



HAL
open science

Intégration d'un capteur multi-fonctionnel de vision dans un îlot de fabrication de pièces mécaniques : aspects méthodologiques et réalisationnels

Raphaël Vogrig

► **To cite this version:**

Raphaël Vogrig. Intégration d'un capteur multi-fonctionnel de vision dans un îlot de fabrication de pièces mécaniques : aspects méthodologiques et réalisationnels. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 1990. Français. NNT : 1990NAN10178 . tel-01747174

HAL Id: tel-01747174

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01747174>

Submitted on 29 Mar 2018

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

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



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

Thèse présentée
à l'Université de NANCY I

pour l'obtention du grade de

Docteur de l'Université de Nancy I

Option "Métrologie - Automatique - Electrotechnique"

par

Raphaël VOGRIG

**"INTEGRATION D'UN CAPTEUR MULTI-FONCTIONNEL DE VISION
DANS UN ILOT DE FABRICATION DE PIECES MECANQUES :
ASPECTS METHODOLOGIQUES ET REALISATIONNELS"**

à soutenir publiquement le 4 Juillet 1990 devant la commission d'examen composée de :

Président Directeur de thèse	M.VERON	Professeur, Université de Nancy I Directeur du L.A.C.N
Rapporteurs	M.HUSSON	Professeur, I.N.P.L Directeur du C.R.A.N
	M.STAROSWIECKI	Professeur, Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres Artois, Centre d'Automatique
Examineurs	M.BREMONT	Professeur Université de Nancy 1 Directeur du L.E.A
	M.MOREL	Maitre de conférence Université Nancy 1
	M.RICAILE	Ingénieur, C.R.I.T.T Métaux, Amifop, Bar le duc

SOMMAIRE

Introduction	1
Chapitre 1 : Visionique et Productique	
1) Vision : considérations générales	
1.1) La vision artificielle	5
1.2) La visionique	13
2) Automatisation intégrée de fabrication manufacturière	
2.1) De nouvelles contraintes de production	21
2.2) Evolution des systèmes de fabrication	21
2.3) Flexibilité, auto-contrôle et intégrabilité	22
2.4) Vers la machine autonome	25
2.5) Généricité de l'organisation d'un système de fabrication	25
2.6) Voir ... et raisonner ...pour être autonome	26
3) Visionique et productique	
3.1) Les besoins en informations visuelles	29
3.2) Les contraintes	30
4) Contexte de la recherche	
4.1) Les développements menés au laboratoire	34
4.2) Les outils et méthodes utilisées	36
4.3) Notre objectif	36
Chapitre 2 : Formalisation du problème	
1) Le modèle d'un système intégré de production	38
2) L'impact de la visionique...	
...sur le système de gestion de la production (SGP)	
2.1) "Concevoir les produits"	43
2.2) "Concevoir les processus"	43
2.3) "Contrôler la qualité de la production"	44
...sur le système Physique de Production (SPP)	
2.4) "préparer la fabrication"	45
2.5) "fabriquer sur la cellule"	48
2.6) "maintenir"	59
2.7) Conclusion	61
3) Intégrer la visionique...	
...dans le SGP	
3.1) "Concevoir les processus de fabrication"	63
3.2) "Concevoir les moyens de contrôle"	75
...dans le SPP	
3.3) "Intégrer un processus de contrôle dans le SPP"	79
3.4) "Contrôler un objet ou un processus"	84
4) Conclusion	89

Chapitre 3 : Intégration fonctionnelle et organique d'un système de vision dans une cellule de fabrication

1) Introduction	91
2) Génie automatique et génie visionique	
2.1) Le concept de Génie Automatique	92
2.2) Les faiblesses du "génie visionique"	92
2.3) Les travaux du LACN concernant le Génie Automatique	94
2.4) Conclusion	100
3) Le cycle de conception d'un processus de contrôle par vision	
3.1) Du besoin à l'implantation d'une solution	101
3.2) Une méthodologie de conception	102
4) Le traitement des dysfonctionnements	
4.1) Détection de dysfonctionnement et réactions sur le procédé	144
4.2) Diagnostic et correction de dysfonctionnements	148
5) Applications	
5.1) Implémentation "mono-tâche" sous MS-DOS	151
5.2) Implémentation "temps réel multi-tâches" sous RTC	152
6) Conclusions	
6.1) Un capteur flexible	156
6.2) Un capteur auto-contrôlé	156
6.3) Un capteur ouvert	157

chapitre 4 : Applications

1) L'îlot automatisé de production	
1.1) Ressources matérielles	160
1.2) Structuration de la commande de l'îlot automatisé	162
2) Les développements menés en visionique	
2.1) Nos moyens matériels en visionique	174
2.2) Identification d'objets	176
2.3) Le couplage robot / vision	193
3) Applications : intégration des développements vision dans l'îlot automatisé de production	
3.1) Intégration du système de vision d'un point de vue <i>services</i>	197
3.2) Intégration du système de vision d'un point de vue <i>procédés</i>	198
Perspectives	208
Conclusion	212
Bibliographie	213

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au Centre de Recherche en Automatique de Nancy (C.R.A.N. - U.A. 821 du C.N.R.S.) dans le Laboratoire d'Automatique et de Commande Numérique (L.A.C.N.).

A son terme, je tiens à exprimer mes sincères remerciements aux personnes qui me font l'honneur de composer ce jury :

Monsieur le Professeur VERON, Directeur du L.A.C.N., pour m'avoir accueilli ces dernières années au sein du laboratoire et pour la confiance qu'il nous manifeste en acceptant d'être président de mon jury de thèse.

Monsieur le Professeur HUSSON, Directeur du C.R.A.N., et Monsieur le Professeur STAROSWIECKI, du Centre d'Automatique de l'Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres Artois, pour l'intérêt qu'ils portent à ces travaux et pour avoir accepté d'en examiner la teneur,

Monsieur le Professeur BREMONT, Directeur du L.E.A., pour avoir accordé des instants que je lui sais précieux à une lecture approfondie de ce mémoire,

Monsieur MOREL, Maître de conférences à l'Université de Nancy I, pour son soutien et ses conseils durant toutes ces années, et pour avoir su conférer à ce travail une approche originale,

Monsieur RICAILLE, Ingénieur au C.R.I.T.T Métaux à Bar le duc, pour avoir accepté de participer à ce jury.

Les développements ont été réalisés sur le site de l'A.I.P. Lorrain. Un grand Merci à J.P. DRAPIER et B.SALZEMAN pour leur aide et leur disponibilité, sans oublier mes collègues et amis de l'I.U.T. Génie Mécanique.

Remerciements enfin à tous mes camarades du laboratoire qui, de près ou de loin, ont participé au projet Ilot et à tous les autres pour leur présence chaleureuse.

INTRODUCTION

Contexte de l'étude

Les recherches menées par le CRAN-LACN concernant la conception des systèmes automatisés de fabrication ont fait le constat d'une carence en méthodes et outils d'ingénierie d'intégration (MOR 88). De ce fait, notre équipe a tenté d'apporter sa contribution à l'ingénierie d'Automatique (figure 1) par différents développements autour de ce thème de recherche (LHO 85, COR 89, TIX 89).

Le projet pilote d'Ilot Automatisé de Production de Pièces Mécaniques a été et constitue toujours le support privilégié de validation de ces méthodes et outils (*). Nous avons personnellement contribué à l'amélioration du contrôle du processus de fabrication par l'intégration d'un système de vision multi-fonctions au sein de cette cellule.

Par ailleurs, depuis quelques années, les laboratoires de recherche dans le domaine de la vision artificielle s'orientent vers des applications de pointe (couplage vision et robotique mobile, interprétation de scènes naturelles,...). De ce fait, la vision par ordinateur reste, aux yeux des industriels, un domaine complexe caractérisé par son aspect "high tech", ce qui est en partie justifié. Intégrer une application de vision dans un environnement industriel signifie se heurter à quantité de problèmes (éclairages, optiques, informatiques,...) et donc posséder des connaissances d'ordinaire réservées à différents corps de métiers.

Dans un premier temps, les constructeurs et intégrateurs de systèmes ont ressenti le besoin de faire reconnaître "cette pluralité du savoir" en rassemblant leurs activités en une nouvelle discipline, la visionique. En fait, il faudrait plutôt parler de savoir-faire, l'expérience constituant le meilleur atout de réussite. En conséquence, le marché de la VO n'a pas eu l'essor pressenti. Depuis peu, afin de présenter aux investisseurs potentiels la vision industrielle comme un secteur en pleine maturité:

- les constructeurs améliorent l'ergonomie des systèmes, de façon à les rendre utilisables par des non-spécialistes,
- les intégrateurs valorisent leur expérience en confortant leurs expériences (création en France d'un "club vision"), et initialisent des réflexions sur les méthodologies de mise en oeuvre d'une application vision.

(*) Les références des travaux menés sur ce projet sont les suivantes : (ADI 85) (ADI 86) (RIC 85) (LEP 86) (BAJ 87) (DIV 87) (GRE 87) (MUN 88)

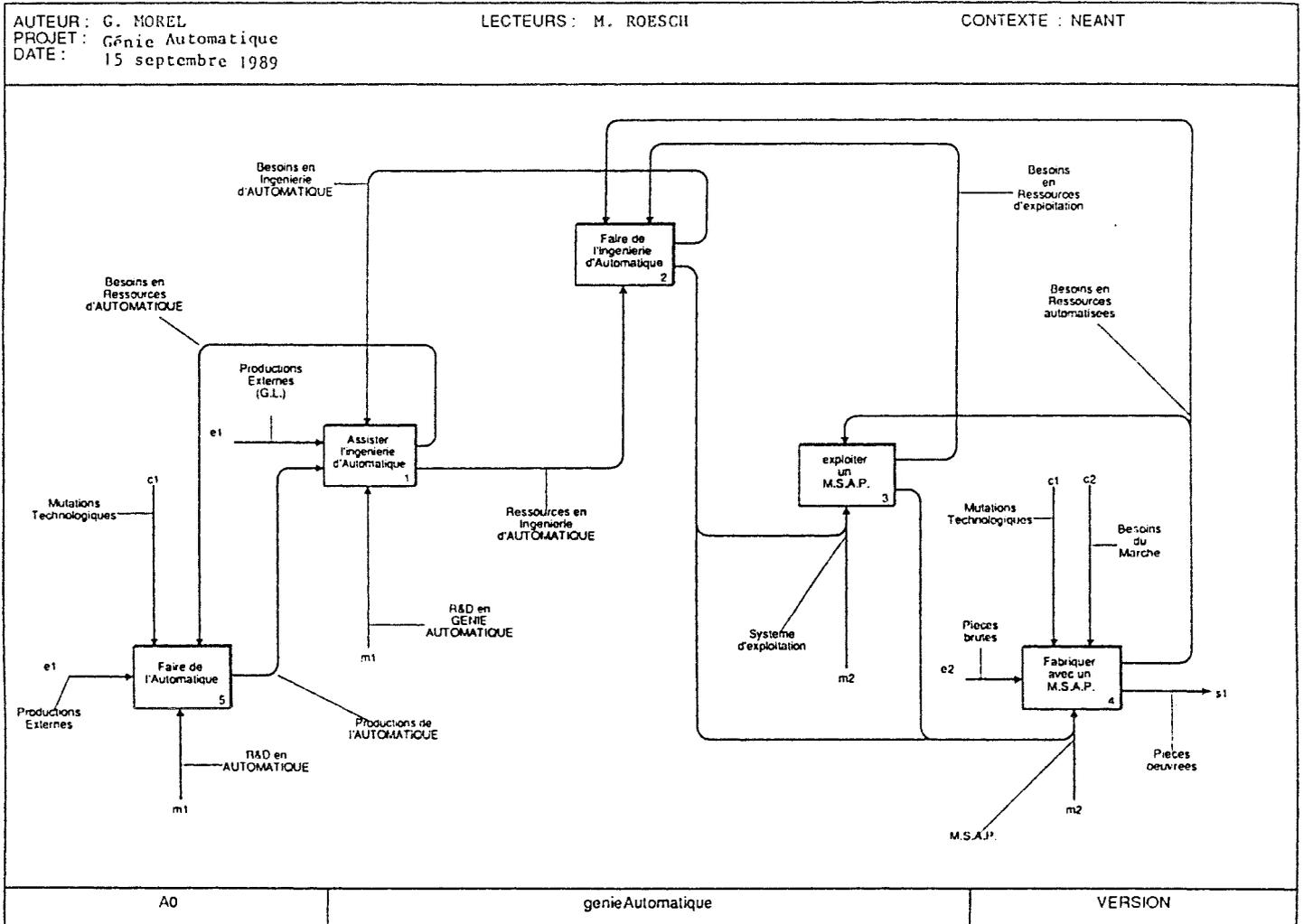


figure 1 : Le Génie Automatique

Nos motivations

Nos travaux s'inscrivent dans ce contexte. Nos motivations ne concernent pas l'amélioration du procédé de vision en tant que tel, mais la recherche d'une méthodologie d'intégration. En ce sens, notre contribution concerne moins l'activité "faire de la visionique" (figure 2) que l'activité "Assister l'ingénierie visionique".

Notre but est de promouvoir l'usage de la technologie visionique par une utilisation plus systématique pour des problèmes de complexité moyenne, et ce, dans un environnement de cellule flexible d'usinage. Concrètement, il s'agit d'assister le développement d'une application vision en formalisant les fonctions que doit assurer le capteur et en améliorant la structuration des données et traitements.

