Nu.1, pp 11-15, 1972.

18 [FREE 74]: H. FREEMAN, "Computer processing of line-drawing images", Computing Surveys, Vol. 6, No. 1, March 1974.

19 [GOSTH 86]: A GOSHTASBY, George C. STOCKMAN, A Region-Based Approach to Digital Image Registration with SubPixel Accuracy, IEEE Transaction on Geoscience and Remote sensing, vol GE-24, NO. 3, May 1986, pp 390,399.

20 [HU 62]: M. HU, "Visual Pattern Recognition by Moment Invariants", IRE Transaction on Information Theory, February 1962, pp 179,187.

21 [HUEC 71]:M. H. HUECKEL, "An operator which locates edges in digitized pictures", Journal of the Association for computing Machinery, M3, pp 113-125, 1971.

22 [HUEC 73]: M. H. HUECKEL, "A local visual operator which recognizes edges and lines", Journal of Association for Computing Machinery, Vol. 20, N° 4, pp 634-647, October 1973.

23 [ILLI 88]: J. ILLINGWORTH, "A Survey of theHough Transform", Computer Vision Graphics and Image Processing 44, pp 87-116, 1988.

24 [KOVA 89]: V.A. KOVALEVSKY, "Finite topology as applied to image Analysis", Computer Vision Graphics and Image Processing, 46, pp 141-161, 1989.

25 [KUHL 82]: F.P. KUHL, "Elliptic Fourier Features of a Closed Contour", Computer Graphics and Image Processing, 18, pp 236-258, 1982.

26 [LIN 87]: C LIN, "New Forms of Shape Invariants from Elliptic Fourier Descriptor", Pattern Recognition, Vol. 20, No. 5, pp 535-545, 1987.

27 [MONT 71]: U. MONTANARI, "On the optimal detection of curves in noisy pictures.", Commun. ACM 14, 5, pp 335-354, May 1971.

28 [PAPE 73]: S. PAPERT, "Uses of technology to enhance education.", Technical Report 298, AI Lab, MIT, 1973.

29 [PERS 74] : PERSOON, E. and K.S. Fu, "Shape discrimination using Fourier descriptor.", Proc, 2nd IJCPR, August 1974, pp126-130.

30 [ROGE 79]: L. ROGER, "Chain-link coding and Segmentation for raster scan devices", Computer Graphic and ImageProcessing 10, 224-234, 1979.

31 [ROSE 71]: A. ROSENFIELD, "Edge and curve detection for visual scene analysis", IEEE Transactions on computers, Vol. C-20, No. 5 pp 562-569, May 1971.

32 [ROSE 73]: A. ROSENFIELD, "Angle detection on digital curves", IEEE Transactions on computers, Vol. C-22, pp 875-878, September 1973.

33 [WONG 78]: R.Y. WONG, "Scene Mactching with Invariant Moments", Computer Graphics and Image Processing, 8, 16-24, 1978.

34 [YASE 84]: S. YASER, ABU-MOSTAFA, "Recognitive Aspects of Moment Invariants", IEE Transactions on Pattern Analysis ans Machine Intelligence", Vol. PAMI-6, No. 6, November 1984.

35 [ZAHN 72]: C.T. ZAHN, "Fourier Descriptor for Plane Closed Curves", IEE Transactions on Computers, Vol. C-21, No.3, March 1972.

36 [ZAKA 87]: M. F. ZAKARIA, "Fast Algorithm for the Computation of Moment Invariants", Pattern Recognition, Vol. 20, No. 6, pp 639,643, 1987.

37 [YANO 89]: S.D. YANOWITZ, "A new method for image segmentation", Computer Vision, and Image Processing, 46, pp 82-95, 1989.

V. RECONNAISSANCE DE MOTIF

Ce chapitre expose une nouvelle méthode dans le domaine de la mise en correspondance d'images au niveau photométrique.

V.1. INTRODUCTION

Dans le chapitre IV, l'analyse de la plate-forme d'assemblage avec reconnaissance des pièces constitutives d'un col de chemise est un problème de mise en correspondance images-modèles. Nous choisissons un modèle de référence pour chaque forme à reconnaître que nous comparons avec les formes présentes dans les images de la plate-forme d'assemblage. Ce domaine, abondamment exploré [BOLL 86][AYAC 84][SOUV 83][HEBE 83], est trés contraint, nous faisons utilisation de beaucoup de connaissances sur l'objet qui est vu et sur les conditions de prise de vue de celui-ci.

L'utilisation de cette technique pour l'automatisation des opérations d'assemblage en textile se justifie très simplement. Les opérations d'assemblage ont uniquement été décrites comme un problème de positionnement de formes les unes par rapport aux autres.

Dans un esprit d'esthétique et/ou de qualité, les règles d'assemblage, pour un vêtement confectionné dans un tissu à motif, évoluent [GOUT 90]. Il faut maintenir, dans la mesure du possible, une continuité ou une cohérence du motif sur l'ensemble du vêtement. Cela se traduira par:

- l'alignement du motif entre les pièces constitutives du dos ou du devant.
- l'alignement du motif entre une poche et la pièce de tissu sur laquelle elle est fixée (Ex: poche devant d'une chemise, poche arrière d'un pantalon).
- la cohérence du motif sur les pointes du col d'une chemise.
- etc.

Comme va le montrer le paragraphe 2, une intégration de ces contraintes supplémentaires dans le fonctionnement de notre cellule nécessite de pouvoir positionner un motif dans une pièce de tissu. Compte tenu du peu de connaissances dont on peut préalablement disposer sur les motifs (très grande variété et évolution suivant la mode), il n'est pas possible de traiter ce problème par une technique de mise en correspondance images-modèles. Cela représenterait un trop grand nombre de modèles à mémoriser pour les motifs qui peuvent être modélisés. Nous proposons de résoudre ce problème par une méthode de mise en correspondance images-images. Ici, la correspondance ne s'effectue plus entre un modèle et une forme mais directement entre des formes sur des images prises au même instant à des positions différentes.

Le paragraphe 2 décrit les règles spécifiques de l'assemblage d'un col de chemise fait dans un tissu à motif. Nous exposons en détail une solution d'automatisation au moyen d'une méthode de mise en correspondance d'images. Le paragraphe 3 présente une synthèse non exhaustive des principales méthodes existantes de mise en correspondance d'images. Les résultats de cette synthèse nous amènent à présenter au paragraphe 4 une nouvelle méthode, dont il est possible de montrer l'affiliation avec la transformation de Radon[STAN 81].

V.2. ASSEMBLAGE D'UN COL DE CHEMISE FAIT DANS UN TISSU À MOTIF

La confection d'un vêtement dans un tissu à motif comporte un ensemble de contraintes supplémentaires vis-à-vis de ceux fait dans un tissu uni. Ces contraintes sont relatives aux positions du motif sur les différentes pièces constitutives.

Bien que ces contraintes puissent changer suivant les choix du créateur, nous citons deux exemples généralement reconnus de tous:

- l'ajustement du motif à la jonction de deux pièces (les deux pièces de l'avant, les deux pièces du dos, la pose d'une poche, etc.) (cf. figure V.1 et figure V.2).

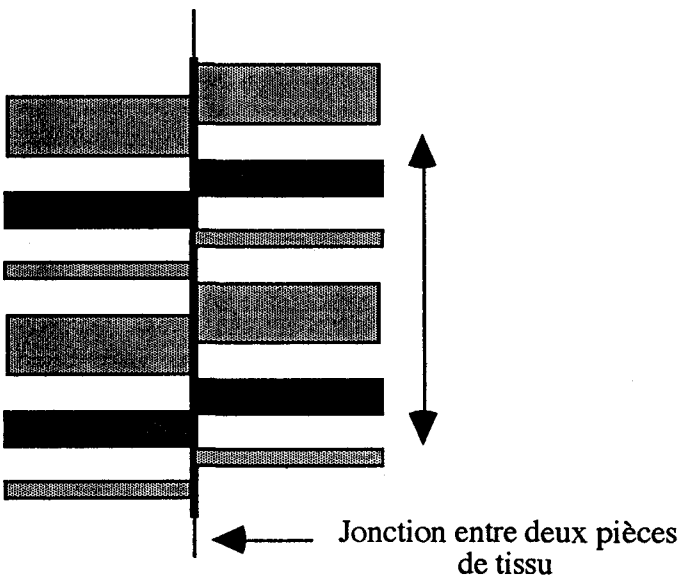


Figure V.1: Ajustement du motif à la jonction de deux pièces

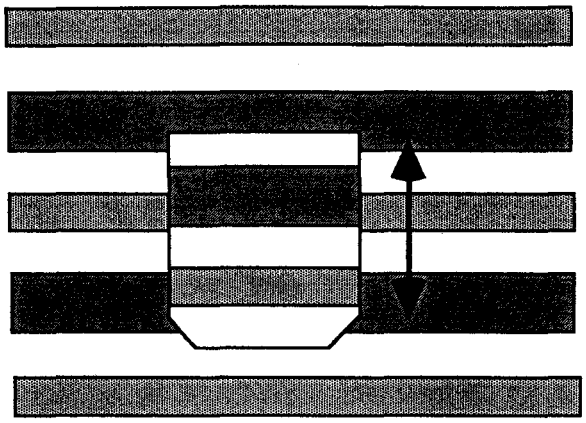


Figure V.2: Ajustement du motif d'une poche par rapport à celui de la pièce sur laquelle elle est posée

Le motif utilisé dans les figures V.1 et V.2 possède une périodicité suivant un seul axe. Ceci implique forcément des déplacements correctifs suivant ce même axe. La dimension du problème augmente de un avec des tissus dont le motif est périodique suivant la chaîne et la trame. La chaîne et la trame sont les deux droits fils, perpendiculaire l'un par rapport à l'autre, qui forme le maillage d'un tissu tissé.

- la cohérence du motif sur les pointes d'un col de chemise. La cohérence recherchée consiste à avoir la même portion du motif sur les pointes du col. La figure V.3 expose les deux pointes d'un col sur lesquelles il y a cohérence du motif. Sur la figure V.4, nous avons deux pointes d'un col qui présente un défaut vis-à-vis de la cohérence du motif.

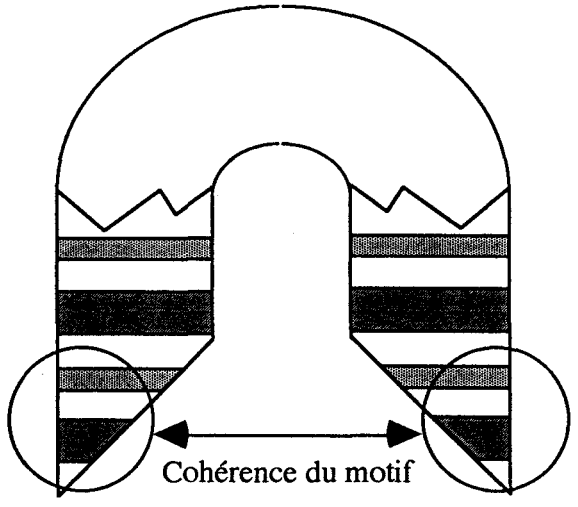


Figure V.3: Deux pointes d'un col de chemise qui respectent une cohérence de motif

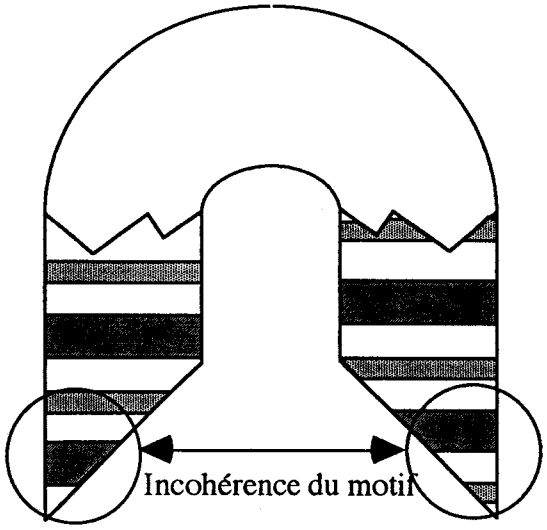


Figure V.4: Deux pointes d'un col de chemise qui ne respectent pas une cohérence de motif

Le reste de ce chapitre va être consacré à l'analyse automatique de la cohérence du motif sur les pointes de cols de chemise lors de l'opération d'assemblage.

Qu'est ce exactement que la cohérence du motif sur un col de chemise. Il s'agit d'un effet visuel à obtenir quand le col est monté sur la chemise. Lorsque l'on porte une chemise, les pointes du col ont une grande importance car elles sont les plus apparentes par rapport au reste du col. Sur ces pointes, il est esthétique d'avoir la même partie du motif. Une fois montées, les pointes du col présente ainsi une symétrie par rapport à l'axe médian de la chemise (cf. Figure V.5).