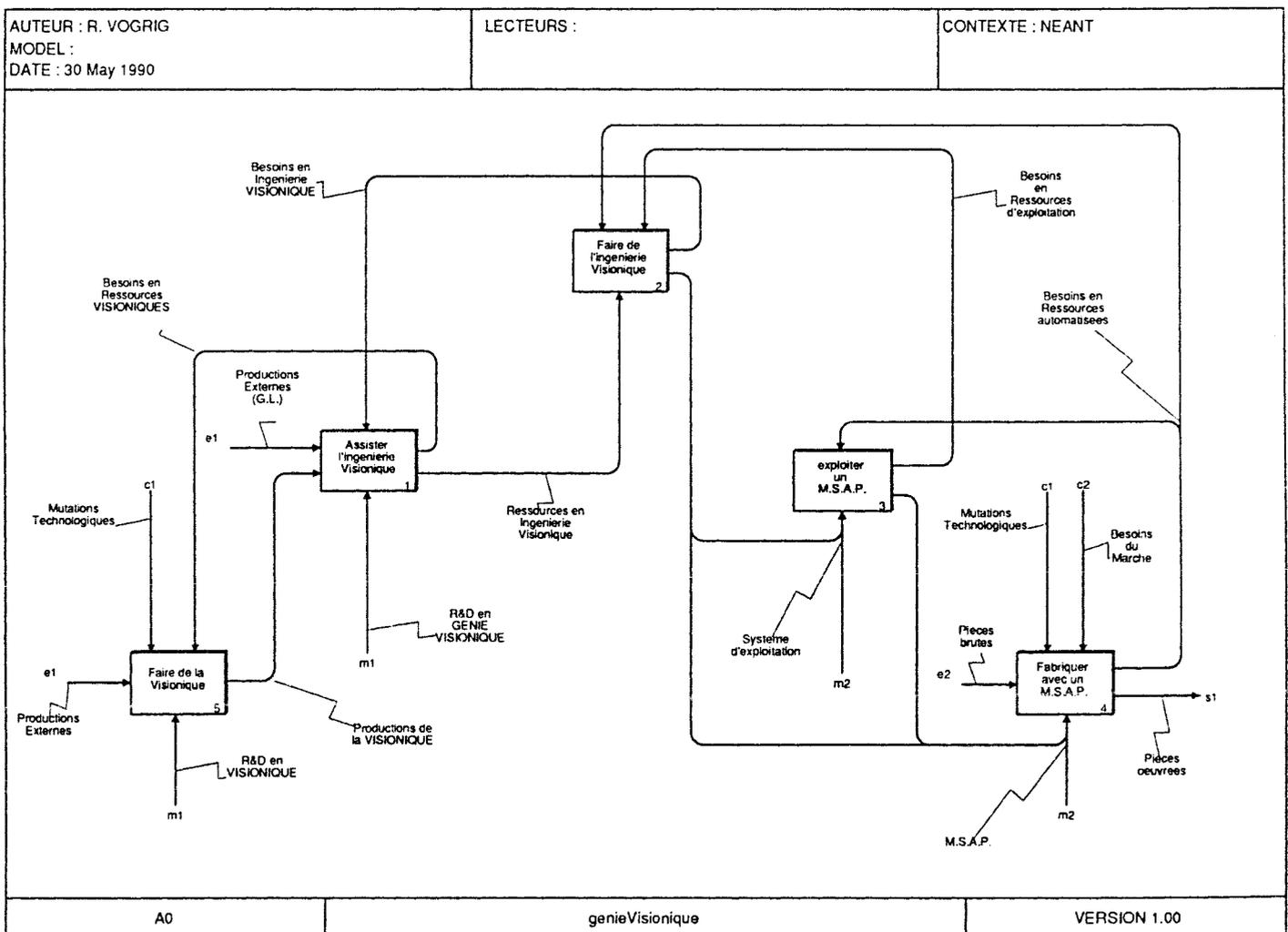


figure 2 : Le Génie Visionique

Composition du mémoire

Le premier chapitre situe cette nouvelle discipline qu'est la visionique dans le contexte productique. Après quelques considérations générales sur la vision par ordinateur et l'automatisation intégrée de fabrication manufacturière, nous soulignons les besoins en informations visuelles des systèmes flexibles (Flexible Manufacturing Systems), Intégrés (Computer Integrated Manufacturing) et auto-contrôlés (Manufacturing Intelligence) de production.

Nous nous proposons, au second chapitre, d'apprécier l'impact d'une *fonction vision* dans un Système Intégré de Production (SIP), puis d'en formaliser l'intégration. Deux aspects sont successivement pris en compte :

- l'intégration dans les activités d'organisation d'un système de production, à travers les domaines de conception, de maintenance et de contrôle-qualité;
- l'intégration dans le système physique de production, pour les processus de transformation matière (usinage), positionnelle (manutention des pièces) et informationnelle (identification des pièces, contrôle dimensionnel,...).

L'objet du troisième chapitre est d'apporter une contribution au Génie visionique en formalisant la conception et la réalisation d'une application vision. L'idée est d'apprécier l'applicabilité des outils et méthodes développés pour le Génie automatique aux différentes étapes du cycle de conception d'un processus de contrôle par vision. Ensuite, nous portons plus particulièrement notre attention sur les problèmes liés à la détection et au traitement des dysfonctionnements. Enfin, nous validons la structuration retenue pour le capteur par son implantation sur un système d'exploitation temps-réel.

Le dernier chapitre présente en premier lieu nos développements relatifs à la reconnaissance, à la localisation et à l'inspection d'objets. Ces outils logiciels sont ensuite exploités dans les applications suivantes :

- détection de présence, identification, localisation d'une pièce sur le poste entrée de la cellule, en vue de sa saisie par un robot;
- surveillance des opérations de pose et prise d'une pièce par le robot sur un montage d'usinage;
- évaluation de l'usure de plaquettes de tournage.

chap1 : VISIONNIQUE et PRODUCTIQUE

1) Vision : considérations générales

1.1) La vision artificielle

1.1.1) Recherche : vers la compréhension d'image

Les articles de vulgarisation concernant la Vision par Ordinateur, devenus depuis peu monnaie courante dans la presse spécialisée, font parfois oublier qu'ils sont le fruit de plusieurs décennies de recherche. L'étude de la perception visuelle de l'environnement débute dès 1950 aux Etats-Unis, suivie rapidement par le traitement par ordinateur d'images émises par les sondes spatiales. En France, ce n'est qu'au début des années 80 que l'essor de la vision artificielle s'est réellement fait sentir, stimulée notamment par le développement de la robotique (BES 88, ITM 85).

En effet, si les premières générations de robots sont essentiellement capables de seconder l'homme dans les aspects les plus mécaniques de son travail, ils n'en sont pas moins des manipulateurs aveugles et par conséquent inconscients des variations de leur environnement (DEV 77). Les roboticiens s'efforcent alors de conférer à la machine les facultés d'adaptativité propres au comportement humain en la dotant :

- de sens par l'expédient de capteurs extéroceptifs (capteurs visuels, tactiles, de proximité, sonores,...);
- d'une capacité de raisonnement, exploitant les développements de l'intelligence artificielle.

Les recherches tentant de comprendre et de modéliser le fonctionnement du cerveau humain ont mis en exergue les liens étroits de cette dualité sens-intelligence; pour illustrer les difficultés d'une telle entreprise, il suffit de constater l'extraordinaire puissance de notre cerveau capable de traiter en parallèle des informations de natures et de niveaux d'abstraction différents. Dénotant l'ampleur et la complexité du

problème, T.Kanade et H.Simon (BES 88) de Carnegie-Mellon University précisent "qu'un ordinateur sait mieux jouer aux échecs que distinguer une chaise d'un fauteuil".

La motivation de ces travaux fut la réalisation de systèmes avancés de compréhension d'images, ou comment passer de l'image brute à son interprétation ? (Mar 82) élabora une théorie de la vision, qui eut le mérite de décomposer le problème global de la vision en une série de processus distincts, quoique très couplés. Cela signifie qu'une image pourrait être progressivement interprétée par des modules relativement indépendants. Il en reste notamment des représentations successives de l'information contenue dans une image :

- *l'image* elle-même, assimilable à un tableau de valeurs relatives à une grandeur physique (niveau de gris, distance, température, etc.) associée à chaque élément de surface (ou pixel: picture element).
- *la scène primaire* qui rend explicite les informations relatives aux variations radiométriques (variations de luminance), de chrominance, de texture, etc.; les variations brusques correspondent aux bords des objets contenus dans l'image. Ce n'est plus une image, mais une description d'image en terme de contours ou de régions.
- *la scène 2D1/2* qui porte les informations relatives aux surfaces
- *le modèle du monde* qui décrit les formes et leur organisation spatiale dans un repère propre à chaque objet.

La scène primaire et la scène 2D1/2 dépendent du point de vue de l'observateur (modèles centrés sur l'observateur), tandis que le modèle du monde est indépendant du point de l'observateur (modèles centrés sur l'objet).

Il semble désormais acquis que tout système évolué de vision par ordinateur intègre ces différents niveaux de description, bien que personne ne sache encore très bien comment ils interagissent (WIN 88). Les possibilités suivantes sont sujettes à controverse :

- un processus ascendant, où l'information élaborée à un niveau est uniquement dépendante du niveau inférieur;
- un processus descendant, dans lequel la compréhension de l'image serait fortement influencée par "ce que l'on est censé voir";
- un processus exploitant une propagation de contraintes hétérarchique; les informations de différentes natures (brillance, distance, etc.) sont susceptibles d'interférer.

Quoiqu'il en soit, certaines équipes de recherche proposèrent des ébauches de solution, validées par des réalisations sophistiquées : reconnaissance de pièces en vrac planaire, coopération vision-robot, ... Toutefois, la compréhension d'image ne se

chap1 : VISIONIQUE et PRODUCTIQUE

1) Vision : considérations générales

- 1.1) La vision artificielle
 - 1.1.1) Recherche : vers la compréhension d'image
 - 1.1.2) Les fonctions d'un système de Vision artificielle
- 1.2) La visionique
 - 1.2.1) Un domaine pluri-disciplinaire
 - 1.2.2) Des secteurs d'activités diversifiés
 - 1.2.3) Les intervenants
 - 1.2.4) Les solutions industrielles

2) Automatisation Intégrée de fabrication manufacturière

- 2.1) De nouvelles contraintes de production
- 2.2) Evolution des systèmes de fabrication
- 2.3) Flexibilité, auto-contrôle et intégrabilité
- 2.5) Généricité de l'organisation d'un système de fabrication
- 2.6) Voir ... et raisonner... pour être autonome

3) Visionique et productique

- 3.1) Les besoins en "informations visuelles"
- 3.2) Les contraintes
 - 3.2.1) les contraintes propres à une cellule de fabrication
 - 3.2.2) Les contraintes propres à une cellule *flexible*
 - 3.2.3) Les contraintes propres à une cellule *auto-contrôlée*
 - 3.2.4) Les contraintes propres à une cellule *intégrée*

4) Contexte de la recherche

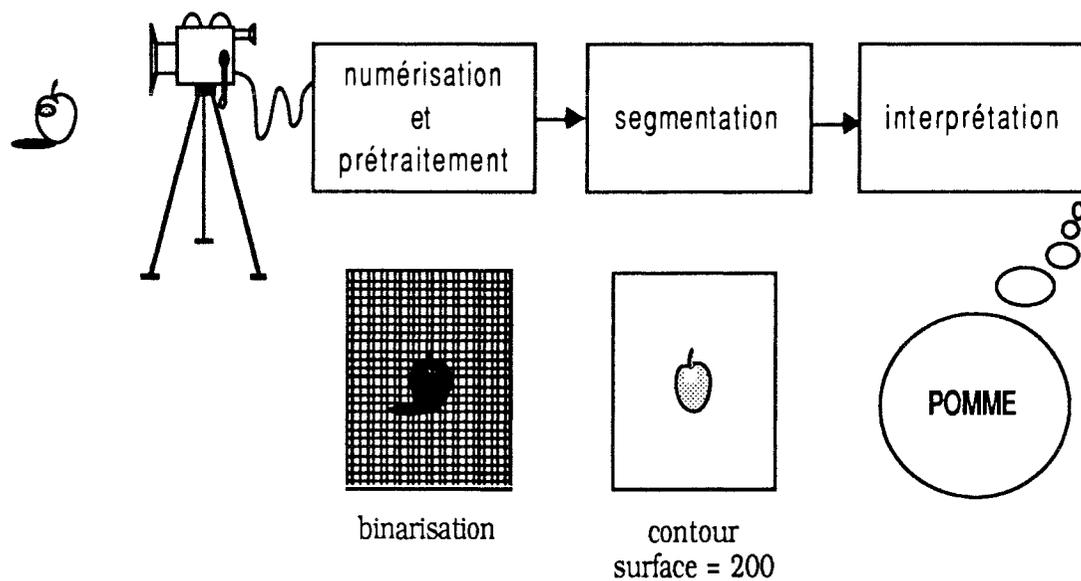
- 4.1) Les développements menés par le laboratoire
- 4.2) Les outils et méthodes utilisés
- 4.3) Notre objectif

limite pas à l'identification de formes (qui reste un problème d'appartenance d'un objet donné à une classe parmi un ensemble), mais implique la reconnaissance sémantique des images :

"Comprendre une image, c'est savoir comment ses composants sont causalement reliés à l'environnement" (MIC 87).

Ce problème, qui fait intervenir la notion d'intelligence, reste très ouvert, d'autant que :

"Si tous les êtres humains reconnaissent les mêmes images, il n'en comprennent pas la même chose : la compréhension d'image est liée à tout un complexe socio-culturel, donc à une accumulation d'informations signifiantes mémorisées antérieurement" (MIC 87).