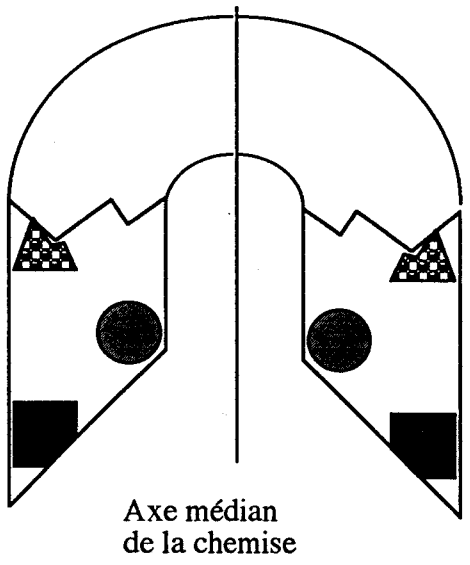


Figure V.5: Symétrie du motif sur les pointes du col par rapport à l'axe médian de la chemise

Le motif du tissu dans lequel a été coupé le col de chemise de la figure V.5 est celui exposé à la figure V.6. Il possède une double périodicité de motif suivant la chaîne et la trame.

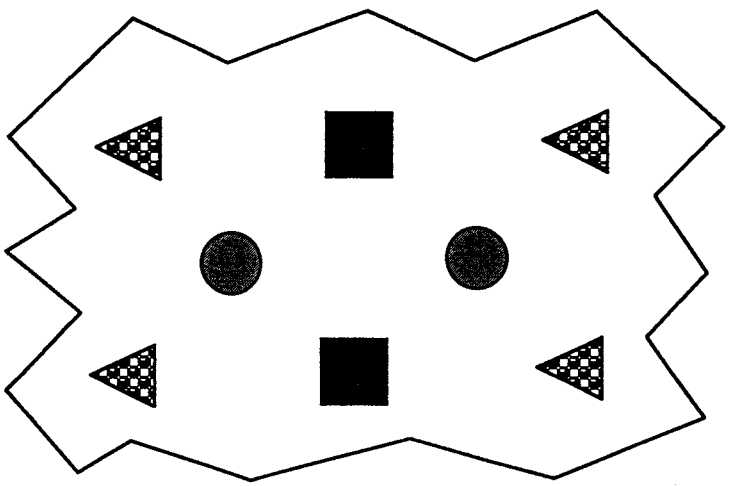


Figure V.6: Échantillon de tissu dans lequel a été coupé le col de la figure V.5(périodicité du motif suivant la chaîne et la trame)

Pour que lors de l'assemblage d'un col de chemise, la cohérence du motif puisse être assurée, un ensemble de conditions préliminaires sont requises. Nous résumons ci-dessous ces conditions:

- Tous les motifs de tissu ne permettent pas d'assurer une cohérence de motif sur le col. Nous supposons pour la suite de l'exposé que le type de motif et sa ou ses périodicité(s) permettent d'assurer une cohérence de motif sur le col.
- Les pièces du col doivent être coupées selon le droit fil (parallèle ou perpendiculaire à la périodicité du motif). Et
- Les pièces de col doivent être coupées avec une marge de couture suffisante de façon à pouvoir corriger la cohérence du motif durant l'opération d'assemblage.

Dans la suite de l'exposé, nous supposons ces conditions réalisées.

D'un aspect purement fonctionnel, si la coupe est réalisée d'une façon parfaite en tenant compte du motif, aucun test supplémentaire n'est nécessaire lors de l'assemblage du col. Celui-ci peut continuer à être basé uniquement sur le positionnement des formes les unes par rapport aux autres. Malheureusement la technique du matelassage introduit inévitablement de petits glissements entre les couches pouvant produire ainsi des pièces de cols mal coupées. Ces défauts de coupe peuvent être rattrapés lors de la phase d'assemblage.

Nous avons pu voir dans les chapitres précédents que l'assemblage du col basé uniquement sur la forme consiste à superposer les pièces du col en alignant conjointement leur orientation et leur centre de gravité. La position de la couture sur le col est fonction de la position de dépose

du col sur la machine à coudre et de la taille du col. Pour assurer la cohérence du motif, les pièces du col sont coupés plus large et nous pouvons être amené à déposer le col à Δx de la position théorique sur la machine à coudre repositionnant ainsi la couture vis-à-vis du motif. La valeur Δx doit être déterminée pendant la phase d'assemblage lorsque nous disposons de l'image des pièces du col.

La valeur Δx correspond aux déplacement à appliquer à la couture pour retrouver sur la pointe gauche (cf. figure V.7) une cohérence de motif par rapport à la pointe droite prise comme référence.

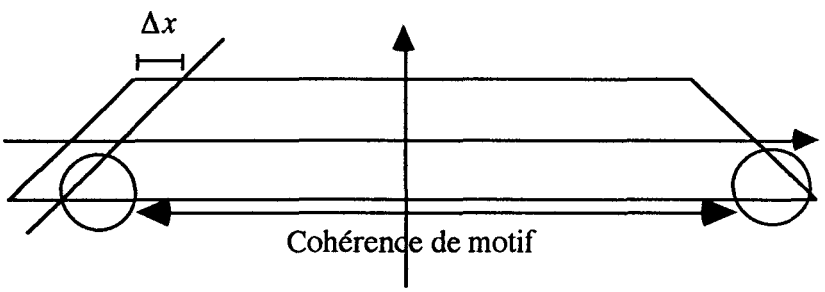


Figure V.7: Translation de la couture pour assurer la cohérence du motif

Nous proposons de déterminer la valeur Δx au moyen d'une méthode de mise en correspondance d'images. Nous supposons disposer de l'image entière d'une pièce de col. Soit une fenêtre de référence positionnée près de la pointe droite du col et entièrement comprise dans le col. Il faut rechercher, en partant de la pointe gauche du col et en suivant une droite parallèle à l'axe d'inertie i, la position de la première fenêtre, de la même dimension que la fenêtre de référence, qui vérifie une cohérence de motif avec la fenêtre de référence. (cf. figure V.8)

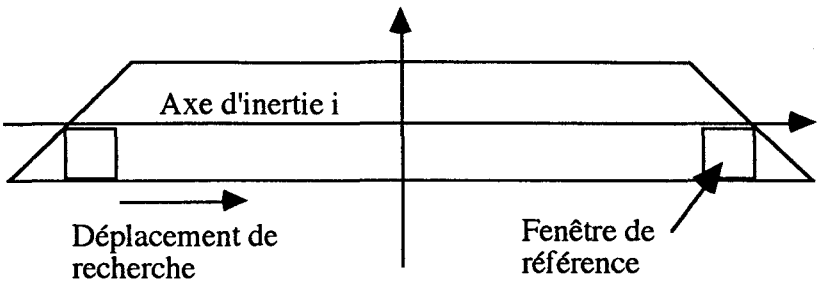


Figure V.8: Algorithme pour déterminer Δx

Le principe de base de toutes les méthodes de mise en correspondance d'images est de pouvoir retrouver une sous-image dans une image totale. En plus des différences de luminosité dues aux bruits, certaines transformations peuvent être admises entre la sous-image de référence et son occurrence dans l'image totale. Dans le cas de la figure V.9, la méthode de mise en correspondance d'images devra être invariante par rotation pour déceler la position de la sous-image.

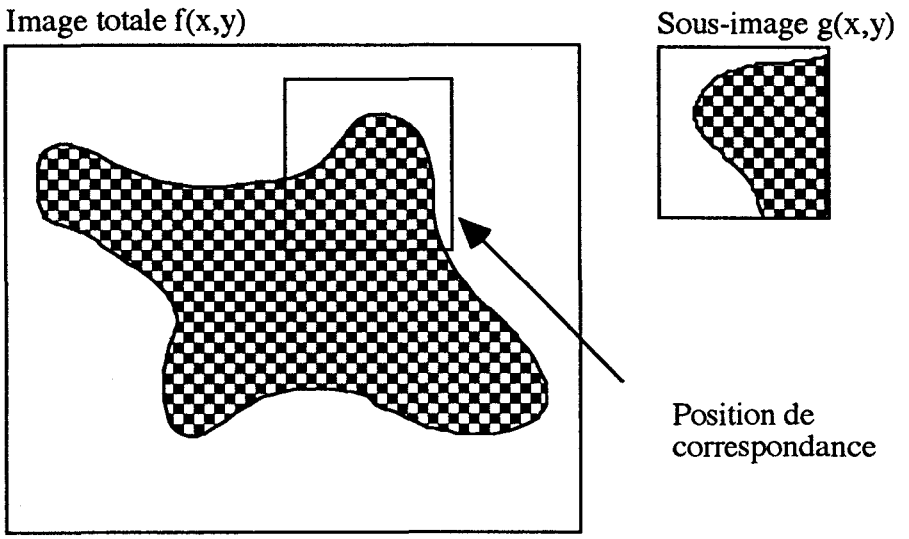


Figure V.9: Principe de base d'une méthode de mise en correspondance image-image

Notre algorithme pour déterminer Δx avec la recherche d'une fenêtre qui puisse vérifier la cohérence de motif par rapport à la fenêtre de référence fait partie du domaine de mise en correspondance d'images. Compte tenu des précautions prise lors de la découpe des pièces (coupe suivant le droit fil, marge de couture importante) nous savons qu'il existe une configuration qui respecte la cohérence du motif et il faut la localiser. La méthode de mise en correspondance d'images doit être invariante par rotation car nous avons cohérence de motif

entre deux fenêtres lorsque leur contenu est symétrique par rapport à un axe parallèle à l'axe d'inertie *j* du col. La figure V.10 montre la position qui assure la cohérence du motif pour le col de la figure V.4 qui présentait un défaut.

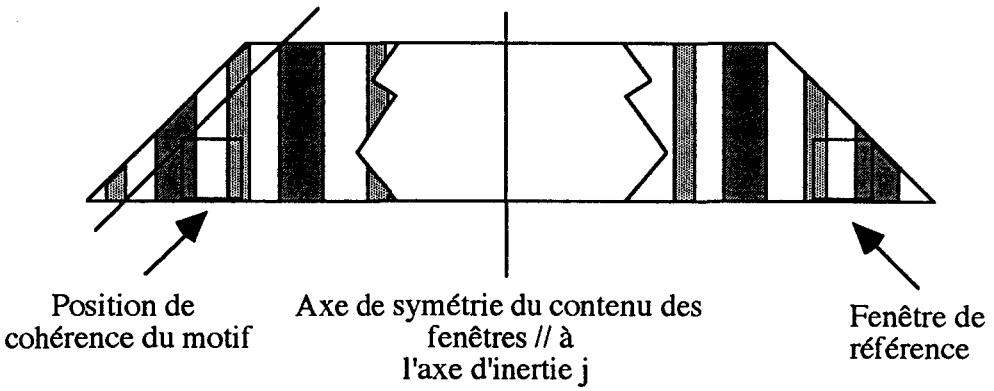


Figure V.10:Exemple de détermination de la position de cohérence de motif.

Puisque dans la figure V.10, l'axe de symétrie du contenu des fenêtres est parallèle aux côtés de celles-ci, l'invariance par rotation de la méthode de mise en correspondance pourrait être résolue par une lecture asymétrique du contenu des fenêtres (de gauche à droite sur l'une et de droite à gauche sur l'autre).

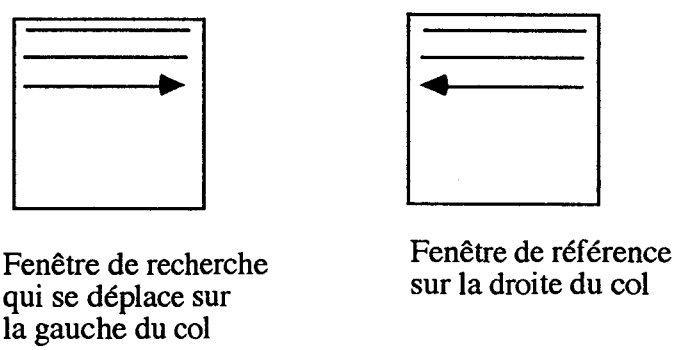


Figure V.11:Lecture asymétrique du contenu des fenêtres

Sur la plate-forme d'assemblage de notre cellule, l'axe d'inertie *j* des pièces de col n'est pas forcément parallèle à l'un des axes de l'image. Ceci impose l'utilisation d'une méthode de mise en correspondance d'image invariante par rotation (cf. figure V.12).