A l'heure actuelle, les travaux de recherche en vision appliquée portent principalement sur :

- le traitement simultané de plusieurs sources de connaissance, issues par exemple de capteurs différents,
- la conception et l'intégration de capteurs (notamment 3D par triangulation laser),
- l'analyse du mouvement, de la couleur, de la texture,
- la modélisation et l'interprétation de scène 3D (stéréovision,...),
- l'accroissement de la rapidité des systèmes (parallélisation des traitements).

1.1.2) Les fonctions d'un système de Vision artificielle

Les fonctions spécifiques au traitement de l'image

"Un des problèmes essentiels auxquels se heurtent les systèmes de vision, naturels ou artificiels, est la profusion du contenu informationnel fourni par le ou les capteurs. La première mission de la machine de vision sera donc d'extraire d'une image l'information pertinente pour exécuter une tâche." (FAU 88).

Il n'est pas sans intérêt d'assimiler un système de vision à une sorte "d'entonnoir" qui, partant d'une image de dimensions infinies (la scène réelle), va progressivement se ramener à une image de dimension finie (étape de digitalisation) puis au fil des traitements à des informations qualitatives (ex: la scène observée comprend deux pièces de type A et une de type B, l'objet ne présente pas de défaut, etc.) (figure 1).

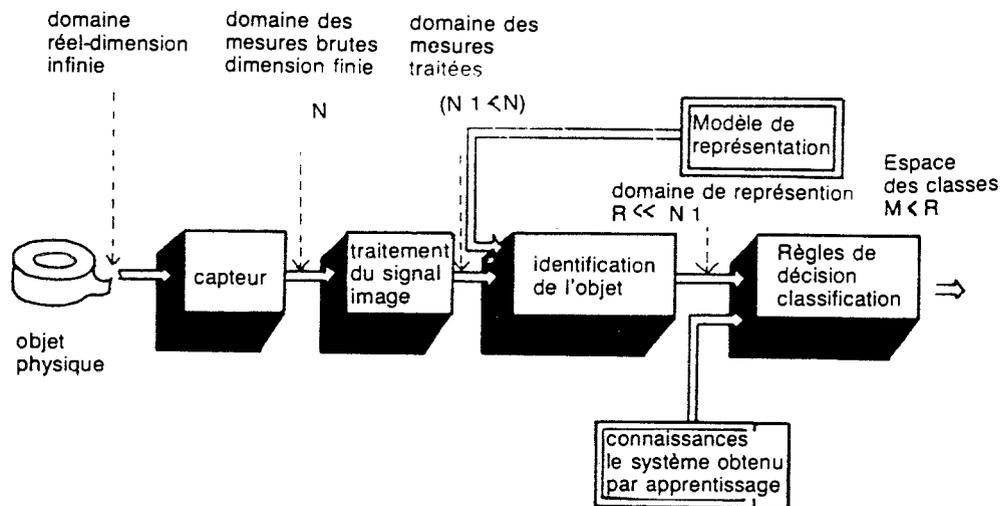


figure 1: réduction du nombre d'informations à chaque module de traitement (LAU 85)

Typiquement, une application de vision artificielle comprend quatre phases relativement indépendantes :

- la mesure
- la digitalisation et les prétraitements de l'image
- la segmentation
- l'interprétation.

Mesure

La *mesure* correspond à la perception de l'environnement. Elle est assurée par des capteurs sensibles à des grandeurs physiques telles que radiométrie (caméra à

tubes électroniques, caméras solides matricielles ou linéaires), chrominance (caméras couleurs), distances (télémètres par mesure du temps de vol ou par triangulation, stéréoviseurs), températures (capteur infra-rouge), pression, etc. L'information est le plus souvent disponible sous forme analogique, tout du moins dans le cas des caméras.

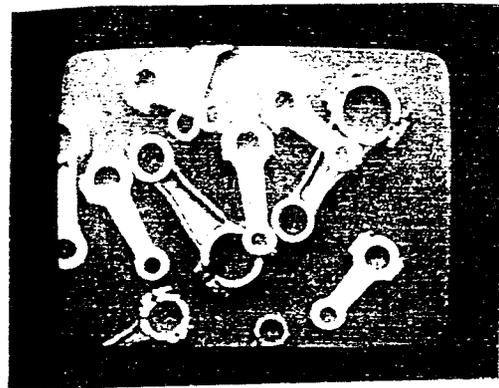
Il importe de souligner le caractère composite d'une image, qui est en fait un amalgame d'images de différentes natures, appelées "images intrinsèques" (BOU 88).

Les conditions de prise de vue conditionnent la complexité des traitements et la qualité des résultats (LAU 85) :

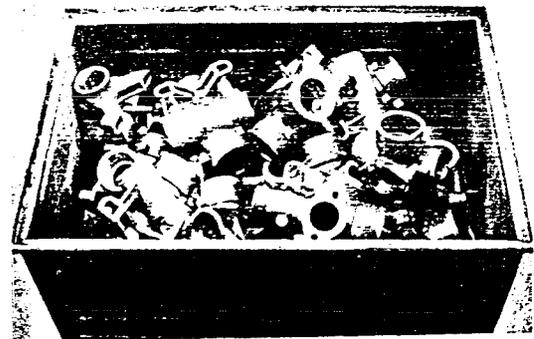
- objets à l'arrêt, en mouvement de translation uniforme (convoyeur), en mouvement quelconque (avions)
- géométrie des objets (plats ou de formes quelconques)
- objets isolés, en vrac planaire, en vrac volumique (figure 2)
- difficultés liées à la texture, à la couleur, aux caractéristiques optiques des objets observés, aux problèmes de perspectives et surtout à l'éclairage environnant (lumière naturelle, par ombre chinoise, par plan laser....)



scène contenant plusieurs objets plats en équilibre plan, à l'arrêt, sans recouvrement. L'adéquation de la pince et de l'objet à prendre nécessite la recherche des zones de «préhensibilité»



pièces mécaniques en configuration de vrac planaire



pièces mécaniques de divers types entreposés en configuration de vrac volumique

figure 2 : objets isolés, en vrac planaire et en vrac volumique

Digitalisation et prétraitements

La *digitalisation* ou numérisation réalise une conversion analogique-digitale pour former une image, caractérisée par :

- la discrétisation spatiale, qualifiant la taille et la forme de l'élément de base de l'image ou pixel; les formats d'image les plus usuels vont de 64*64 pixels à 512*512
- la *quantification de la grandeur physique associée à chaque pixel*, dépendant de la résolution de l'échantillonneur (nombre de bits de codage; couramment 6 à 8, c'est à dire 64 à 256 niveaux de gris dans le cas d'une image de luminance).

Quantités de *prétraitements* sont alors applicables. Ils ont pour objet soit:

- une amélioration de l'image notamment par élimination de bruits parasites; c'est en quelque sorte une restauration de l'image réelle
- un appauvrissement "du quantitatif au profit du qualitatif", de façon à ne conserver que l'information utile au traitement
- la génération d'images dérivées de l'image initiale (par exemple, une squelettisation en morphologie mathématique); ces transformations, non explicites pour l'oeil humain, offrent des propriétés très intéressantes.

On distingue :

- *les transformations ponctuelles*, où chaque pixel subit un traitement ne dépendant que de sa valeur (correction de linéarité, seuillage, table de correspondance ou Look Up Table) ou de sa position (correction géométrique des défauts de balayage du capteur)
- *les transformations globales*, où chaque pixel subit un traitement dépendant de sa valeur et de celle de ses voisins. Ce sont essentiellement les filtrages par convolution entre des fenêtres de l'image initiale et des masques prédéfinis (filtres passe-bas, passe haut, passe-bande, filtres de gradient, filtres laplaciens), les filtrages fréquentiels dans le plan de Fourier et les opérations de morphologie mathématique basées sur la recherche d'éléments structurants (érosion, dilatation, squelettisation).

Segmentation

La *segmentation* consiste à réaliser des agrégats de pixels connexes (voisins dans l'image) ayant des caractéristiques communes (niveau de gris, couleur, distances, etc.), de façon à construire :

- en vision 2D, des primitives de type contour (un pixel est lié au maximum à deux voisins) ou de type région (un pixel peut être lié à plus de 2 voisins; par ex, "relation de 4 ou 8 voisinage")
- en vision 3D, des primitives de type surface.

Il est à remarquer que certaines primitives peuvent être extraites en temps réel par des opérateurs cablés (extraction des contours à la vitesse du signal vidéo). La caractérisation des primitives par calcul d'indices de taille ou de formes (calcul d'invariants), ainsi que des relations qu'elles présentent entre elles (connexion, disjonction, inclusion) permet une description plus "macroscopique" de l'image. On distingue pour un traitement 2D :

- les *indices globaux*, calculés sur la totalité de la primitive et représentatifs de sa taille (périmètre, surface, moments d'ordre 2), de sa position (axe de symétrie), de son orientation (barycentre) ou de son encombrement (rectangle encadrant)
- les *indices locaux*, évalués sur une partie de la primitive et représentatifs de sa forme (segments de droites, arcs de cercles, angles, codage de freeman)
- les *indices de voisinage*, tel qu'une occurrence de contours fermés (un trou) inclu dans un contour plus important.

Interprétation

L'interprétation de ces indices visuels a pour finalité une description symbolique de l'image, destinée à répondre au problème posé :

- présence ou absence d'un objet, détection de défauts, contrôle dimensionnel, contrôle de conformité, inspection de surfaces.
- positionnement, orientation (figure 3)
- identification, tri
- guidage de robot, suivi de profil/joint
- reconnaissance de caractères.

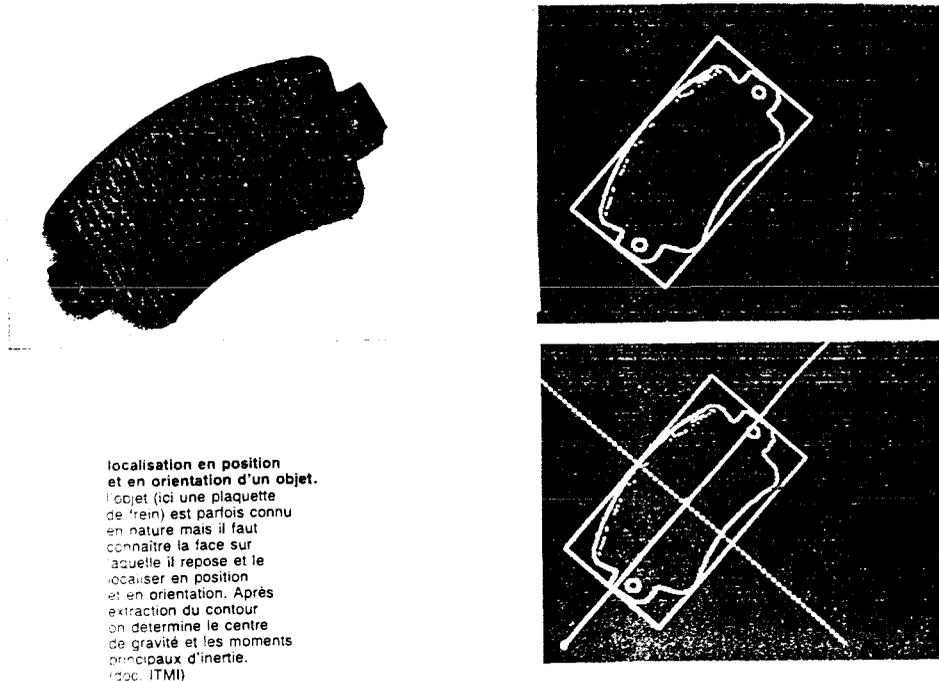


figure 3 : localisation et orientation d'un objet

Synoptique d'un système de vision

La figure 4 présente les structures de données et de traitement d'un système de vision.

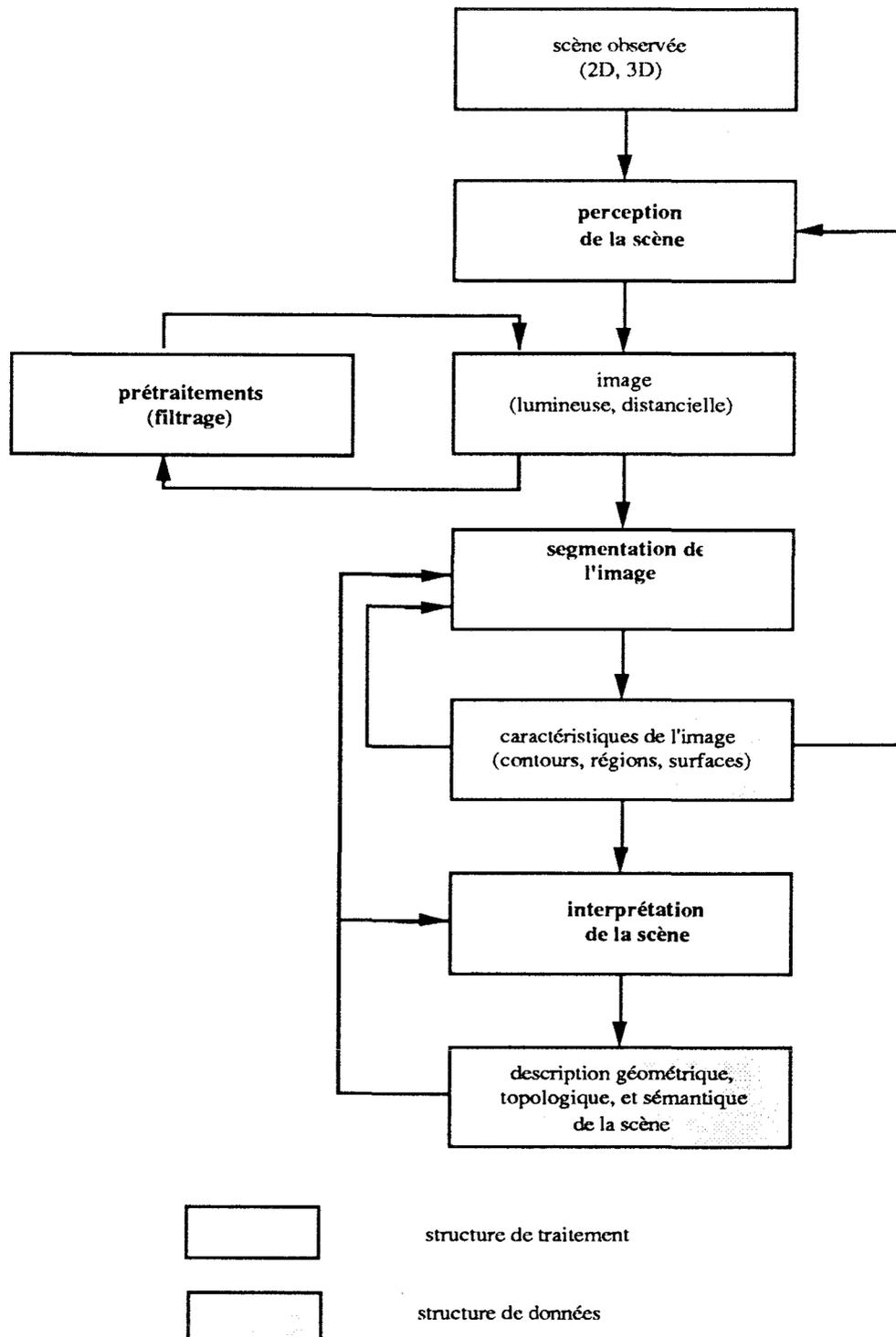


figure 4 : Synoptique d'un système de vision (GAS 88)

1.2) La visionique

1.2.1) Un domaine pluri-disciplinaire

La maîtrise croissante de la technologie dans des domaines aussi divers que la physique des composants, la micro-électronique, l'optique, etc. a permis le transfert des techniques du traitement et de l'interprétation d'image des laboratoires de recherche vers le milieu industriel. Dès lors, intégrer une application de vision dans un environnement industriel signifie se heurter à quantité de problèmes (éclairages, optiques, informatiques,...) et donc posséder des connaissances d'ordinaire réservées à différents corps de métiers. Afin de présenter aux investisseurs potentiels la vision industrielle comme un secteur en pleine maturité, les constructeurs et intégrateurs de systèmes ont ressenti le besoin de faire reconnaître "cette pluralité du savoir" en fédérant leurs activités en une nouvelle discipline, la visionique. En fait, il faudrait plutôt parler de savoir-faire, l'expérience constituant le meilleur atout de réussite.

1.2.2) Des secteurs d'activités diversifiés

Historiquement, les premières applications de la vision artificielle ont cherché à résoudre le problème de la lecture automatique des chiffres. La vision intéresse aujourd'hui des secteurs d'activités très diversifiés :

- *météorologie* (observation et suivi des nuages)
- *domaine militaire* (identification et poursuite de cibles ennemies)
- *biomédicale* (reconnaissance et comptage automatique de colonies cellulaires, amélioration et visualisation d'images en fausses couleurs pour l'observation et le traitement de tumeurs cancéreuses préalablement marquées par des procédés chimiques)
- *agro-alimentaire* (contrôle, tri, bouclage de processus continu tel que les malaxeurs)

Le secteur de la production manufacturière se sent de plus en plus concerné par le potentiel de ces capteurs.

Sous l'impulsion de différents courants de pensée (zéro panne, zéro défaut, zéro stock, etc.), le monde industriel est actuellement en proie à une restructuration sans précédent de ses outils de production, afin d'améliorer la rentabilité des entreprises. Par leur capacité à remplacer l'homme dans des tâches répétitives et fastidieuses, détecter des anomalies de fabrication et accroître l'autonomie des machines, les systèmes de vision artificielle s'incrustent tout naturellement comme des vecteurs d'amélioration de la qualité et de la productivité.

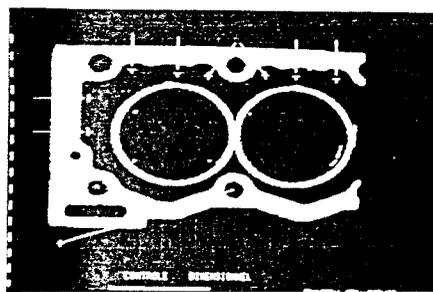
Selon (LAU 85), les applications industrielles en production manufacturière se classent de la façon suivante :

-l'*inspection automatique*, qui permet de passer d'un contrôle statistique par échantillon à un contrôle systématique, particulièrement adaptée à une production à haute cadence. Cette classe recouvre notamment les applications de mesures, de contrôle de conformité et de contrôle dimensionnel. Nous citons en exemple :

- * inspection de vis (ITM 85)
- * contrôle de joints d'étanchéité
- * détection de défauts sur des planches de bois (CIC 89).



Contrôle d'écartement
des électrodes chez
un fabricant de
bougies (Doc. ITMI)



Contrôle dimensionnel
d'une pièce complexe
pour l'automobile
(doc. Robotronics)

figure 5 : Applications de la VO en inspection

Identification, localisation et tri d'objets

Dans les processus de reconnaissance d'objet, l'objectif principal est l'affectation de l'inconnu à une classe de formes connues et éventuellement sa localisation pour lui faire subir certaines manipulations physiques. Nous citons en exemple :

- * la palettisation / dépalettisation par un robot (figure 6), le chargement / déchargement de machine-outil
- * l'identification de pièce à la volée, en déplacement sur un convoyeur.

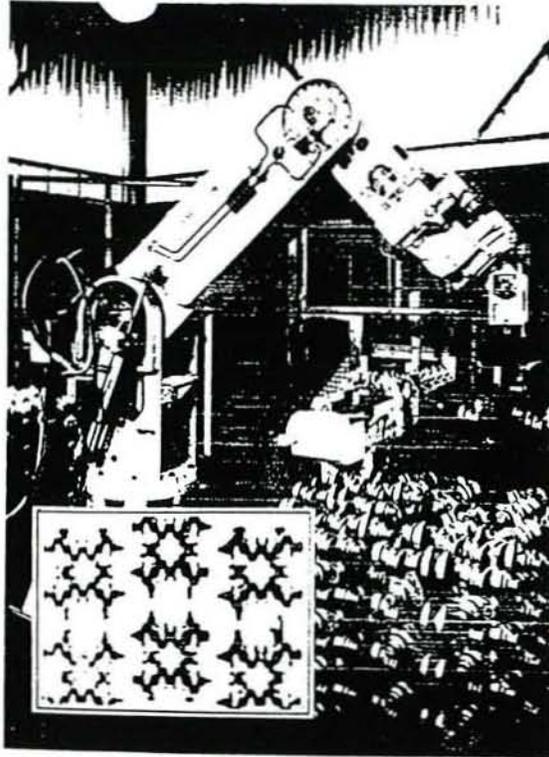


figure 6 : prise de pièce en vrac semi-ordonné (LAU 85)

guidage et contrôle de robots, machines

Cette dernière classe a pour principale caractéristique la coopération entre un système de vision et un système robotique. Nous citons en exemple :

- * le suivi de joints de soudure (BES 88)
- * l'évitement d'obstacle pour des robots automoteurs
- * l'assemblage automatisé, notamment de cartes électroniques.

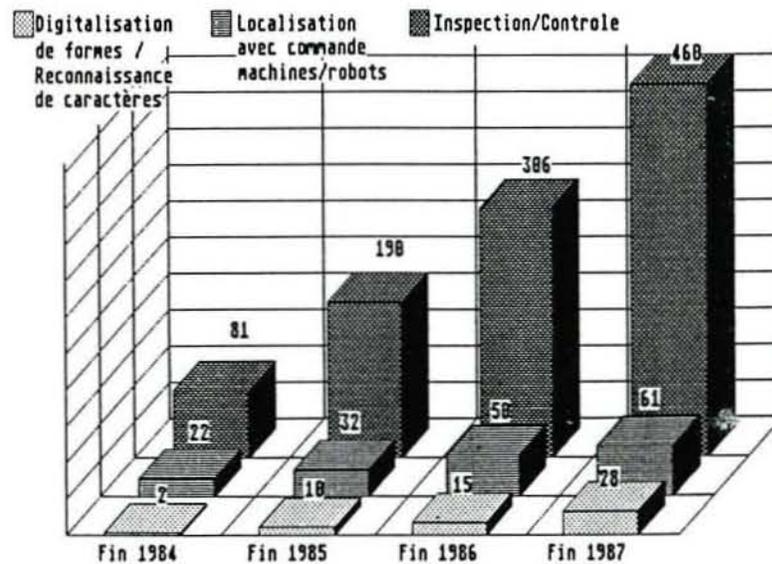


figure 7 : Les applications de la vision en production manufacturière

1.2.3) Les intervenants

Concepteurs, utilisateurs et intégrateurs

Les concepteurs, utilisateurs et intégrateurs de matériels vision abordent le domaine de la visionique avec des points de vue différents.

Le concepteur d'un système de vision industriel construit avant tout une machine capable de traiter et de réduire un flux important d'informations, de plus ou moins bonne qualité (très lié aux conditions d'environnement), afin d'en extraire des caractéristiques pertinentes définies par l'utilisateur. Sa tâche est donc de concevoir des matériels rapides, performants, modulaires tout en restant flexibles et ouverts (adéquation entre traitements logiciels et matériels).

Pour l'utilisateur, un système de vision est une solution susceptible de répondre à un problème donné, éventuellement en concurrence avec d'autres techniques. C'est donc le choix d'une technologie, qu'il faut apprécier et justifier en fonction de critères aussi divers que coûts d'installation et de fonctionnement, performances, fiabilité et intégrabilité du capteur, évolution et reconductibilité de la solution. Enfin, c'est le choix d'une manière d'intégrer ces équipements à son application :

- sous-traitance à une entreprise spécialisée
- prise en charge de l'intégration par son propre personnel.

L'intégrateur, qui peut être le concepteur du système, l'utilisateur ou une société de service, se trouve confronté à des problèmes :

- *méthodologiques*; faisabilité de l'application, définition du cahier des charges, intégration de la fonction vision au sein du procédé
- *de choix des matériels*; type de senseurs (vidicon, CCD linéaire ou matriciel, capteurs 3D), optiques, systèmes de traitement d'images, interfaces utilisateurs (moniteurs, consoles graphiques), interfaces diverses (carte réseau), équipements destinés à contrôler l'environnement (éclairage, dispositifs de protection et de nettoyage des capteurs)
- *technologiques*; asservissement des conditions de prise de vue, installation et calibrage des capteurs sur le site, optimisation des fonctions de prétraitement et des algorithmes d'interprétation de l'image, réaction sur le procédé.

Une tendance à la spécialisation

Stimulé par une concurrence très sévère, le marché de la vision commence à se structurer. Les intégrateurs de systèmes sont :

- soit des spécialistes d'une technique, qui exercent leurs compétences dans différents secteurs, tels :

- * la reconnaissance de caractères, (AI VISION)
- * l'inspection par vision linéaire d'objets manufacturés en déplacement sur un convoyeur, (SI VISION)

* l'acquisition de mesures par un système 3D et la génération d'un modèle de l'objet sous un logiciel de CAO (VISION 3D);

- soit des professionnels d'un domaine, qui appliquent la visionique dans le cadre de leur métier, tels :

- * le contrôle dimensionnel de planche de bois en déplacement par profilométrie laser (CTBA, spécialiste du secteur bois)
- * le contrôle de joint d'étanchéité (PROCAL, spécialiste de la production de joints)
- * le couplage robot-vision (SYSPRO, spécialiste de l'intégration robotique).

Cette tendance à la spécialisation se justifie de la façon suivante :

- si toutes ces applications ont en commun d'exploiter un système de vision, elles diffèrent néanmoins par la nature des capteurs et des techniques employés,
- la connaissance de l'environnement d'intégration d'un système de vision est primordiale. Par exemple, l'automatisation du classement de planches de bois pour une essence donnée (classe A, B, C ou D) nécessite de pouvoir qualifier les défauts que présente cette planche (noeuds sains,...fissure..) et donc de préciser des règles de décision, en collaboration avec des spécialistes du métier concerné.

En résumé, il faut maîtriser non seulement les méthodes et moyens de contrôle, mais également l'objet ou le procédé que l'on veut contrôler. De ce fait, il est compréhensible que les intégrateurs valorisent leur expérience et leur savoir-faire en s'orientant soit vers des secteurs particuliers (secteur bois, biomédical, agro-alimentaire), soit vers des techniques spécifiques (reconnaissance de caractères, vision linéaire).

1.2.4) Les solutions industrielles

Nous proposons une classification des systèmes industriels selon deux caractéristiques :

- le type de senseur utilisé (1D, 2D ou 3D)
- le type d'architecture (carte, système cible, système autonome).

Vision 1D, 2D ou 3D

Trois types de senseurs sont actuellement commercialisés par les constructeurs :

Capteur 1D

Ces systèmes exploitent des capteurs linéaires (de technologie CCD), d'une résolution supérieure à 4000 pixels. Ils sont destinés :

- aux problèmes d'inspection où la précision de mesure est un facteur important
- pour des scènes possédant des objets en mouvement (convoyeurs industriels).

Ces matériels sont vendus avec une bibliothèque logicielle de bas niveau permettant des pré-traitements simples sur une ligne (acquisition, seuillage, gradient en X) et la reconstruction d'une image 2D, avec un certain nombre de traitements (gradient en Y, dénombrement et localisation de tâches)

Ex : système linéaire de chez I2S, ..