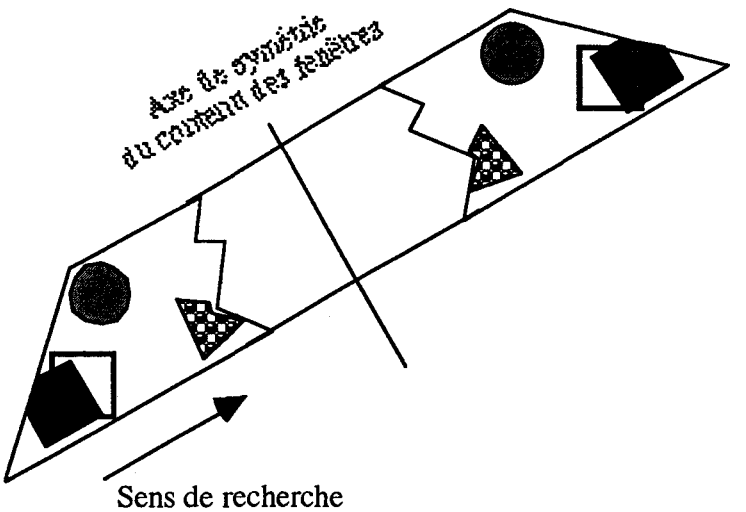


Figure V.12:Exemple de détermination de la position de cohérence de motif sur col incliné

Nous allons maintenant voir au paragraphe 3 une synthèse des méthodes mise en correspondances d'images invariantes par rotation.

V.3. MÉTHODES DE MISE EN CORRESPONDANCES D'IMAGES

V.3.1. Introduction

La mise en correspondance images-images est une approche plus générale que la mise en correspondance images-modèles. Soit un objet ou une forme pour lequel nous avons simplement une image de référence (une photo) sans autre indication. Le problème consiste à retrouver cet objet ou cette forme dans une scène. Les grands axes de recherche qui touchent ce domaine sont la météorologie, l'imagerie médicale, la poursuite de cibles.

Toute la difficulté d'une mise en correspondance d'images vient des variations qui peuvent exister entre les images d'un même objet. Ces variations sont dues à des phénomènes perturbateurs tels que les mouvements des objets, changements de luminance, bruit, etc. .

Il est possible de séparer les méthodes de mise en correspondance d'images en deux classes suivant le support de traitement [AUBE 89]:

- Les méthodes appartenant à la première classe, réalisent l'appariement des images à partir de l'information brute des images (la luminance des pixels).
- Les méthodes de la seconde classe possèdent une phase initiale d'extraction d'indices images. La correspondance s'effectue alors entre ces indices.

Les méthodes de cette deuxième classe conviennent mal à l'analyse de cohérence de motif sur un col de chemise. Des travaux réalisés jusqu'à présent, il ressort 3 types d'indices images (classification de Bolles [BOLL 82]):

- les points caractéristiques,
- les contours, et
- les régions.

Il est difficile de trouver un indice qui puisse convenir à tous les motifs susceptibles d'apparaître sur une chemise. De plus, nous avons peu de chance de voir un motif dans sa globalité. L'indice choisi pourrait n'être perçu que partiellement.

Dans l'exposé ci-dessous, nous ne présentons succinctement que les principales méthodes de mise en correspondance d'images au niveau pixel. Les formulations données sont directement adaptées à notre problème de recherche de la fenêtre G qui vérifie la cohérence de motif avec la fenêtre F. F et G sont des fenêtres carrées de coté N.

V.3.2. Corrélation

La corrélation de deux fonctions permet de détecter si elles sont identiques dans l'intervalle sur lequel est appliquée la mesure. Une image pouvant être considérée comme une fonction de $R^2 \rightarrow R$, il est possible d'appliquer la corrélation sur des parties d'images [MOST 78]. Une fenêtre sur une image correspond à une autre fenêtre sur une autre image ou à une autre position de la même image, si le contenu de celles-ci est identique, un calcul de corrélation peut donc le détecter.

Il existe diverses mesures de corrélation que nous résumons ci-dessous. Le lecteur pourra se reporter au travaux de Burt [BURT 82] pour une étude détaillée sur chacune d'elles quant à leur formulation et leurs performances.

- Corrélation élémentaire:

$$C_1 = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \left| F(i,j) - G(i,j) \right| \qquad \text{(V.1)}$$

$$C_2 = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \left(F(i,j) - G(i,j) \right)^2 \qquad \text{(V.2)}$$

Nous avons une parfaite similitude entre F et G quand $C_1 = C_2 = 0$.

Le principal avantage, sinon unique, des mesures de corrélation C_1 et C_2 est la simplicité des opérateurs mis en œuvre. Leur très grande sensibilité aux perturbations font qu'ils sont très peu performants vis-à-vis d'images aux conditions de prise de vue non contraintes (comme la luminosité).

- Inter-Corrélation:

La différence au carré de C_2 peut être développée sous la forme:

$$C_3 = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} \left[F^2(i,j) - 2.F(i,j).G(i,j) + G^2(i,j) \right] \qquad \text{(V.3)}$$

$$C_3 = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} F^2(i,j) - 2. \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} F(i,j).G(i,j) + \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} G^2(i,j) \qquad \text{(V.4)}$$

Dans l'expression de C_3, certains termes peuvent être négligés:

- le terme $\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} F^2(i,j)$ représente l'énergie de la fenêtre F. C'est une constante qui provoque une translation du résultat de la corrélation;
- le terme $\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} G^2(i,j)$ représente l'énergie de la fenêtre G. S'il est possible de faire l'hypothèse que durant le déplacement de la fenêtre G, l'énergie sur la fenêtre reste constant, nous pouvons aussi négliger ce terme puisqu'il ne représente alors qu'une translation de la mesure de corrélation.

Avec les hypothèses exprimées ci-dessus, C_3 peut s'écrire sous la forme:

$$C_4 = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} F(i,j).G(i,j) \qquad (V.5)$$

Nous avons une parfaite similitude entre F et G quand C_4 s'approche au plus près de la valeur d'énergie de la fenêtre F. Dans la pratique, en tenant compte des perturbations, on admet avoir similitude quand C_4 atteint un maximum.

Les performances de la mesure C_4 vis à vis des perturbations sont fort similaires aux mesures de corrélations précédentes mais l'expression de C_4 permet de transposer les calculs dans le domaine fréquentiel. Un gain de temps de calcul est possible par ce changement de domaine. Le gain est appréciable si beaucoup de positions pour la fenêtre G sont à étudier.

- Corrélation normalisée:

La figure V.13 montre combien une sensibilité aux perturbations est préjudiciable.

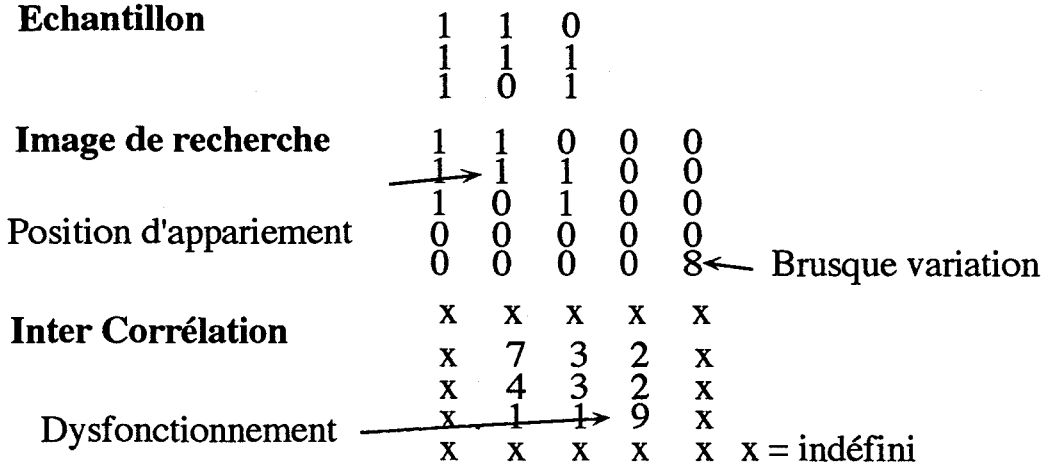


Figure V.13:Impact d'une brusque variation d'intensité sur la mesure C_4

De meilleurs résultats sont obtenus en utilisant la mesure de corrélation normalisée C_5 comme le montre la figure V.14:

$$C_5 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} F(i,j).G(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} F^2(i,j).\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} G^2(i,j)}} \qquad (V.6)$$

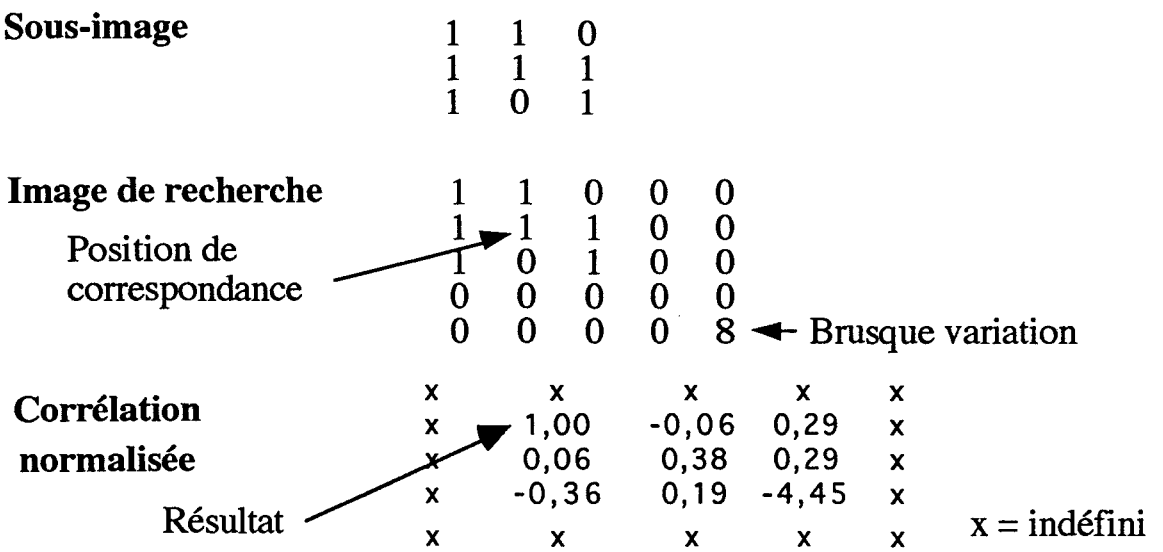


Figure V.14:Performance de la mesure de corrélation normalisée.

Dans toutes les mesures de corrélation que nous venons de voir, nous avons recherché implicitement une image de la fenêtre F qui n'a pas subi de rotation. Pour pouvoir déceler toute similitude entre la fenêtre F et une image de F, à l'orientation près, contenue dans G, il faut appliquer les mesures de corrélation entre G et toutes les fenêtres F_α correspondant aux orientations possibles de F. Mis à part la difficulté pour reconstruire le contenu d'une image sous une autre orientation, l'utilisation des mesures de corrélation comme méthode de mise en correspondance d'images invariante par rotation représente une importante quantité de calcul. Pour certaines applications de mise en correspondance d'images, les performances globales peuvent être améliorées en limitant les calculs qu'à des zones d'intérêt. [PRATT 74][MORA 77].

D'une façon globale, les résultats obtenus par les méthodes de corrélation sont très sensibles aux distorsions dues aux variations lumineuses, aux reflets et aux bruits.

V.3.3. Filtre adapté

La technique du filtre adapté comme méthode de mise en correspondance d'images consiste au préalable à rechercher le meilleur filtre H qui par produit de convolution avec toute image inconnue G décèle la présence même bruitée de l'image F [TURI 60].

Si nous disposons d'une estimation du bruit n, la fonction de transfert du meilleur filtre est directement donnée par:

$$H(w_1, w_2) = K.\frac{F(w_1, w_2)}{n(w_1, w_2)}.e^{-j.w_1.w_2.x_0.y_0} \qquad (V.6)$$

Quand l'estimation du bruit ne s'éloigne pas trop de la réalité, la technique du filtre adapté offre de bonnes performances vis-à-vis des perturbations entre F et G. Comme pour les mesures de corrélation, l'étude de similitude avec toutes les orientations possibles de F nécessite des calculs supplémentaires [CASA 84][HUM 84][CAELL 88].

V.3.4. Harmonique circulaire

La technique des harmoniques circulaires a d'abord été utilisée dans le domaine de la reconstruction d'images. Elle présente aussi un intérêt comme technique de mise en correspondance d'images.

Pour le calcul des harmoniques circulaires, l'image est manipulée en coordonnées polaires $F(r, \theta)$. Soit une couronne centrée dans la fenêtre F (cf. figure V.15), un harmonique circulaire

correspond à un coefficient de la série de Fourier calculé pour les valeurs de $F(r,\theta)$ dans cette couronne.

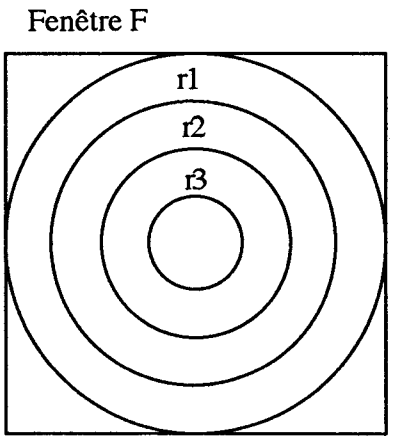


Figure V.15: Géométrie de calcul des harmoniques circulaires

La valeur d'un harmonique circulaire est donnée par l'intégrale suivante:

$$f_m(r) = \frac{1}{2.\pi} \cdot \int_0^{2\pi} F(r,\theta).e^{-j.m.r}.d\theta \qquad (V.7)$$

Il a été proposé par Hsu [HSU 82] d'utiliser les harmoniques circulaires comme paramètres caractéristiques d'une image. Ils peuvent servir de mesure de similitude entre deux images. Cette mesure présente la caractéristique d'être insensible aux rotations entre les images comparées.

L'inconvénient de cette méthode et la difficulté du choix du ou des harmoniques à retenir pour qualifier une image. L'utilisation de trop peu d'harmoniques fait perdre l'unicité de la description.

Au paragraphe suivant nous présentons une nouvelle méthode de mise en correspondance d'images qui comme la technique des harmoniques circulaires est invariante par rotation mais de plus permet directement de déterminer l'orientation entre deux image qui sont similaires.

V.4. MISE EN CORRESPONDANCE D'IMAGES PAR HISTOGRAMME CIRCULAIRE

V.4.1. Introduction

Da façon à permettre un jour l'intégration de l'analyse de cohérence du motif dans une cellule automatique, nous avons mené des travaux de recherche sur la mise en correspondance d'images et développé une nouvelle méthode basée sur l'utilisation d'un histogramme circulaire. La principale caractéristique de cette méthode réside dans l'accès immédiat à l'information d'orientation entre les images comparées.

Dans notre méthode nous appliquons un changement de domaine de représentation sur l'information luminance de l'image étudiée. Nous passons d'une image 2D à une fonction unidimensionnelle grâce au calcul d'un histogramme circulaire. Cette transformation est simple et facilite, pour la suite des calculs, la manipulation de l'information orientation d'une image. Nous utilisons l'histogramme circulaire pour définir des indices d'image au niveau pixel. Ces indices d'image ont l'avantage d'être invariant par rotation comme les harmoniques circulaires mais ils permettent en plus de déterminer la différence d'orientation entre deux image données.

Après avoir spécifié chacune des étapes de notre méthode de mise en correspondance d'images nous montrerons que la transformation d'image par calcul d'histogramme circulaire fait partie de la famille des transformations de Radon []. Il s'agit donc d'un échantillon de la transformation de Radon.

V.4.2. Calcul de l'histogramme circulaire d'une image

Le format usuel sous lequel est disponible une image est un rectangle de dimension $N \times M$. C'est le format en sortie de la majeure partie des systèmes de saisie d'images. L'inconvénient de ce format pour les méthodes de mise en correspondance d'images que l'on désire invariantes par rotation est son faible nombre de symétrie par rotation. Il s'agit de rotation par rapport au centre d'inertie. Pour un rectangle, le nombre de symétrie par rotation est de un (symétrique par rotation de 180°) et pour le carré il est de trois (symétrique par rotation de 90°, 180°, 270°). Cette discontinuité de symétrie par rotation pose problème lorsqu'il s'agit de reconstruire le contenu d'une image sous une orientation qui ne correspond pas à une symétrie par rotation. Nous nous retrouvons avec des régions sans informations de luminance. (cf. figure V.16).

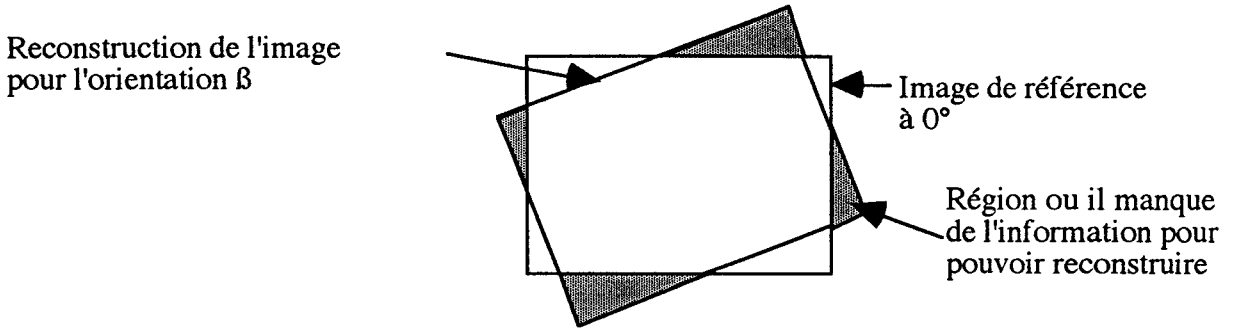


Figure V.16: Reconstruction d'image sous une nouvelle orientation.

Le format circulaire est quant à lui totalement symétrique par rotation. Pour s'affranchir des problèmes liés à l'orientation dans la mise en correspondance d'images, nous proposons de calculer un histogramme circulaire centré sur la fenêtre étudiée. Soit F cette fenêtre. Nous prenons le plus grand cercle inscrit dans l'image. Ce cercle, nous le divisons en secteurs égaux comme présenté à la figure V.17.

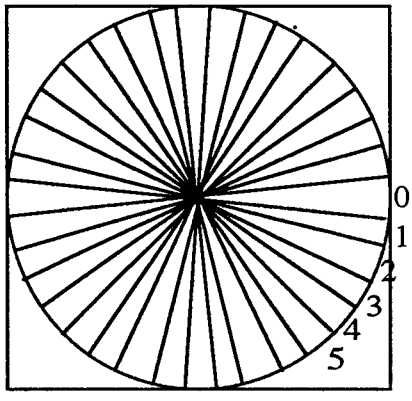


Figure V.17: Cercle de calcul de l'histogramme circulaire

L'histogramme circulaire $f(angle)$ est une représentation unidimensionnelle du contenu de la fenêtre F sur le cercle. L'histogramme circulaire représente, pour les secteurs numérotés dans le sens inverse trigonométrique, l'intensité totale comprise dans chaque secteur. Cette somme est calculée à un niveau "sub-pixel"[BERE 87][GOSH 86]. Un pixel n'appartenant que partiellement à un secteur, participe dans la somme d'intensité de ce secteur pour une valeur qui est proportionnelle à la surface qu'il a dans le secteur.

Ci dessous , nous allons présenter des histogrammes circulaires calculés expérimentalement à partir de l'image exposée à la figure V.18. Nous avons calculé l'histogramme circulaire pour quatre positions différentes (cf. figure V.19, V.20, V.21, V.22). L'image a été crée et les positions choisies de façon à ce que le contenu des fene^tre centrées sur ces positions soient identique à une rotation prés. Les caractéristiques géométriques pour le calcul des histogrammes circulaires sont:

- un rayon de 10 pixel;
- le centre du cercle positionné au milieu d'un pixel; et
- un angle d'ouverture pour chaque secteur de 3 degrés. La surface d'un secteur représente $\pi.10^2.\frac{3^\circ}{360^\circ} = 2.61$ pixels.

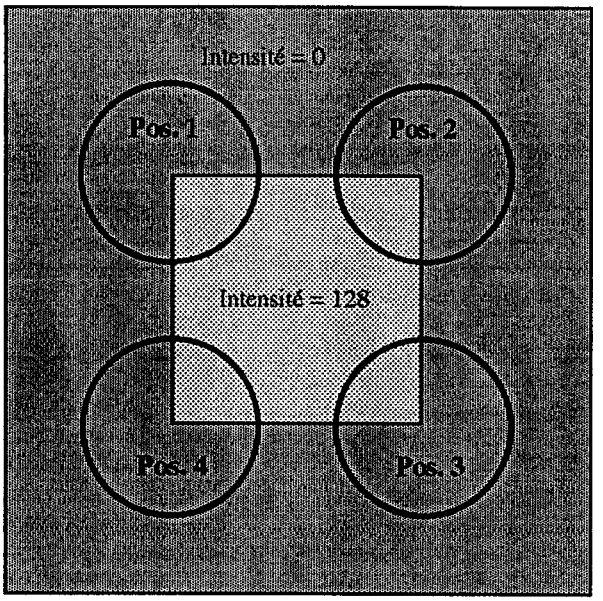


Figure V.18: Position des quatre fenêtres pour le calcul expérimental d'histogramme circulaire

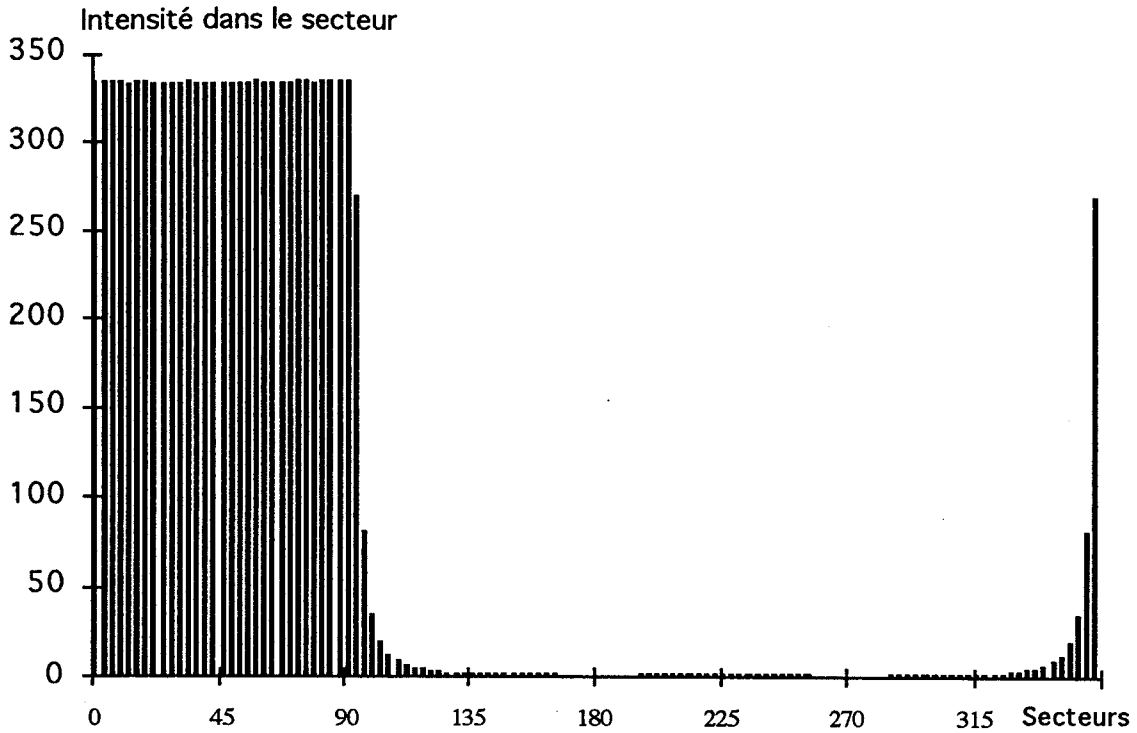


Figure V.19: Histogramme circulaire de la position 1

Les valeurs de $f(\theta)$ pour les secteurs numérotés entre 0 et 90 correspondent à la somme d'intensité d'un secteur entièrement compris dans une région dont l'intensité vaut 128 ($f(\theta) = 2{,}61.128 = 335$). Les petites fluctuations de $f(\theta)$ autour de la valeur 335 sont imputables à la précision utilisée pour la description des secteurs (la précision dans les calculs de surface est du dixième de pixel).