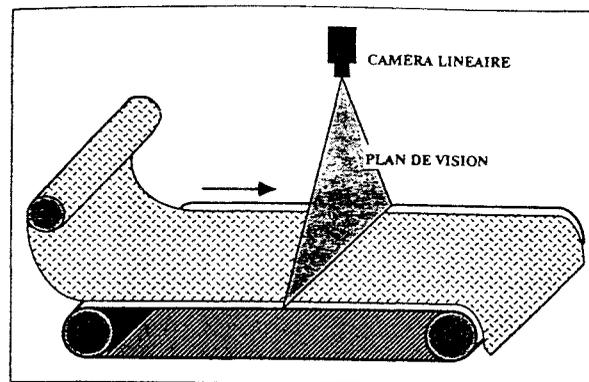


figure 8 : Inspection avec une caméra linéaire

Capteur 2D

Ce sont des systèmes qui exploitent des caméras matricielles (de technologie vidicon ou CCD); ces senseurs, qui offrent une moins grande résolution (512*512) que les caméras linéaires, sont sensibles à différents spectres lumineux (rayon X, infra-rouge, lumière visible). Quelques constructeurs proposent également des caméras CCD couleurs.

Les bibliothèques logicielles commercialisées avec ces systèmes se structurent de la façon suivante :

- gestion des capteurs (gain, offset)
- prétraitements ("lok up table", seuillage,...)
- transformations d'image (filtrage, morphologie mathématique)
- segmentation d'image

Des modules additionnels facilitent parfois le développement de la couche interprétation (reconnaissance de formes). Ces fonctions sont exploitables :

- soit par le développement d'un programme d'application par l'utilisateur
- soit de manière interactive à l'aide d'un interpréteur de commande.

Ex : logiciels Visilog de NOESIS, PC-scope d'I2S

Capteur 3D

Ce sont des capteurs exploitant soit des principes télémétriques utilisant :

- la mesure du temps de vol d'une onde ultra-son
- la triangulation par rayon laser

soit des méthodes stéréoscopiques, telle que :

- la stéréovision (corrélation d'images fournies par plusieurs capteurs, ou un capteur en déplacement), active ou passive (adjonction ou non d'un faisceau de lumière structurée, tel qu'un plan laser).

Ces systèmes fournissent une cartographie 3D de la scène, c'est à dire les coordonnées cartésiennes d'un ensemble d'éléments (points, segments de droites). La technologie semble en avance sur les techniques de traitements de l'information 3D, les constructeurs ne fournissant pas de moyens d'analyser efficacement cette masse d'informations.

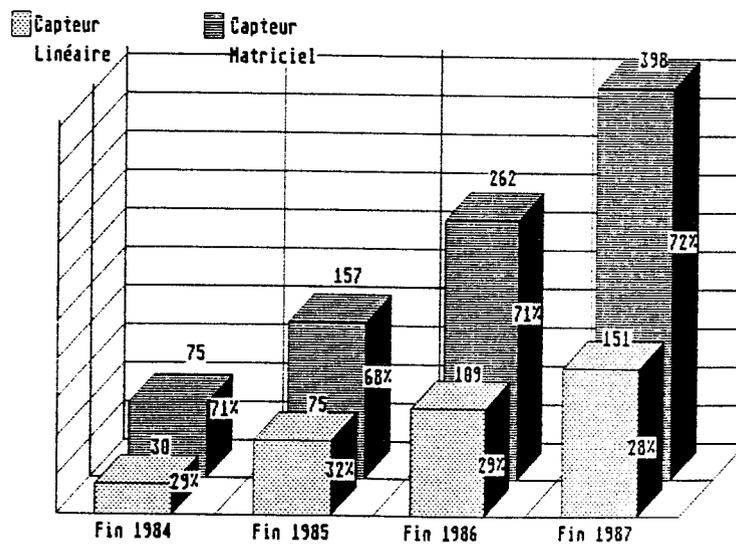


figure 9: Répartition des capteurs linéaires et matricielles (BAT 88)

Architectures

Trois classes de matériels sont actuellement commercialisées par les constructeurs :

- *les cartes de numérisation*; compatibles avec les bus les plus courants (bus PC, VME, MULTIBUS), elles s'intègrent dans une structure d'accueil de type micro, minicalculateur, station de travail, rack ou même automate-programmable

(Allen-bradley). Les cartes les plus puissantes comportent de plus en plus de processeurs spécialisés et d'opérateurs micro-programmés (carte MATROX, carte ELECTRONIQUE LYONNAISE). C'est une solution économique pour se constituer un bon système d'analyse d'image. Les outils de développement associés au calculateur hôte (interfaces homme-machine, mémoire de masse, compilateurs) permettent leur programmation.

- *les systèmes cibles*, pré-équipés pour fonctionner en ambiance industrielle, présentent l'avantage de ne laisser sur le site que les matériels indispensables au process. Des outils de développement déportés permettent la mise au point, puis le téléchargement de l'application sur le système cible. On trouve par exemple dans cette gamme :

- * les équipement de la société AI-VISION, dédiés à la reconnaissance de caractères)
- * la caméra d'EIA, qui intègre les processeurs de traitement et d'interprétation de l'image

- *les systèmes autonomes*, exploitables par des outils de développement spécifiques, tels que les armoires de commande robot-vision (armoire Avicor d'ITMI).

Evolution des matériels

La diffusion des techniques de vision artificielle dans le milieu industriel a été freinée par plusieurs facteurs (LAU 85) :

- cadences de traitement trop lentes,
- calculateurs peu adaptés à l'environnement industriel,
- coût du matériel trop élevé,
- difficultés de programmation et de mise au point des applications,
- difficultés de formation de personnel qualifié.

L'apparition sur le marché de matériels moins coûteux, plus rapides et d'exploitation plus simple contribue à l'essor de la visionique. Actuellement, l'évolution se fait surtout sentir :

- au niveau des capteurs : amélioration de la résolution et de la sensibilité, développement de caméras couleurs miniatures (quelques centimètres cubes), d'endoscopes et de fibroscopes industriels,
- au niveau des cartes de traitement, (quarante types de cartes de numérisation sont actuellement disponibles sur PC (MES 90)),
- au niveau de la facilité d'utilisation des systèmes : amélioration de l'ergonomie des systèmes de développements par exploitation d'interfaces utilisateurs standarts (Microsoft windows sous DOS, X-windows sous Unix...)

2) Automatisation Intégrée de fabrication manufacturière

2.1) De nouvelles contraintes de production

Le secteur de la production manufacturière a été marqué, dès la fin des années 70, par la spécification de nouvelles organisations des systèmes de fabrication de type FMS (Flexible Manufacturing System).

L'objectif des Systèmes de Fabrication Flexibles est de répondre :

- aux exigences actuelles des marchés (lot de pièces plus petits, amélioration de la qualité des produits, réaction rapide aux demandes, diminution des coûts de production)
- par une réduction des opérations manuelles, basée sur l'exploitation massive de nouveaux composants d'automatisation (automates-programmables, réseaux locaux, robots et plus récemment capteurs extéroceptifs, systèmes experts).

A travers quelques réalisations techniques sophistiquées (prise de pièces en semi-vmc par un robot), certains ont présagé l'usine du futur pour le début du 21^{ème} siècle, où l'ordinateur et les robots ont remplacé l'homme.

Aujourd'hui, force est de constater que ce concept n'a pas eu le développement escompté au sein des entreprises. Ainsi, le marché de la robotique s'est semblé limité aux grandes entreprises et reste encore marginal dans les PMI.

2.2) Evolution des systèmes de fabrication

Les FMS sont certainement un élément de réponse au problème exprimé par le désormais classique "zéro défaut, zéro stock, zéro panne", auquel il faudrait ajouter "adaptabilité de l'outil de production à de nouveaux produits".

Cependant, l'automatisation au "coup à coup" et de façon séparée des divers domaines d'activités (conception des produits, méthodes, ordonnancement de la fabrication, etc...) des systèmes de production manufacturiers ne semble pas offrir toutes satisfactions et ne répond pas véritablement aux besoins ressentis par les entreprises, exprimés par le concept d'organisation CIM (Computer Integrated Manufacturing).

La pluralité des métiers concernés, caractérisés chacun par des méthodes, langages et acquis qui leurs sont propres, reste un obstacle à une réelle automatisation de la chaîne "conception, élaboration des gammes, fabrication des produits".

En conséquence, le discours productique a changé depuis 2 ou 3 ans, ainsi qu'en témoignent ces réflexions, extraites d'articles de presse récents (IND 89) :

"Il s'agit non seulement de maîtriser les flux matières, mais également les flux d'informations"

"Le CIM ne saurait se réduire à des produits ou à des systèmes. C'est un concept. Toutes les applications automatisées ou informatisées de l'entreprise, voire de ses fournisseurs sont concernées. De l'atelier au bureau d'études, en passant par les services commerciaux, le marketing, la R et D, la maintenance, la qualité ...ce qui se traduit en terme d'application par un dialogue entre CAO, FAO, GPAO, MAO, automatismes de production, système de prises de commandes"

"L'intégration se situe à trois niveaux : au plan technique, tout d'abord, au plan organisationnel ensuite, au plan des hommes enfin".

Les qualificatifs utilisés pour caractériser le projet pilote Ilot traduisent cette évolution (MOR 89) (MOR 90) :

- ilot automatisé, puis système robotisé
- ilot flexible, (FMS, Flexible Manufacturing System)
- ilot auto-controlé (Manufacturing Intelligence)
- ilot intégré, ouvert (CIM, Computer Integrated Manufacturing).

2.3) Flexibilité, auto-contrôle et intégrabilité

Les qualificatifs *flexibilité*, *autocontrôle* et *intégrabilité* (ou *ouverture*) recouvrent différentes notions qu'il importe de préciser.

flexibilité

(MUN 88) accorde au terme *Flexibilité* différentes significations :

- la *flexibilité de fabrication*, c'est à dire la capacité à produire simultanément différents types de pièces en s'adaptant aux variations des entrées (produits), aux ordres d'un éventuel niveau supérieur (production, planification), ainsi qu'aux modifications de l'environnement physique (aléas, pannes) et aux changements de conditions (modes de marche, retrait d'une machine pour maintenance);

- la *flexibilité de reconfiguration*, permettant de changer rapidement de production, tant aux niveaux machines qu'atelier (figure 9);

- la *flexibilité de génération*, autorisant des modifications de l'installation par adjonction, échange ou retrait d'équipements et fonctions, sans impliquer une révision complète de l'ensemble du système.

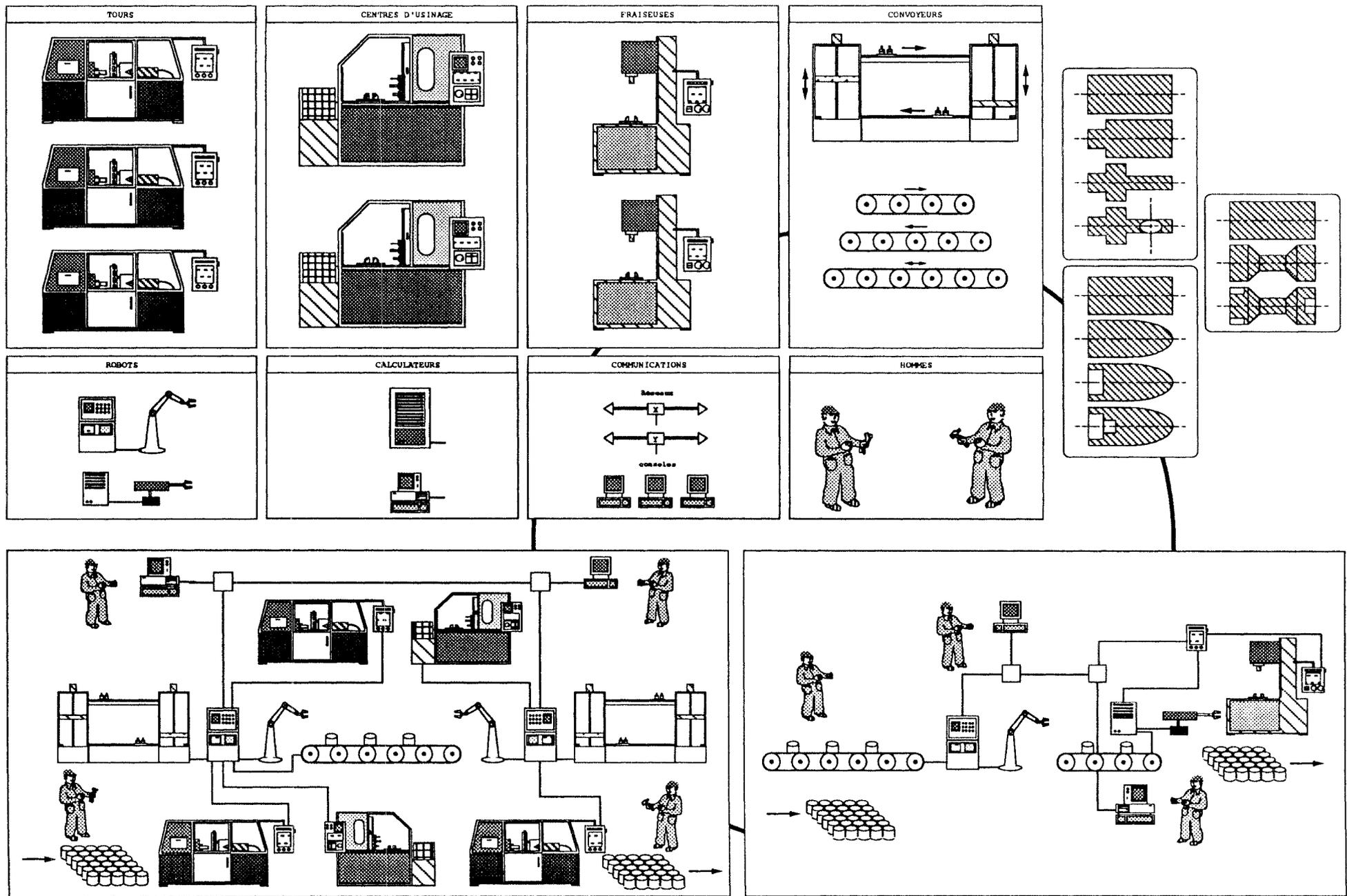


figure 10 : Ojectif : un "LEGO" de composants d'automatisation

Auto-contrôle de la production

L'automatisation des moyens de contrôle permet de substituer au contrôle *statistique* un contrôle *systématique* de l'ensemble de la fabrication, et ce au cours des opérations de transformation des produits, de façon à éliminer "au plus tôt" toutes pièces ne répondant pas aux critères de qualité prédéfinis et corriger des dérives de fabrication.

Le contrôle de la production s'effectue :

- au niveau machine, par adjonction d'outil de palpement à contact (de type renishaw), ou sans contact (vision)
- au niveau cellule, par adjonction de machines dédiées, telles que Machine à Mesurer, Robots de Mesure, et depuis peu Machine Vision.

L'auto-contrôle de la production participe à l'amélioration de la *qualité* du produit.

Auto-contrôle des moyens de production

Différents critères qualifient un outil de production (SVA 89) :

- la *sureté de fonctionnement* (LAP 89): c'est la propriété d'un système qui permet de placer une confiance justifiée dans le service qu'il délivre,
- *fiabilité* (NF X50-500) : c'est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée,
- *disponibilité* (NF X60-503): aptitude d'un dispositif à être en état de fonctionner pendant des conditions données,
- *sécurité* (LIE 76) : c'est l'absence de danger, le danger étant une circonstance susceptible d'occasionner soit la mort ou des blessures de personnes, soit des dommages de biens ou d'équipements,
- *maintenabilité* (NF X60-010) : aptitude d'un dispositif en panne à être réparé, dans des conditions données.

L'objet de l'auto-contrôle des outils de production est d'améliorer leur sureté de fonctionnement, leur sécurité et leur maintenabilité (et de façon indirecte leur fiabilité et leur disponibilité) par :

- l'utilisation accrue de capteurs (par exemple, utilisation d'un capteur de vibrations ou de couple pour détecter un dysfonctionnement lors d'une opération d'usinage),
- une meilleure structuration des parties commandes associés aux différentes parties opératives (SVA 89).

Intégrabilité ou ouverture

L'ouverture ou l'intégrabilité d'un système de fabrication mesure sa capacité à s'intégrer dans une unité de production, selon différents points de vue : physique, informationnel, fonctionnel (MOR 89) (MOR 90).

2.4) Vers la machine autonome

Les critères de flexibilité, d'auto-contrôle et d'ouverture impliquent de conférer aux systèmes de production la qualité *d'autonomie*.

De fait :

- par nature, un *système flexible* est amené à s'adapter à des événements variables (changement de gammes, mise d'un poste hors service...). *Autonomie* est ici synonyme de *prise de décision* à un niveau inférieur pour satisfaire les demandes du niveau supérieur, et ce de façon transparente.

- un *système auto-contrôlé*, de par le nombre important de capteurs qu'il possède, détecte des événements inattendus ou des dysfonctionnements, qu'il doit être en mesure de prendre en compte. *Autonomie* sous-entend ici *l'acquisition et le traitement local de l'information* (décentralisation des fonctions de contrôle-commande).

- un *système ouvert* (cellule, équipement) se caractérise, par définition, par une architecture et des fonctions facilitant son intégration dans un système plus important. Par la notion de *composants d'automatisation*, (ALA 86) (TIX 89) propose des objets modulaires, dont le comportement est défini par un modèle. Chaque individu a une existence propre et est capable d'assurer de façon *autonome* (sans l'aide d'un niveau supérieur) les fonctions pour lesquelles il est créé.

Un système autonome (machine, capteur, actionneur) n'est donc plus seulement l'association d'une partie commande et d'une partie opérative, mais un système à part entière, intégrant une partie informationnelle et une partie décisionnelle plus développée. Son rôle est de répondre à des requêtes par une exploitation optimale des ressources dont il dispose, pour assurer la réalisation d'un objectif selon des règles de comportement. C'est en quelque sorte un spécialiste (expert) de la tâche qu'il est en mesure d'effectuer, et non un simple exécutant.

2.5) Généricité de l'organisation d'un système de fabrication

Pour maîtriser le comportement d'un système, il faut maîtriser le comportement de ses sous-ensembles et leur coordination. En ce sens, notre but étant d'attribuer les qualités de flexibilité, auto-contrôle et ouverture à un atelier de fabrication, il nous semble naturel de conférer ces mêmes qualités à ces sous-ensembles; ceci est nécessaire si ce n'est pas forcément suffisant.

Or, l'organisation physique d'un atelier de fabrication présente la généricité suivante :

- un atelier se compose d'ilots de fabrication et de contrôle (cellule ou machine autonome), desservis par des moyens de transports (convoyeurs, chariots filoguidés) en pièces et en péri-équipements, l'ensemble étant coordonné par un

système de contrôle-commande atelier. L'atelier dispose donc de ressources pour assurer la fabrication d'un produit de bonne qualité.

- une cellule de fabrication se compose d'équipements d'usinage (MOCN) ou de contrôle (Machines à mesurer), robots de manutention, desservis en pièces et en péri-équipements (outils), l'ensemble étant coordonné par un système de contrôle-commande cellule. La cellule dispose donc de ressources pour assurer l'usinage ou le contrôle partiels d'un produit.

- un équipement d'usinage, de contrôle ou de manutention se compose d'actionneurs et de capteurs, coordonnés par un ordinateur (commande numérique, armoire de commande robot). L'équipement dispose donc de ressources pour assurer des opérations élémentaires d'usinage, de contrôle ou de manutention.

En conclusion, si l'objectif de notre équipe est de développer des outils destinés à une organisation de type CIM, nous nous focaliserons dans un premier temps sur le niveau capteur et actionneur. Notre travail portant sur l'intégration d'un capteur de vision entre dans ce cadre.

2.6) Voir ... et raisonner... pour être autonome

Dans ses activités de production, l'homme consacre une part importante de ses efforts à la manipulation et au contrôle d'objets, pièces et outils. Puisque l'automatisation croissante de la production tend à éloigner l'homme des machines, il est donc naturel de leur conférer plus d'autonomie, ce qui signifie :

- *accroître leurs capacités sensorielles,*
- *développer leurs capacités de raisonnement, donc les rendre plus "intelligentes".*

Il ne faut voir là aucune obsession à développer des "Robots-sapiens", mais plutôt comme l'indique (BOU 88) :

The goal of the emerging field of "manufacturing intelligence" is to model the skills and expertise of manufacturing craftsmen so that intelligent machines can make small batches of parts without human intervention.

Ces concepts de Machine intelligente sont étroitement liés à celui de vision artificielle, ainsi que le souligne G.Mezin et B.Bretagnolles (MIC 87) :

L'avenir de la vision par ordinateur est étroitement lié à celui de l'intelligence artificielle : si presque tous les systèmes de vision utilisent plus ou moins l'IA, inversement les systèmes intelligents doivent être dotés de la vision pour s'affranchir de la présence humaine.

Le groupe de travail "Capteurs intelligents" de la Commission Industrie-Administration pour la Mesure (CIAME), élargi aux fabricants de capteurs, a mené une réflexion sur les fonctionnalités des capteurs intelligents (CIA 87). La figure 11 présente une comparaison de deux types de chaînes de mesure (analogique et numérique); la spécificité du capteur "intelligent" se résume dans sa capacité interne de traitement.

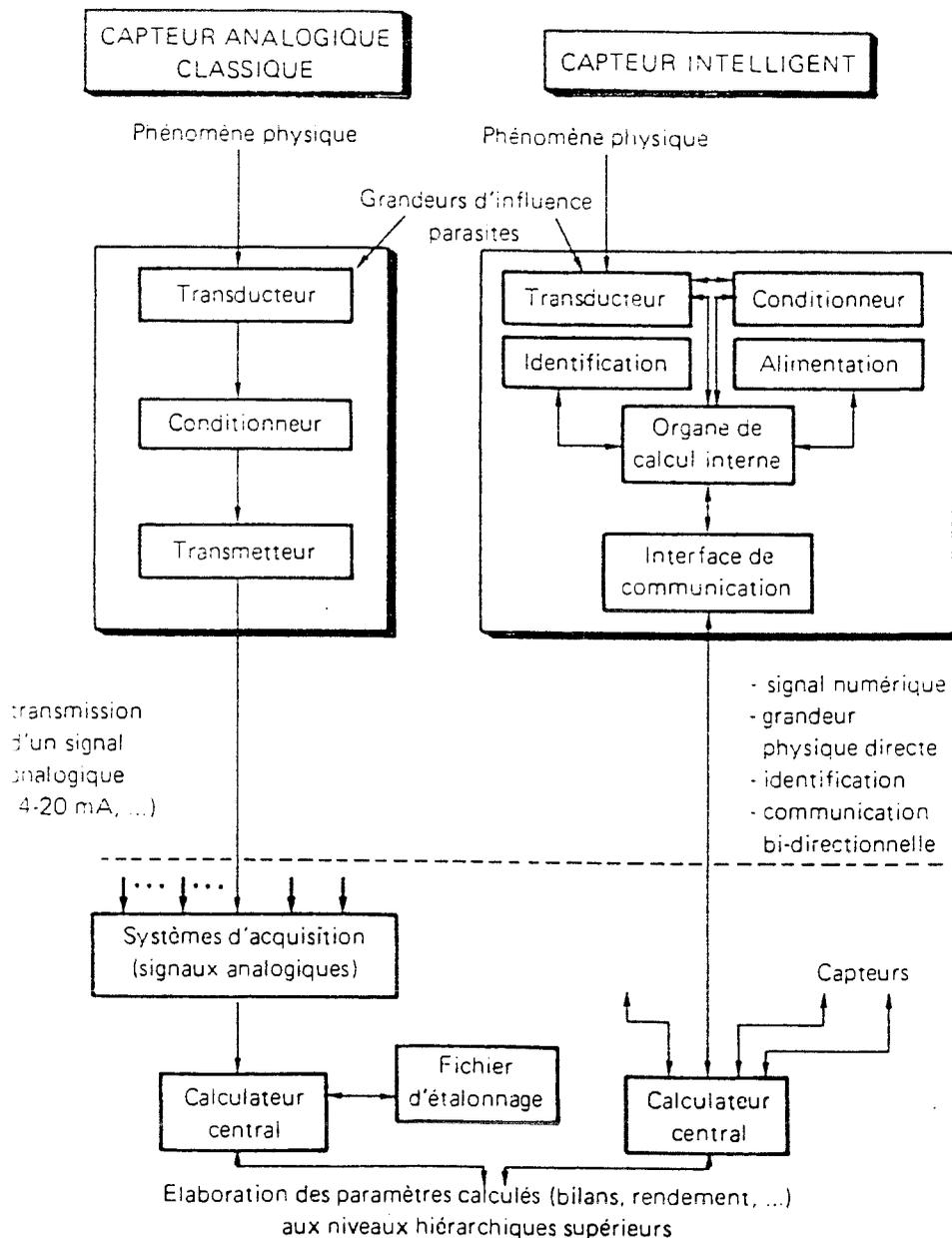


figure 11 : Comparaison de deux types de chaînes de mesure (analogique et numérique intelligent) (CIA 87)

Il apparaît dans cette étude que l'intérêt principal des capteurs intelligents réside dans la fourniture de nouveaux services, inexistant dans les capteurs analogiques actuels : en particulier, ils contribueront à l'amélioration de la crédibilité des informations transmises, grâce à de nouvelles fonctions réalisées localement (figure 12).