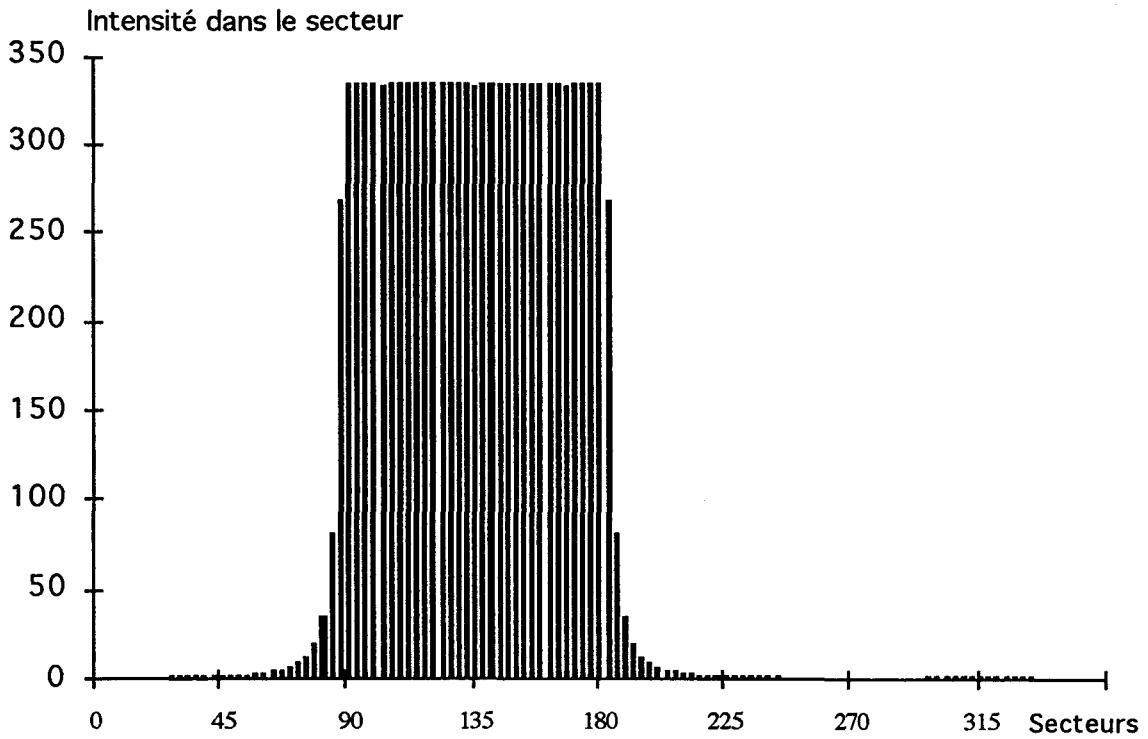


Figure V.20: Histogramme circulaire de la position 2

Nous remarquons que la fonction $f(\theta)$ à la position 2 est identique, à une permutation circulaire près, à celle de la position 1. Nous attirons l'attention du lecteur sur le fait que le contenu de la fenêtre en position 2 (cf. figure V.18) est le même, à une rotation près, que celui de la fenêtre en position 1. Il en est de même pour les fenêtres en position 3 et 4. Une rotation du contenu de la fenêtre de calcul se traduit donc par une permutation circulaire au niveau de l'histogramme circulaire

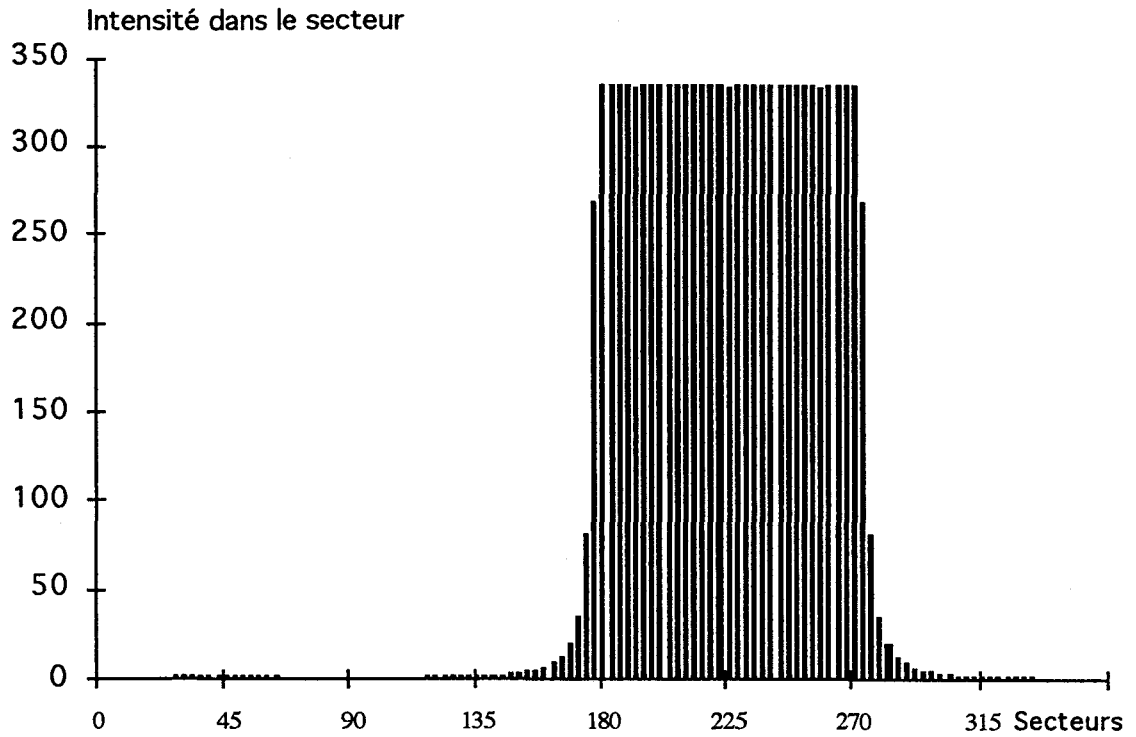


Figure V.21: Histogramme circulaire de la position 3

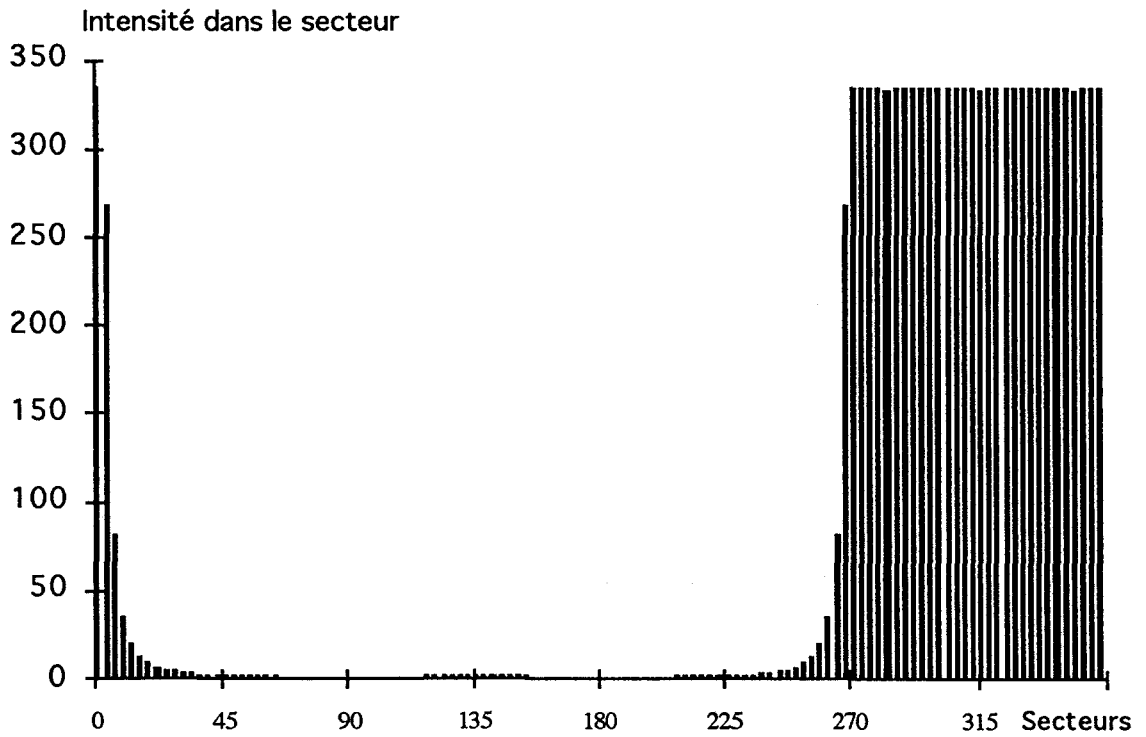


Figure V.22: Histogramme circulaire de la position 4

V.4.3. Analyse d'histogrammes circulaires

Soit $f(\theta)$ un histogramme circulaire défini pour N secteurs. $f(\theta)$ est une fonction périodique. Nous pouvons exprimer la fonction $f(\theta)$ sous la forme d'une série de Fourier.

$$f(\theta) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n.\cos(n.\omega.\theta) + b_n.\sin(n.\omega.\theta) \qquad (V.8)$$

où

$$a_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(\theta).\cos(n.\omega.\theta).d\theta \ ; \ b_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(\theta).\sin(n.\omega.\theta).d\theta \qquad (V.9)$$

$$a_0 = \frac{1}{T}\int_0^T f(\theta).d\theta \qquad (V.10)$$

$$T = \frac{2.\omega}{\pi} \qquad (V.11)$$

La série de Fourier peut aussi s'écrire sous la forme suivante:

$$f(\theta) = a_0 + \sum_{n=0}^{\infty} \sqrt{a_n^2 + b_n^2}.\cos(n.\omega.\theta + \varphi_n) \qquad (V.12)$$

$$f(\theta) = a_0 + \sum_{n=0}^{\infty} c_n.\cos(n.\omega.\theta + \varphi_n) \qquad (V.13)$$

où :

- c_n : est l'amplitude de l'harmonique de rang n

et où:

- φ_n est la phase de cet harmonique.

Les amplitudes de la série de Fourier sont invariantes aux permutations circulaires que peut subir $f(\theta)$. Nous proposons d'utiliser ces amplitudes dans le calcul d'un paramètre de similitude d'images invariant par rotation.

Les valeurs de phase φ_n sont, quant à elles, liées aux permutations que subit $f(\theta)$. Nous pouvons utiliser la différence de phase au premier harmonique $\varphi_1 - \varphi_1'$ entre deux permutations différentes de $f(\theta)$ pour déterminer l'orientation entre les images à l'origine du calcul des histogrammes circulaires. Les valeurs de phase de chaque harmonique sont déterminées suivant l'équation:

$$\varphi_n = Arctg\left(-\frac{b_n}{b_n}\right) \tag{V.14}$$

Comme paramètre de similitude entre une fenêtre F de référence et une fenêtre G, nous définissons la distance suivante:

$$d = \sqrt{\left(c_1^G - c_1^F\right) + \ldots + \left(c_n^G - c_n^F\right)} \tag{V.15}$$

Quand F est semblable à G à une rotation près $d = 0$, sinon $d > 0$.

Le choix du nombre d'harmoniques utilisés dans le calcul de cette distance résulte d'un compromis qui doit tenir compte du fait que:

- Le calcul est d'autant plus long que le nombre d'harmoniques pris en compte est important,
- Si l'histogramme de la fenêtre de référence F présente beaucoup de fluctuation, l'information dans F relative à ces fluctuation est comprise dans les harmoniques de rang élevé.
- La présence d'un bruit aléatoire dans la fenêtre G se retrouve dans les harmoniques de rang élevé.

Nous avons mené plusieurs essais expérimentaux du calcul de la distance d comme méthode de mise en correspondance d'images. Prenons l'image de synthèse représenté à la figure V.23. Nous avons construit cette image de façon a ce qu'elle comporte des sous-images identiques à une rotation près.

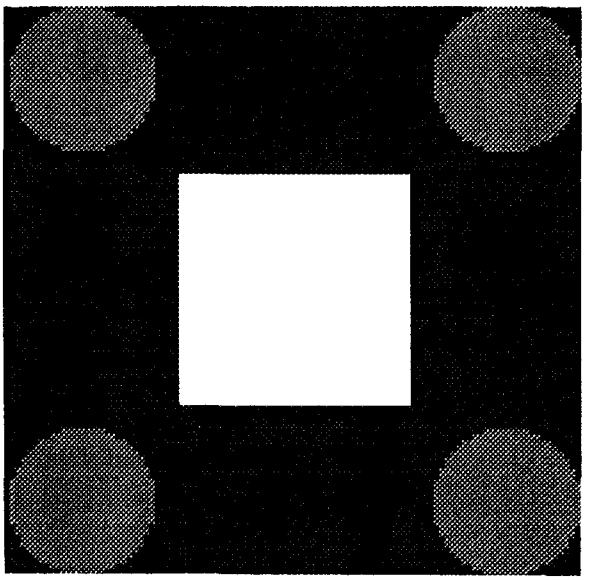


Figure V.23:Image de synthèse pour essai expérimental du calcul de la distance d

Dans l'image de la figure V.23, nous avons choisi comme fenêtre de référence F, une fenêtre centrée entre le sommet en haut et à gauche du carré blanc et le petit cercle gris. Un zoom de cette fenêtre est exposé à la figure V.24.

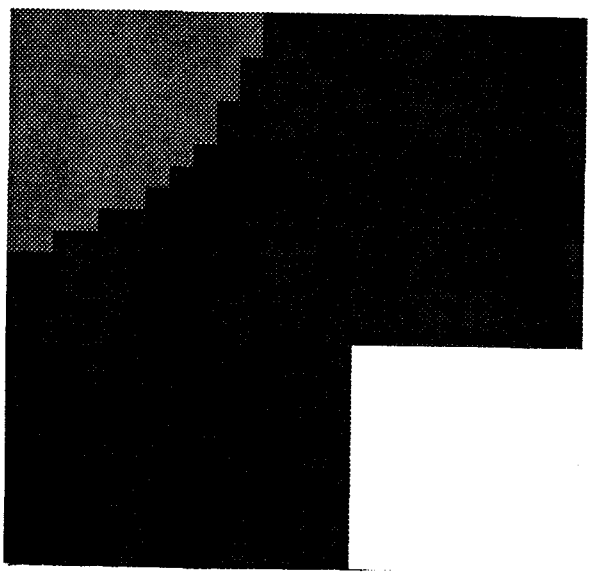


Figure V.24: Zoom de la fenêtre F choisie sur l'image de la figure V.23

En appliquant le calcul de corrélation C_2 entre la fenêtre F et toutes les fenêtres G qui peuvent être comprises dans l'image de la figure V.23, nous ne détectons qu'une seule position de similitude qui correspond à la position où a été effectivement extraite la fenêtre F. Nous

avons représenté sous la forme d'un graphique 3D (cf. figure V.25), la mesure de corrélation pour chaque position de la fenêtre G. Avec le calcul de corrélation C_2, une correspondance entre deux images est symbolisée par une valeur proche du 0. Pour rendre le relief du graphique 3D plus compréhensible nous l'avons inversé. Une valeur proche du 0 pour le calcul C_2, correspond donc à un maximum sur le graphique 3D.

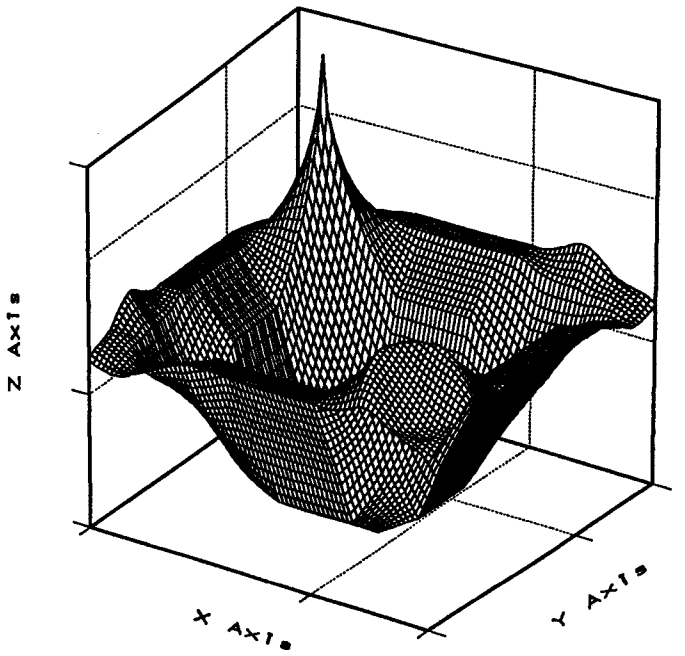


Figure V.25: Mesure de corrélation entre l'image de la figure V.13 et la fenêtre de référence F

Si nous appliquons maintenant le calcul de la distance d à partir des histogrammes circulaires de toutes les fenêtres G qui peuvent être comprises dans l'image de la figure V.23, nous détectons quatre positions de similitude qui correspondent effectivement à quatre fenêtres au contenu similaire à F à l'orientation près. Nous représentons à la figure V.26, le mesure de distance pour chaque position de la fenêtre G. Pour les mêmes raisons que dans la figure V.25, nous avons inversé le graphique V.26. De ce fait chaque maximum de la figure V.26 correspond à une valeur $d = 0$.

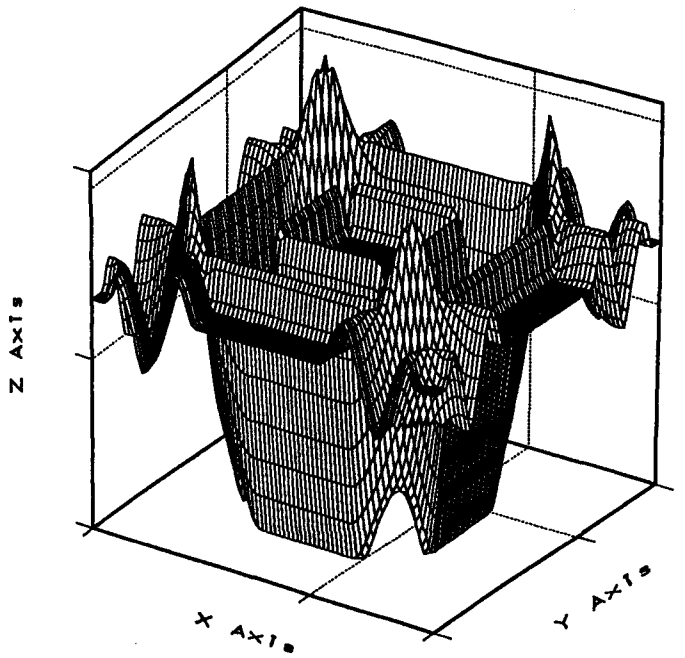


Figure V.26:Résultat de mise en correspondance d'image par analyse d'histogrammes circulaires.

La mesure de distance d présente l'inconvénient d'être sensible aux variations moyennes de l'intensité entre la fenêtre de référence F et une fenêtre G par rapport à laquelle il faut tester la similitude. Ce défaut peut être corrigé en utilisant le principe de normalisation [QUAM 74]. L'amplitude a_0 représente l'intensité moyenne sur le cercle de calcul pour l'histogramme circulaire. Nous pouvons utiliser a_0 pour définir une distance normalisée d_m. Cette distance peut s'écrire:

$$d_m = \sqrt{\left(\frac{c_1^G}{a_0^G} - \frac{c_1^F}{a_0^F}\right) + \ldots + \left(\frac{c_n^G}{a_0^G} - \frac{c_n^F}{a_0^F}\right)} \qquad \text{(V.16)}$$

V.4.4. Histogramme circulaire : échantillon de la transformation de Radon

Un aspect très important du calcul d'un histogramme circulaire est le changement de domaine de représentation. Nous passons d'une image bidimensionnelle $F(x,y)$ à sa forme unidimensionnelle $f(\theta)$ sous laquelle la notion de rotation est facilement abordable (simple permutation circulaire).

Nous avons déjà pu remarquer l'intérêt d'une telle démarche avec les avantages de la transformation de Hough au chapitre IV.

L'expression analytique du calcul de l'histogramme circulaire peut s'écrire sous la forme:

$$f(\theta) = \iint F(x,y).\delta(R - x.\cos(\theta) - y.\sin(\theta)).dx.dy \qquad (V.17)$$

- le domaine d'intégration est la surface du cercle de rayon R,
- $\delta(\ )$ est la fonction de Dirac.

Selon l'expression analytique, $f(\theta)$ correspond à la somme de l'intensité de $F(x,y)$ le long du rayon (R) d'orientation θ.

Soit l'expression générale de la transformation développée par J. Radon en 1917 [MURP 86].

$$R(u,v) = \iint f(x,y).\delta(g(u,v)).dx.dy \qquad (V.18)$$

Si dans l'expression de la transformation de Radon, nous prenons l'équation d'une droite pour $g(u,v)$ ($g(u,v) = u - x.\cos(v) - y.\sin(v)$), la transformation de Radon s'écrit sous la forme:

$$R(u,v) = \iint f(x,y).\delta(u - x.\cos(v) - y.\sin(v)).dx.dy \qquad (V.19)$$

La fonction de Dirac force l'intégration le long de la fonction caractéristique $g(u,v)$. En prenant des valeurs fixes pour u ou v, nous définissons de nouvelles transformations ou échantillons appartenant à la famille des transformations de Radon.

L'histogramme circulaire est donc un échantillon de la transformation de Radon avec pour fonction caractéristique la droite $g(u,v) = u - x.\cos(v) - y.\sin(v)$ où $u = R$ et $v = \theta$.

La transformation de Radon est mal connue alors qu'elle est utilisée de plus en plus mais d'une façon transparente. En effet, au chapitre IV nous avons cité la transformation de Hough avec ses divers avantages (son insensibilité au bruit). Stanley R. Deans [STAN 81] a montré que la transformation de Hough est un échantillon de la transformation de Radon.

V.5. CONCLUSION

La mise à disposition de méthodes d'analyse automatique du motif d'un tissu pourrait permettre l'automatisation d'un nombre important de tâches de contrôle dans le processus de fabrication en confection. Actuellement, certains cas simples ont été résolus. Le reste nécessite d'avoir entre autre de bonnes et rapides méthodes de mise en correspondance d'images.

C'est dans le cadre de l'analyse de cohérence du motif d'un col de chemise que nous avons abordé le domaine de mise en correspondance d'images. Nous avons développé une méthode basée sur l'utilisation d'un histogramme circulaire dont la principale caractéristique est la détermination rapide de l'orientation entre deux images similaires.

Au stade actuel de l'étude, les performances de la méthode de l'histogramme circulaire sont encourageantes. Nous citerons par exemple:

- La simplicité des calculs mis en œuvre (intégration d'intensité, et calcul de séries de Fourier),
- Une quantité de calcul moindre pour la détermination de l'orientation par rapport aux méthodes existantes (corrélation, filtre adapté, ...).

Les points qui restent à développer sont:

- Étude de l'insensibilité aux perturbations par rapport aux méthodes existantes,
- Étude de l'influence de l'angle d'ouverture des secteurs sur les performances de la méthode,
- Étude de l'intégration hardware du calcul de l' histogramme circulaire d'une image!

Le domaine d'application de l'histogramme circulaire ne se limite pas à l'analyse du motif de tissu. Ses performances pourraient être utilisées dans d'autres secteurs tels que la stéréovision, l'analyse de séquences d'image, etc.

BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE V

Livre(s)

1 [QUAM 74]: "Stanford automated photogrammetry research." AIM-254, Stanford A.I. Lab., November 1974.

Thèse(s)

2 [AUBE 89]: D. AUBERT, "Mise en correspondance d'indices images en résolutions multiples", Institut national polytechnique de Grenoble, janvier 1989.

3 [HEBE 83]: M. HEBERT,"Reconnaissance de formes tridimentionnelles", Thèse, Université de Paris-sud, Paris, Septemebre 1983.

4 [SOUV 83]: V. SOUVIGNIER,"PVV. Un système d'interprétation d'images par prédiction et vérification", Thèse, "LIFIA-INPG", Grenoble, Juin 1983.

Article(s)

5 [AYAC 84]: N. AYACHE, B. FAVERJON, J.D. BOISSONNAT, B. BOLLACK,"Manipulation automatique de pièces industrielles en vrac planaire", 1er colloque IMAGE, CESTA, Biarritz, mai 1984.

6 [BERE 87] : C. A. BERENSTEIN, L. N. KANAL, D. LAVINE, E. C. OLSON," A geometric approach to subpixel registration accuracy", Computer vision, Graphics and Image processing, 40, pp. 334-360, 1987.

7 [BOLL 82]: R.C. BOLLES, R.A. CAIN,"Recognizing and locating partially visible objects: The local-Feature-Focus method", IJRR 1,3, pp. 57, 1982.

8 [BOLL 86]: R.C. BOLLES, R. HORAUD,"3DPO: A three-dimentional part orientation system", International Journal of robotic research, 5(3): 3-26, 1986.

9 [BURT 82]: P.J. BURT, C. YEN, X. XU,"Local correlation measures for motion analysis, a comparative study", IEEE conf. Publication, Vol. 14, Las Vegas, June 1982.

10 [CAELL 88]: T. M. CAELLI, 3On The minimum number of templates required for shift, rotation and size invariant pattern recognition", Pattern Recognition, Vol. 21, No. 3, pp 205-216, 1988.

11 [CASA 84]: D. CASASENT, "Unified synthetic discriminant function computational formulation", Appl. Optics 23, pp 1620-1627, 1984.

12 [GOSH 86] : A. GOSHTASBY," A région-based approach to digital image registration with subpixel accuracy.", IEE Transaction on geoscience and remote sensing, Vol. GR-24, NO. 3., May 1986.

13 [GOUT 90] : GOUT D., "Des tissus à motifs biens coupés", Technologies, pp 19, Mars 1990.

14 [HUM 84]: B. V. K. VIJAYA KUMAR, "Loss of optimality in cross correlators, J. Optical Soc. Am., A1, pp 392-397, 1984.

15 [HUM 86]: B. V. K. VIJAYA KUMAR, "Minimum-variance synthetic discriminant functions", Optical Soc. Am., A3, pp 1579-1584, 1986.

16 [HSU 82]: Y. N. HSU, "Rotation invariant digital pattern recognition using circular harmonic expansion", Appl. Optic 21, p 4012-4015, 1982.

17 [HSU 82]: Y. N. HSU, "Optimum circular symmetrical filters and their use in optical pattern recognition", Optica Acta 29, pp 627-644, 1982.

18 [MORA 77]: H. P. MORAVEC "Towards automatic visual obstacle avoidance." Proceeding of the 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence, MIT, Cambrige, MA, August 1977.