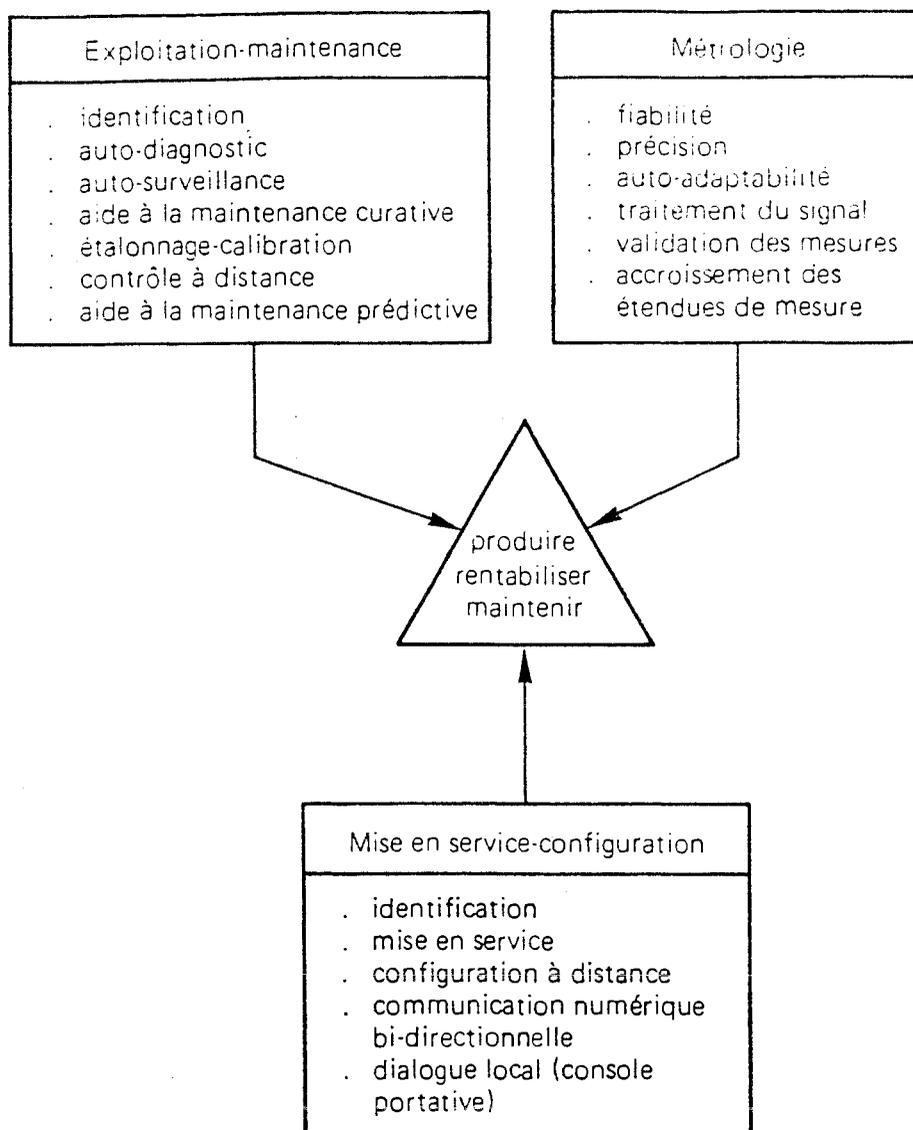


figure 12 : L'apport des capteurs intelligents aux systèmes automatisés de production, par ses nouvelles fonctionnalités (CIA 87)

3) Visionique et productique

3.1) Les besoins en "informations visuelles"

En usinage traditionnel, l'opérateur au pied d'une machine effectue les opérations suivantes :

- préparation de la machine
 - * montage des outils, porte-outils, porte-pièce
 - * écriture, chargement et test des programmes pièces
 - * réglage de la machine

- production
 - * chargement, ajustement et ablocage des pièces dans les montages, déchargement des pièces
 - * contrôle dimensionnel des pièces, des outils, etc
 - * suivi de l'usinage, optimisation de la coupe (contrôle visuel de la taille des copeaux,...)
 - * changement d'outils, lubrifications diverses, élimination des copeaux sur les outils,...
 - * détection d'anomalie de fabrication

- maintenance de la machine
 - * expertise des problèmes
 - * entretien, réparation

Durant toutes ces activités, l'opérateur met sans cesse à contribution son intelligence et ses sens (visuel, tactile, auditif et même olfactif), afin de participer à la production par la machine de pièces de bonne qualité. Pour ce faire, il utilise son sens visuel pour :

- manipuler et contrôler les pièces avant et après usinage, surveiller et évacuer les copeaux
- manipuler et contrôler les péri-équipements (montage, démontage et contrôle des outils de coupes ou porte-pièces)
- surveiller le comportement de la machine (entre autre au cours de l'usinage) et de ses fonctions annexes (arrosage de lubrifiant).

L'objectif recherché dans la spécification de systèmes de fabrication flexibles est, à plus ou moins long terme, l'automatisation de l'ensemble de ces tâches. D'une façon plus pragmatique, nous nous limiterons (confer chapitre 2) à exprimer les besoins en "informations extéroceptives et plus particulièrement visuelles" pour participer :

- aux transformations effectuées sur le produit :
 - * matière : usinage

- * spatiale : chargement, ablocage et déchargement des pièces sur les machines et leur convoyage entre unités de production
 - * informationnelle : identification et localisation de pièces, contrôle qualité
- aux transformations effectuées sur les péri-équipements :
 - * spatiale : montage, démontage des outils et porte-pièces et leur convoyage entre unités de production, contrôle de changement d'outil
 - * informationnelle : identification et localisation d'outils, contrôle d'usure
 - à l'exploitation des équipements :
 - * surveillance des fonctions assurées par les machines (usinage, arrosage)

3.2) Les contraintes

3.2.1) les contraintes propres à une cellule de fabrication

Impératifs de temps de traitement

Il est difficile d'évaluer à priori les temps de traitements nécessaires pour les différentes fonctions visuelles, d'autant plus que les moyens requis et les conditions d'exécution sont très disparates.

La notion de temps réel pour une opération de contrôle est relative au temps d'exécution de la transformation associée. Ainsi, un temps de contrôle de 60 secondes par rapport à un temps d'usinage de 20 minutes peut être tout à fait acceptable pour une production de pièces couteuses où il est important de minimaliser le taux de rebuts; il est par contre intolérable de mettre 10 secondes à vérifier l'usure d'un outil entre deux passes d'usinage pour une production en série de pièces à très faible valeur ajoutée.

Enfin, certains traitements sont réalisables en temps masqué; ainsi, la reconnaissance et la localisation d'une pièce brute peut être effectuée avant l'arrivée du robot.

Précision de mesure

L'usinage de pièces (métalliques) se fait le plus souvent dans des tolérances de l'ordre de quelques centièmes, ce qui peut remettre en cause le choix d'un procédé de contrôle sans contact tel que la vision, en regard de ses possibilités.

Néanmoins, il faut relativiser cette remarque dans la mesure où :

- les pièces brutes de fonderie ont des tolérances de l'ordre du millimètre, qui ne requièrent donc pas l'utilisation d'un palpeur à contact (plus lent),
- la précision d'une mesure par un palpeur sans-contact est liée à la taille du champ observé,

- les besoins d'informations visuelles exprimés préalablement font état, non seulement de contrôle dimensionnels, mais également de contrôle de conformité, d'état, etc.

Implanter un capteur relativement fragile sur un site de production

Un site de production est source d'un certain nombre de problèmes, tels que poussières, graisse, projection de copeaux, décharges électrostatiques, champs électromagnétiques, vibrations, chocs. Si les calculateurs peuvent le plus souvent être déportés dans une ambiance protégée, il n'en est pas de même pour les capteurs et les dispositifs d'éclairage qui devront être choisis en connaissance de cause et protégés par des moyens annexes.

Un environnement relativement "déterministe"

L'environnement difficile d'une cellule d'usinage ne présente pas que des désavantages. En effet, les différents procédés d'usinage et de transfert de pièces sont parfaitement déterminés, ce qui constitue une hypothèse simplificatrice à prendre en compte lors de développements en visionique.

Par exemple, le contrôle de la conformité d'une pièce sur un poste-pièce (mandrin, montage d'usinage) se simplifie par les faits suivants :

- la position de la pièce est connue,
- l'état attendu de la pièce est déterminé (on recherche donc une forme précise, ce qui simplifie l'algorithme de reconnaissance à employer).

Ceci garantit une certaine reproductibilité des opérations de contrôle, quoique les conditions de prise de vue (éclairage, présence de copeaux,...) sont susceptibles de varier, entraînant des modifications de l'aspect visuel des objets observés.

3.2.2) Les contraintes propres à une cellule flexible

Flexibilité des formes observables

Notre îlot automatisé de production est destiné à la fabrication de petites et moyennes séries. La forme et la taille des pièces acceptables sur la cellule est limitée par les caractéristiques des machines et du préhenseur.

Des produits de type différents sont susceptibles d'être usinés simultanément sur la cellule si leur gamme d'usinage sont compatibles, afin d'optimiser le taux de charge des machines. Pour chaque type de pièce, il est probable que plusieurs contrôles seront nécessaires, suite aux diverses phases d'usinage.

Les formes "observables" sont donc nombreuses et variées.

Flexibilité des fonctions à assurer

Le coût encore relativement élevé d'une "machine vision" performante peut être compensé par une utilisation partagée :

- sur un même poste de travail pour assurer diverses fonctions,
- entre plusieurs postes de travail,

d'autant que :

- son temps d'utilisation moyen par fonction devrait être assez faible, comparé aux temps d'usinage et de manutention,
- la plupart des processeurs de vision sont capables de gérer plusieurs caméras.

Flexibilité de reconfiguration

Une cellule flexible n'est pas une organisation de fabrication figée; ceci requiert pour ses éléments des qualités de réutilisabilité. Ses composantes, dont les capteurs, sont donc amenés à effectuer de nouvelles fonctions. C'est particulièrement le cas pour un système de vision, susceptible d'être reprogrammé et éventuellement réorganisé d'un point de vue matériel (des systèmes de vision industriels, du type DataCube, ont une architecture très modulaire et sont donc aisément reconfigurables).

3.2.3) Les contraintes propres à une cellule *auto-contrôlée*

L'auto-contrôle des équipements de production, défini précédemment, requiert un fonctionnement sûr, donc auto-contrôlé, de leurs sous-ensembles. Les capteurs de vision n'échappent pas à la règle : il est assez logique de contrôler le fonctionnement d'un élément participant lui même à un processus de contrôle.

3.2.4) Les contraintes propres à une cellule *intégrée*

En plus des difficultés technologiques inhérentes à la mise en oeuvre d'un système de vision (problèmes d'optique, d'éclairage, etc.) sur un site de production, son *intégration* dans une organisation de production qui se veut justement "*intégrée*" pose les problèmes suivants :

- *intégration fonctionnelle* : à partir d'un besoin, détermination du principe du contrôle, c'est à dire :
 - * Que contrôler ?
 - * Quand, comment, avec quoi et à quel coût ?
 - * Comment définir et réaliser les moyens utiles à l'opération de contrôle ?

- *intégration informationnelle* : génération et gestion unifiée (par un SGBD) de données partagées entre les corps de métiers, c'est à dire :

- * Quelles données faut-il générer pour paramétrer le capteur ?
- * Comment gérer de façon unifiée des données hétérogènes ?

- *intégration d'un point de vue contrôle-commande* au sein de la cellule ou des équipements) : c'est à dire :

- * Comment se synchroniser et communiquer avec d'autres équipements ?

- *intégration dans l'espace de compétence des personnels*, afin de permettre son utilisation par des non-spécialistes, c'est à dire :

- * Comment maintenir et reconfigurer aisément le capteur ?

4) Contexte de la recherche

4.1) Les développements menés par le laboratoire

L'évolution des travaux menés par le LACN-CRAN dans le domaine de la fabrication manufacturière est significative des difficultés et des limites d'une intégration ascendante; elle s'est déroulée chronologiquement de la manière suivante (figure 13) :

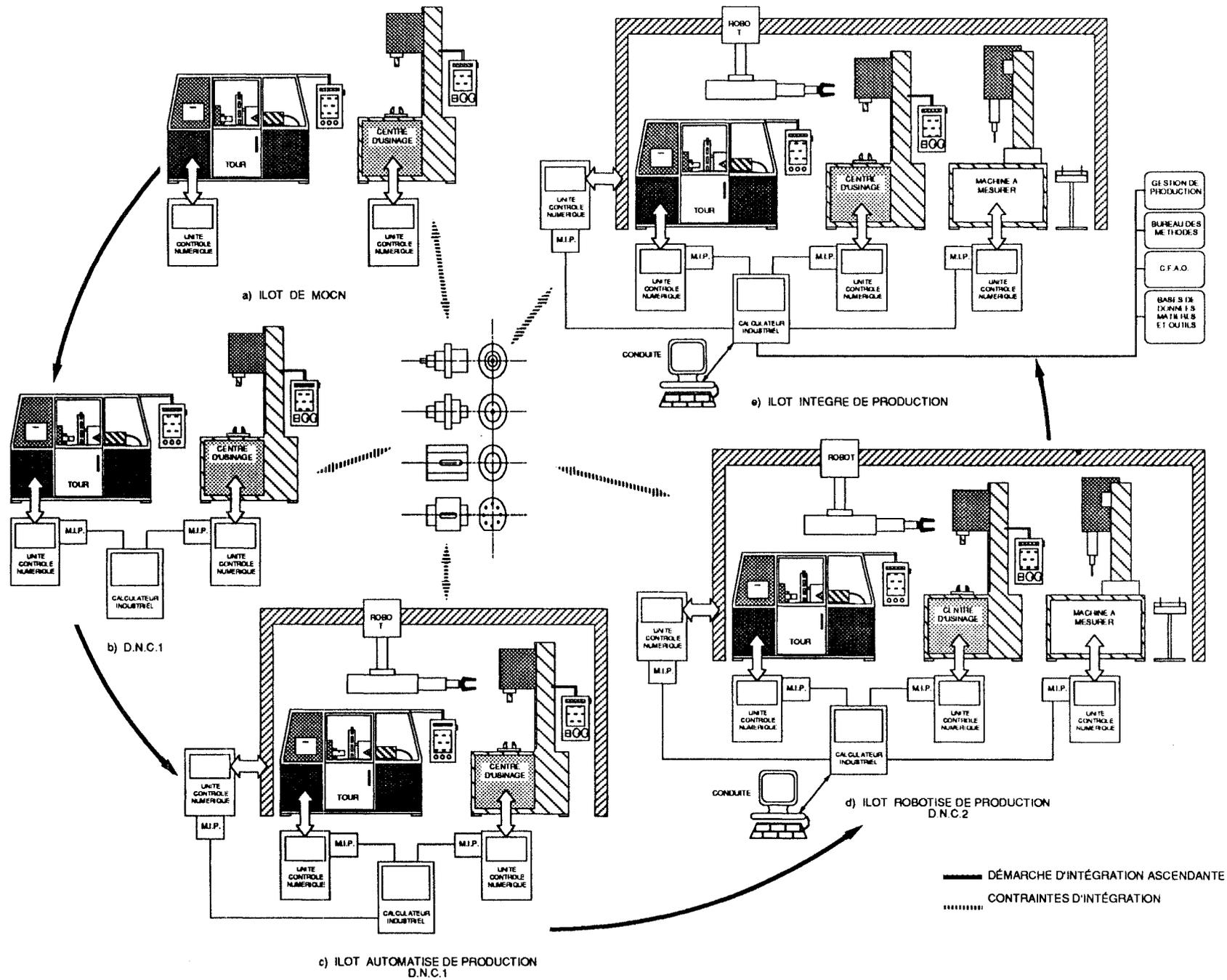
- 1982-1985, réalisation d'un *îlot automatisé de fabrication* (ADI 85), comprenant :
 - * un système ouvert d'usinage, capable d'effectuer des opérations de tournage, perçage et fraisage
 - * une architecture DNC basée sur un réseau local industriel (LEP 86) assurant la circulation physique du flux de données inter-équipements et une passerelle avec la gestion d'atelier
 - * un contrôle qualité en ligne (RIC 85), réalisant une rétro-action sur le processus de fabrication, pour assurer au mieux la conformité des pièces aux consignes de fabrication;