19 [MOST 78] : H. MOSTAFAVI, F. V. SMITH,"Image correlation with geometric distortion.", IEEE Transactions on aerospace and electronic systems, VOL. AES-14, NO. 3, pp. 487-500, May, 1978.

20 [MURP 86] : L. M. MURPHY,"Linear feature detection and enhancement in noisy images via the Radon transform", Pattern recognition letters, 4, pp 279-284, 1986.

21 [PRATT 74]: W. K. PRATT, "Correlation techniques of images registration", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic systems, Vol. AES-10, No. 3, May 1974.

22 [STAN 81] : R. STANLEY,"Hough transform from the Radon transform", IEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence, Vol. PAMI-3, NO. 2, pp. 85-88, March 1981.

23 [TURI 60]: G. L. TURIN,"An introduction to matched filters", IRE Transactions on information theory, pp. 311-329, 1960.

CONCLUSION

L'implantation du modèle CIM pour obtenir une chaîne de production entièrement automatisée existe déjà dans certains secteurs industriels. Les opérations d'assemblage et de chargement de pièces rigides sont aujourd'hui fréquemment réalisées par des robots manipulateurs. L'industrie de la confection a, dans ce domaine, un retard important. Le fonctionnement de la machine exige encore la présence de l'opérateur humain. Au chapitre I, nous avons vu combien il est important, pour le proche avenir, de faire évoluer les ressources de production de cette industrie en cassant la trilogie Homme-Machine-Matière. Deux approches différentes d'automatisation s'affrontent: l'approche intégrée et l'approche par tâche. L'approche intégrée implique un investissement lourd d'abord en matière de R & D et ensuite dans la réalisation d'implantation de matériel approprié. L'environnement économique actuel et l'intérêt des industriels pour les nouvelles techniques de gestion de production du type TSS promotionnent plutôt l'approche par tâche. C'est la voie qui a été suivie dans le projet BRITE pour la conception et la réalisation d'une cellule flexible d'assemblage automatique de col de chemise avec chargement de l'unité de couture.

Nos travaux, menés dans le cadre de ce projet concernent la modélisation sous les aspects suivants:

- Modélisation de processus de fabrication (chapitre III),

- Modélisation d'une forme pour reconnaissance et localisation rapide,

- Modélisation d'un motif pour mise en correspondance.

Nous avons travaillé sur les bases d'une nouvelle méthode de modélisation d'assemblage, dite "MAPIF". Elle permet de décrire un processus de fabrication tel que celui du col de chemise. Particulièrement adaptée pour représenter la manipulation de pièces flexibles, elle nous a permis de de décrire au mieux le fort potentiel de flexibilité de notre cellule.

L'utilisation d'un système de vision comme dispositif de guide pour l'assemblage du col est une innovation technique du projet. Compte tenu des temps de réponse imposés, du matériel utilisé, et du type des images traitées, la reconnaissance des pièces de col de chemise avec leur localisation (position et orientation) a nécessité des développements spécifiques. A cette fin, nous avons introduit une nouvelle notion de "propriété topologique" autour des points de contour. Ceci a permis de ramener les temps de calculs pour la reconnaissance des pièces de cols à l'intérieur du temps réel nécessaire à la phase de couture. Dès lors le principe de cette application permet d'étendre le projet à d'autres postes de la chaine de confection.

Tous les problèmes liés à la confection d'un vêtement dans un tissu à motif ne peuvent pas être résolus au niveau de la coupe. Dans la technique de coupe sur matelas, le travail du tissu peut produire des petits décalages entre les plis. Nous avons etudié la possibilité d'une correction de la position pour la couture du col afin de respecter la cohérence du motif sur les pointes. Cette fonctionnalité est assujetie au fait de disposer d'une méthode rapide de mise en correspondance d'images invariantes par rotation. C'est, à partir decet objectif, que nous avons travaillé sur une nouvelle méthode basée sur l'analyse d'un histogramme circulaire. Le principal avantage de cette méthode est l'accès rapide et simple à l'orientation entre deux images.

En conclusion de ce mémoire, la première unité d'intelligence locale pour poste de travail de l'industrie de la confection a été réalisée et testée en site industriel. L'intérêt des industriels lors du salon IMB 88 est signe d'adéquation aux besoins de l'industrie C'est le système de vision qui procure le plus de flexibilité au système. L'amélioration des algorithmes et les évolutions techniques devraient permettre à l'unité d'intelligence locale de traiter de plus en plus de situations et requérir de moins en moins l'intervention de la maintenance.

ANNEXE I

La méthode SADT (Structured Analysis and Design Technique) est une technique structurée d'analyse et de modélisation de systèmes. Elle est particulièrement adaptée à la phase de spécification fonctionnelle de produit, ou de systèmes intégrant ou non du logiciel.

La méthode SADT est une méthode générale qui cherche à favoriser la communication. L'expliquer en détail nécessiterait d'écrire un livre. Nous proposons ici de donner les éléments de base de la méthode pour aider à la lecture des graphes SADT du chapitre II.

La méthode SADT repose sur un certain nombre de concepts fondamentaux dont les termes les plus marquants sont:

- Modéliser ,
- Discipliner la démarche d'analyse,
- Séparer le Quoi du Comment, et
- Formaliser de manière graphique.

Modéliser

SADT aborde un système en le modélisant pour obtenir un enchaînement d'actions et de données moins complexe que le tout du départ. Cette modélisation peut être différente selon le point de vue sous lequel elle est faite (Utilisateur, Concepteur).

Comme le monde qui nous entoure est composé d'objets et d'actions, la méthode SADT conserve cette dualité au travers de deux modélisations : ACTIGRAMME et DATAGRAMME (cf. figures 1 et 2) qui, comme preuve de qualité de l'analyse, doivent être cohérents.

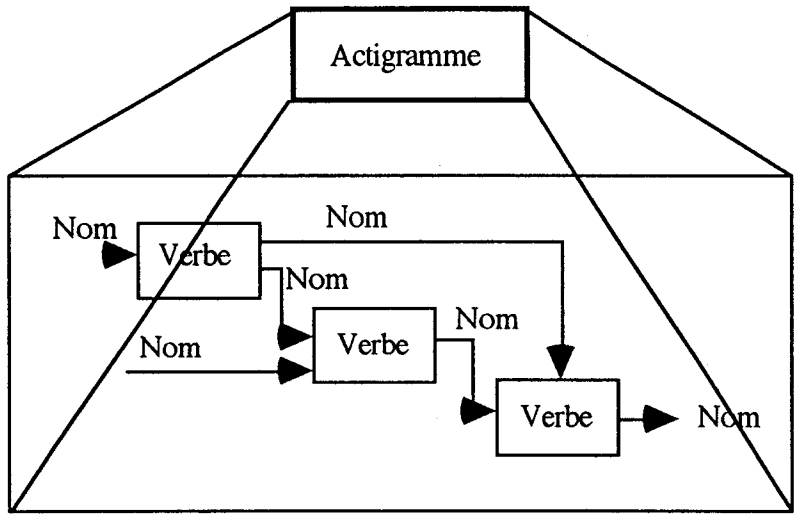


Figure 1

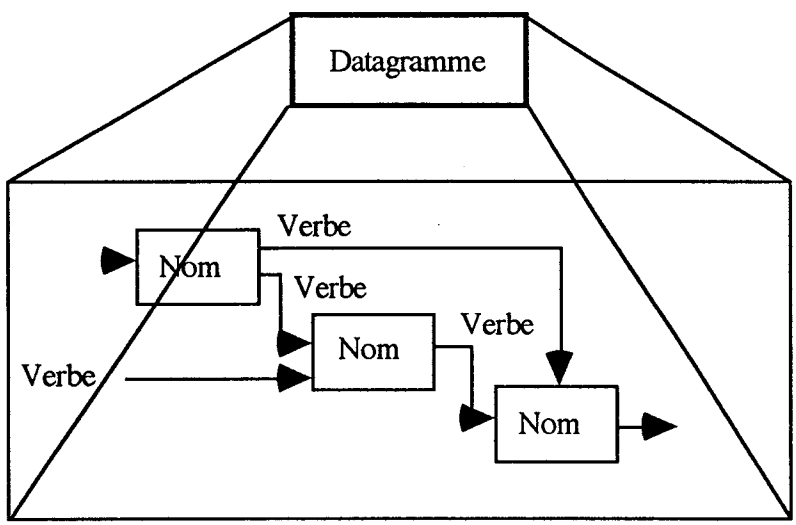


Figure 2

Discipliner la démarche d'analyse

SADT est une méthode qui analyse le système de manière imposée:

- descendante
- modulaire
- hiérarchique

Appliquer SADT commence par la description la plus générale et la plus abstraite possible du système. Si nous considérons cette description comme contenue dans un seul "module", représenté par une boîte, nous pouvons alors décomposer ou éclater celle-ci en plusieurs boîtes initiales, les nouvelles boîtes étant à leur tour décomposées en plusieurs boîtes, etc.

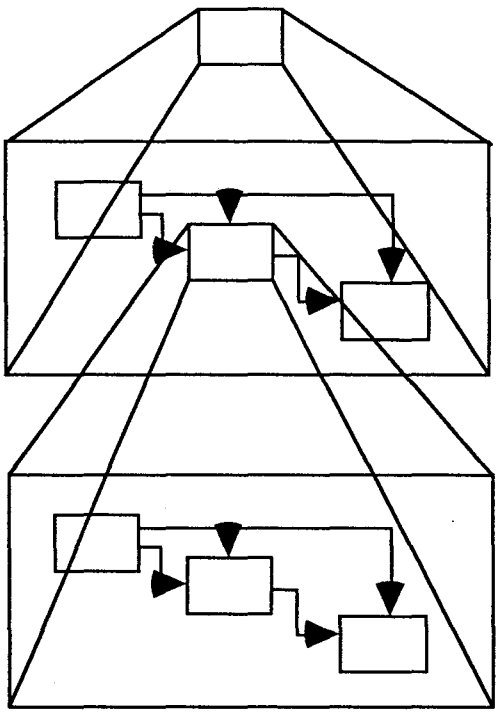


Figure 3

Séparer le Quoi du Comment

Spécifier un système consiste à séparer les trois niveaux d'abstractions que sont:

- niveau Conceptuel (le quoi et le pourquoi),
- niveau Organisationnel (le Qui, le Ou, et le Quand)
- niveau Opérationnel (le Comment)

SDAT permet de répondre aux deux premiers niveaux d'abstraction.

Formaliser de manière graphique

Le langage naturel n'est pas suffisamment précis pour permettre une compréhension efficace du système. Il ouvre la porte aux redondances, aux contradictions...

Les modèles SADT sont basés sur des principes de représentation graphique destinés à:

- exposer les détails de façon progressive et contrôlée,
- encourager la concision et la précision, et
- concentrer l'attention sur les interfaces de modules.

Le symbolisme SADT est adapté aux personnes lisant ou écrivant de gauche à droite et de haut en bas.

Nous allons nous limiter à décrire la syntaxe des diagrammes d'activités (cf. figure 4) (seules apparents dans le chapitre II).

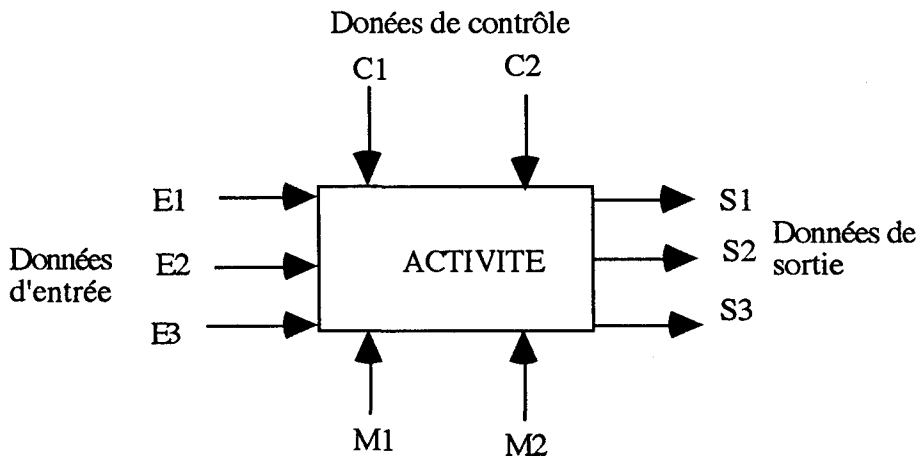


Figure 4

Un diagramme d'activités, identifié par un verbe ou un nom d'action

- crée, génère des données de sortie,
- transforme, modifie, change l'état de données d'entrée,
- sollicite les données d'entrée

à partir de directives de contrôle, en s'appuyant sur les potentialités des mécanismes.

Des étiquettes peuvent être rajoutées aux flèches d'un actigramme pour apporter une précision. Une flèche entourée de parenthèse ne sera plus reportée dans les niveaux inférieurs de la décomposition.