- 1985-1988, réalisation d'un *îlot robotisé de fabrication* (ADI 86), l'îlot automatisé étant complété par :
 - * un système robotisé de manutention, contrôlant le flux des pièces entre les machines (MUN 88),
 - * des péri-équipements de robotisation des machines , tels
 - + un système flexible de préhension, configurable à la fabrication pour prendre en compte les contraintes de forme prismatique et de révolution des pièces (GRA 87),
 - + un porte-pièce compliant et embarquable d'usinage pour le centre d'usinage, dédié à une typologie de pièces (AIP 89),

- depuis 1988, étude d'un *îlot auto-contrôlé de fabrication*, pour réguler la *qualité* de fabrication, tant au niveau de l'équipement qu'au niveau de la cellule (MOR 89), en mettant en oeuvre deux procédés de qualification :
 - * sans contact par vision sur MOCN ou poste de travail dédié
 - * à contact par palpeur sur MOCN ou MMT

- depuis 1988, étude d'un *îlot ouvert de fabrication* (MRES 89), pour favoriser l'intégration de la cellule dans un contexte de CIM :
 - * extension de la notion de fabrication auto-contrôlée à celle de *fabrication autonome* (BOU 88) par implémentation d'actionneurs et de capteurs intelligents (ROE 89)
 - * *unification des données* non seulement relatives à la pièce et aux divers processus de transformation, mais aussi à toutes les entités composant la partie opérative et la partie commande dans une perspective "cycle de vie" de l'application.

figure 13 : Objectif originel d'intégration



4.2) Les outils et méthodes utilisés

Depuis quelques années, divers travaux de l'équipe ont porté sur les outils et méthodes d'ingénierie d'intégration. Les développements autour de ce thème de recherche se sont concrétisés par les réalisations suivantes :

- l'étude des problèmes liés à la génération automatique de code automate à partir du grafcet a donné lieu à différentes CAO grafcet , dont une capable de générer du code source LM (MUN 88),
- un émulateur de partie opérative, basé sur les travaux de l'équipe relatifs à la modélisation fonctionnelle des éléments opératifs élémentaires tels que vérins, moteur, convoyeur,...., a été développé en collaboration avec un industriel (COR 89),
- la méthode SADT, utilisée depuis quelques années au laboratoire (LHO 85), a été informatisée afin de faciliter son utilisation; ce travail a donné naissance à un outil particulièrement convivial : Orchis, qui constitue le maillon principale d'une plateforme de spécifications fonctionnelles, dédiée au génie automatique et actuellement en cours de réalisation; un outil de validation, Spex, d'ores et déjà partiellement implanté (TIX 89).

Les problèmes sous-jacents à la structuration de données hétérogènes ont conduit à utiliser MEGA, un atelier logiciel pour la conception et la réalisation de Système d'Informations Industrielles (MOR 89) (MOR 90).

Ayant abordé les problèmes liés à la visionique dans ce contexte méthodologique, nos travaux s'appuient "généreusement" sur l'utilisation de ces méthodes et des outils associés.

4.3) Notre objectif

L'implémentation, par un intégrateur, d'un système de vision sur un site de production répond à un problème précis, défini par un cahier des charges. Malgré les performances techniques remarquables d'applications industrielles de la visionique, il faut souligner le caractère relativement "figé" des solutions qui ont néanmoins le mérite de fonctionner.

Notre point de vue est différent. Evaluer le potentiel d'application d'un système de vision au sein d'une cellule flexible nous amène à *identifier*, puis *résoudre* différentes *classes de problèmes* (identification, inspection,...) en proposant des solutions :

homogènes

- non redondance des données,
- uniformité des interfaces (au niveau dialogue) entre le capteur vision et les équipements de la cellule,

- unicité des outils de développements d'application (atelier logiciel, ...),

et évolutives

- définition d'une procédure facilitant l'adjonction de nouveaux modules de traitement (*notion de système ouvert*).

Nous n'aurons pas la prétention de proposer un capteur idéal, qu'il suffirait de paramétrer pour le dédier à une application particulière, ceci étant à notre avis illusoire. Tout problème de visionique, de par la complexité et la multitude des traitements qu'il requiert, est unique et nécessite des développements particuliers.

Cependant, il nous semble important de disposer :

- d'un cadre de réflexion, défini par une méthode (ou tout au moins une démarche) d'analyse ,
- d'outils de prototypage, d'aide au choix des matériels et algorithmes,

afin :

- de systématiser la démarche pour "normaliser" les solutions,
- d'améliorer l'exploitation et la maintenance des capteurs,
- d'accroître l'expérience de l'entreprise dans le domaine de la visionique par archivage des résultats d'expertise des différentes implémentations,
- de réutiliser des solutions adoptées pour des problèmes similaires,
- de faciliter le développement de nouvelles applications.

Notre objectif est donc de contribuer à l'élaboration d'une méthodologie d'intégration d'un système de vision dans un environnement de fabrication flexible.

Chap2 : FORMALISATION DU PROBLEME

1) Le modèle d'un Système Intégré de Production

2) L'impact de la visionique ...

... sur le Système de Gestion de la Production (SGP)

- 2.1) *"Concevoir les produits"*
- 2.2) *"Concevoir les processus"*
- 2.3) *"Contrôler la qualité de la production"*

... sur le Système Physique de Production (SPP)

- 2.4) *"préparer la fabrication"*
- 2.5) *"fabriquer sur la cellule"*
 - 2.5.1) Un modèle de l'activité *"fabriquer"*
 - 2.5.2) L'apport de la vision à l'activité *"manutentionner"*
 - 2.5.3) L'apport de la vision à l'activité *"manutentionner localement"*
 - 2.5.4) L'apport de la vision à l'activité *"usiner"*
 - 2.5.5) L'apport de la vision à l'activité *"qualifier localement les pièces"*
 - 2.5.6) L'apport de la vision à l'activité *"qualifier les pièces"*
- 2.6) *"maintenir"*
 - 2.6.1) Conséquences des activités de maintenance
 - 2.6.2) L'apport de la vision à l'activité *"Maintenir"*
Sécurité : détection de la présence d'une personne dans l'enceinte
- 2.7) Conclusion

3) Intégrer la visionique ...

... dans le SGP

- 3.1) *"Concevoir les processus de fabrication"*
 - 3.1.1) Introduction
 - 3.1.2) La notion de *"processus de contrôle"*
 - 3.1.3) Comment s'intègre un *"processus de contrôle"* dans un *"processus de fabrication"* ?
 - 3.1.4) Concevoir un *"processus de contrôle par vision"*
 - 3.1.4.1) Que contrôler et quand ?
 - 3.1.4.2) Comment ? (Elaboration d'une solution au contrôle)
- 3.2) *"Concevoir les moyens de contrôle"* (Comment et Avec quoi effectuer le contrôle ?)
 - 3.2.1) Que faut-il définir ?
 - 3.2.2) Vers des architectures modulaires
 - 3.2.3) Un système expert d'aide au développement d'application vision

... dans le SPP

- 3.3) *"Intégrer un processus de contrôle dans le SPP"*
 - 3.3.1) *"préparer le processus de contrôle"*
 - 3.3.2) *"exploiter le processus de contrôle"*
 - 3.3.3) *"clôre le processus de contrôle"*
 - 3.3.4) *"maintenir le système de contrôle par vision"*
- 3.4) *"Contrôler un objet ou un processus"*
 - 3.4.1) *"Qualifier un objet ou un processus"*
 - 3.4.2) *"Évaluer son état dans le contexte du procédé" et "réagir sur le procédé"*

4) Conclusion

Chap2 : FORMALISATION DU PROBLEME

1) Le modèle d'un Système Intégré de Production

Nous nous proposons d'apprécier l'impact d'une *fonction vision* dans un *Système Intégré de Production* (SIP), puis d'en formaliser l'intégration.

les différents domaines d'une entreprise

Le modèle usuel d'un système de production privilégie souvent une structuration par services, à l'image de l'organisation de l'entreprise (Bureau d'études, des méthodes, fabrication, maintenance,...). Or, les fonctions assurées par ces différents services sont très dépendantes les unes des autres, et coopèrent pour atteindre des objectifs communs. Cela rend difficile la compréhension du fonctionnement d'une entreprise.

L'International Standard Organisation (ISO 89) propose un modèle de référence pour une entreprise de production manufacturière (figure 1). De notre point de vue, ce modèle met en relief la fonction "Production", à travers le Système Physique de Production (Shop Floor Production), et les activités satellites.

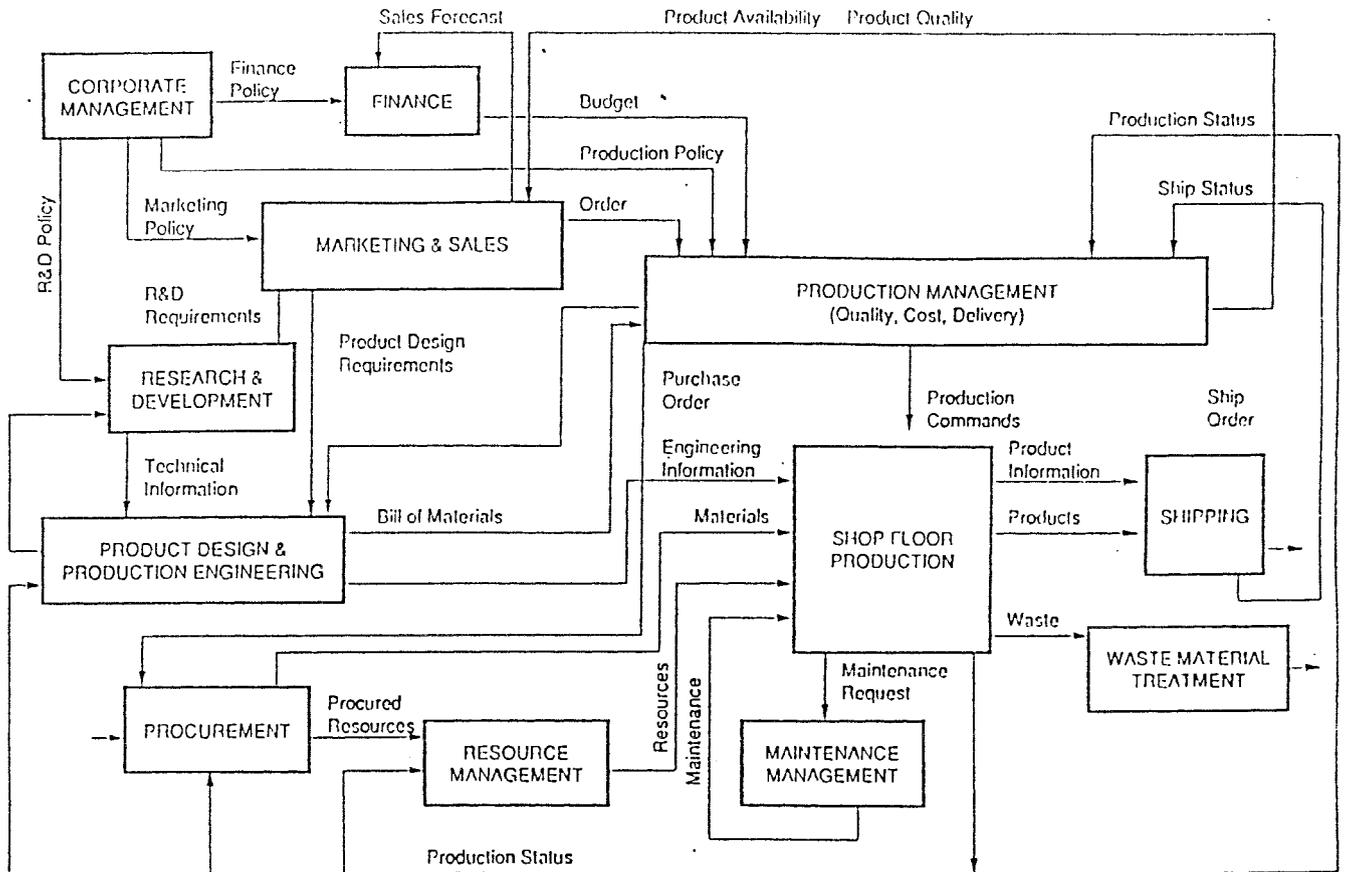


figure 1 : Les fonctions usuelles d'un système de production

Les douze fonctions d'entreprise citées se structurent en trois niveaux (figure 2):

- niveau entreprise,
- niveau Organisation de la Production (Facility)
- niveau Système Physique de Production (Shop Floor Production).