ANNEXE II

Soit $f(x,y)$ l'image binaire d'un objet unique. Soit $N \times M$ les dimensions de l'image $f(x,y)$.

Les moments bidimensionnels de l'objet sont donnés par l'équation:

$$m_{p,q} = \sum_{1}^{N} \sum_{1}^{M} x_i^p . y_i^q . f(x_i, y_i)$$

Les moments centrés sont donnés par l'équation:

$$\mu_{p,q} = \sum_{1}^{N} \sum_{1}^{M} (x_i - x_g)^p . (y_i - y_g)^q . f(x_i, y_i)$$

où

$$x_g = \frac{m_{10}}{m_{00}} ; y_g = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

Le calcul des moments par intégrale de surface représente une quantité importante de calculs. Le théorème de GREEN permet de transformer les intégrales de surface en intégrales curvilignes. Il est possible de calculer les moments bidimensionnelles à partir du contour d'un objet. Le gain en temps de calcul est considérable.

Un nombre limité de moments suffit à décrire une forme. Nous donnons ci-dessous l'expression discrète des intégrales curvilignes pour les six premiers moments:

- soit (x_i , y_i) les coordonnées d'un pixel de contour.
- les sommations portent sur l'ensemble des pixels de contour:

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-1} ; \Delta y_i = y_i - y_{i-1}$$

$$A_i = x_i . \Delta y_i - y_i . \Delta x_i$$

$$m_{00} = \frac{\sum A_i}{2}$$

$$m_{10} = \frac{\left(\left| \sum A_i \left(x_i - \frac{\Delta x_i}{2} \right) \right| \right)}{3}$$

$$m_{01} = \frac{\left(\left| \sum A_i \left(y_i - \frac{\Delta y_i}{2} \right) \right| \right)}{3}$$

$$m_{20} = \frac{\left(\left| \sum A_i \left(x_i^2 - x_i . \Delta x_i + \frac{\Delta x_i^2}{3} \right) \right| \right)}{4}$$

$$m_{02} = \frac{\left(\left| \sum A_i \left(y_i^2 - y_i . \Delta y_i + \frac{\Delta y_i^2}{3} \right) \right| \right)}{4}$$

$$m_{11} = \frac{\left(\left| \sum A_i \left(x_i . y_i - \frac{x_i . \Delta y_i}{2} - \frac{y_i . \Delta x_i}{2} + \frac{\Delta x_i . \Delta y_i}{3} \right) \right| \right)}{4}$$

ANNEXE III

Transformation de Hough

La première application de la transformation de Hough en analyse d'images fut la détection de lignes droites. La méthode nécessite une extraction préalable de points caractéristiques supposés appartenir à une droite. La technique de Hough consiste à classifier, parmi tous les pixels extraits, les pixels appartenant à la même ligne droite. Pour cela l'équation de toutes les droites possibles sont envisagées et une segmentation est appliquée pour ne retenir que celles qui s'approchent le mieux de la disposition réelle des pixels étudiés.

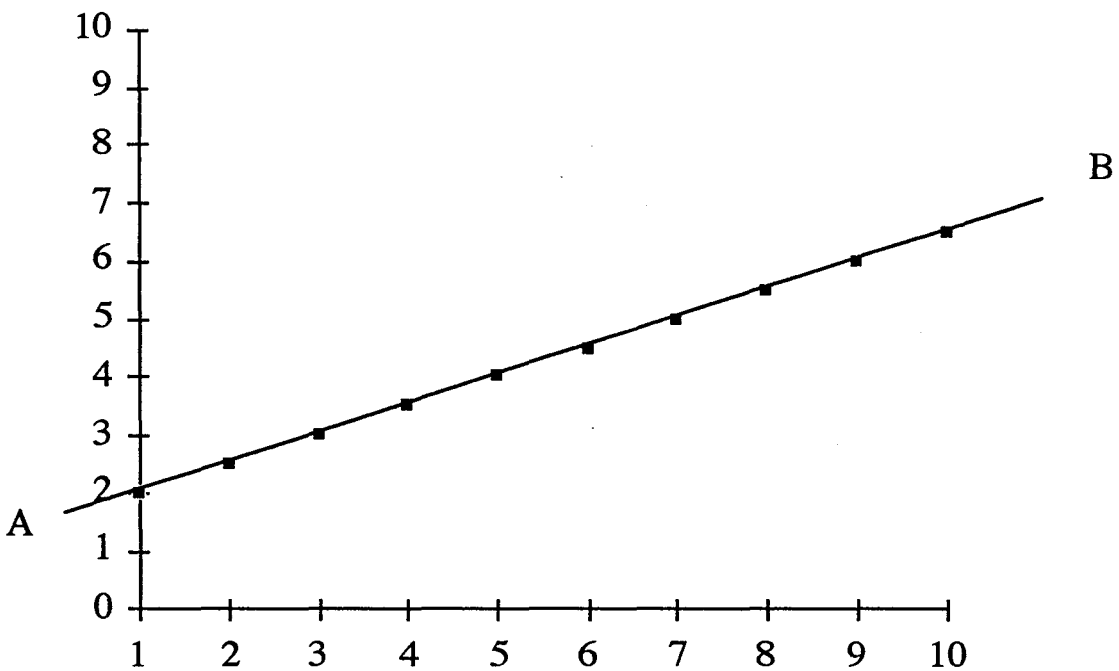


Figure 1 : Ligne droite dans le plan image

Considérons un des pixels $p(x_i, y_i)$ dans la figure 1 et l'équation d'une droite $y = m.x - c$. Quelles sont les lignes qui peuvent passer par le pixel $p(x_i, y_i)$? La réponse est simplement l'ensemble des droites dont les paramètres satisfont l'équation $j = m.i - c$. Cet ensemble de droites correspond à une droite dans l'espace paramétrique (c, m). En appliquant de manière itérative ce type de raisonnement sur l'ensemble des pixels de la figure 1, nous obtenons un ensemble de droite dans l'espace paramétrique. Toutes ces droites s'intersectionnent au point (c', m'), paramètre de la droite AB reliant l'ensemble des pixels de la figure 1. L'opération qui

consiste à trouver les paramètres dans le plan de Hough des droites pouvant passer par les pixels $p(x_i, y_i)$ du plan image s'appelle une "Back Projection".

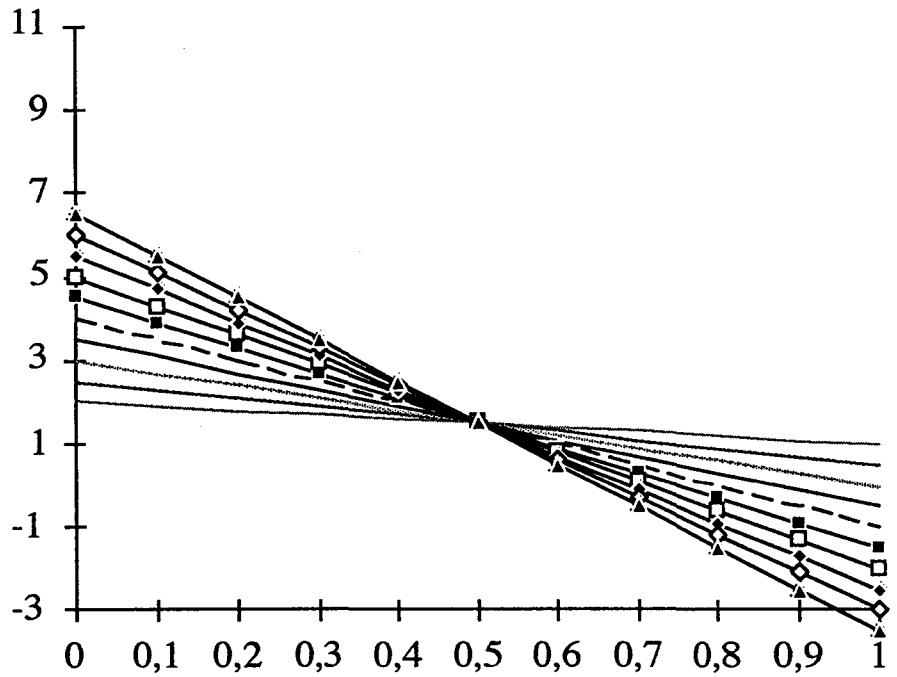


Figure 2 : Plan de Hough

La relation spécifique qui existe entre le plan image et le plan de Hough a suggéré l'algorithme suivant pour détecter les lignes droites pouvant relier un ensemble de pixels donnés:

- Discrètiser le plan de Hough sous la forme d'un accumulateur (cf. Figure 3),
- Pour chaque pixels en entrée incrémenter les cases de l'accumulateur $A(c,m)$

$A(c,m) = A(c,m) + 1$

qui vérifient $c = -m.i + j$.

- Les maxima locaux dans l'accumulateur correspondent aux meilleures estimations des droites reliant les pixels d'entrée.

2										
2	2									
2	2	2								
2	3	4	3							
2	2	3	5	6						
	1	1	2	4	10	5	2	1	1	1
						5	5	4	2	2
							3	3	3	1
								2	2	2
									2	2
										2

Figure 3 : Accumulateur du plan de Hough

La méthode décrite ci-dessus correspond à la transformation de Hough .

Transformation de Hough généralisée

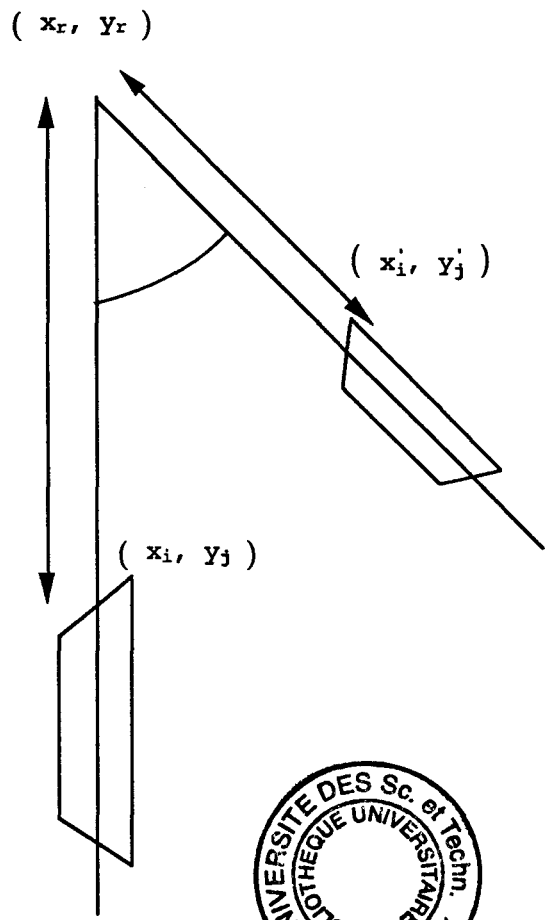
Jusqu'à maintenant, nous avons décrit la technique de Hough comme moyen de retrouver des segments de courbes dans une image. Il existe un algorithme général pour la reconnaissance de formes quelconques.

L'algorithme utilise un échantillon de contour de la forme à reconnaître. A partir de celui-ci, il est en mesure de reconnaître la forme même si elle a subi une translation, une rotation et/ou une homotéthie. Les coefficients de ces transformation peuvent être retrouvés avec précision..

Entre deux échantillons de la même famille, nous pouvons écrire la relation suivante (Figure 4):

$$x'_i = x'_r + \left(y_r - y_i\right).a_4.\sin\left(a_3\right) - \left(x_r - x_i\right).a_4.\cos\left(a_3\right)$$

$$y'_i = y'_r + \left(x_r - x_i\right).a_4.\sin\left(a_3\right) - \left(y_r - y_i\right).a_4.\cos\left(a_3\right)$$



UNIVERSITE DES Sc. et Techn.
BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE
LILLE

Figure 4 : Deux échantillons de la même forme

Nous pouvons introduire les paramètres $\left(a_1, a_2\right)$ pour décrire la translation entre les deux figures. Nous obtenons le système d'équations:

$$x'' = x'_i - a_1 = x'_r + \left(y_r - y_i\right).a_4.\sin\left(a_3\right) - \left(x_r - x_i\right).a_4.\cos\left(a_3\right) - a_1$$

$$y'' = y'_i - a_2 = y'_r + \left(x_r - x_i\right).a_4.\sin\left(a_3\right) - \left(y_r - y_i\right).a_4.\cos\left(a_3\right) - a_2$$

Deux ensembles de coordonnées sont deux échantillons de la même forme si $x - x'' = 0$ et $y - y'' = 0$. Nous avons le système d'équation qui définit le plan de Hough dans lequel nous pouvons "Back projection" des informations image. Les maxima dans l'accumulateur associés au plan de Hough permettent de déceler dans l'image un échantillon de la forme recherchée. Les coordonnées de ces maxima définissent précisément les caractéristiques de l'échantillon retrouvé.

hall
14.2
EDY

UNIVERSITE DES Sc. et Techn. LILLE
BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE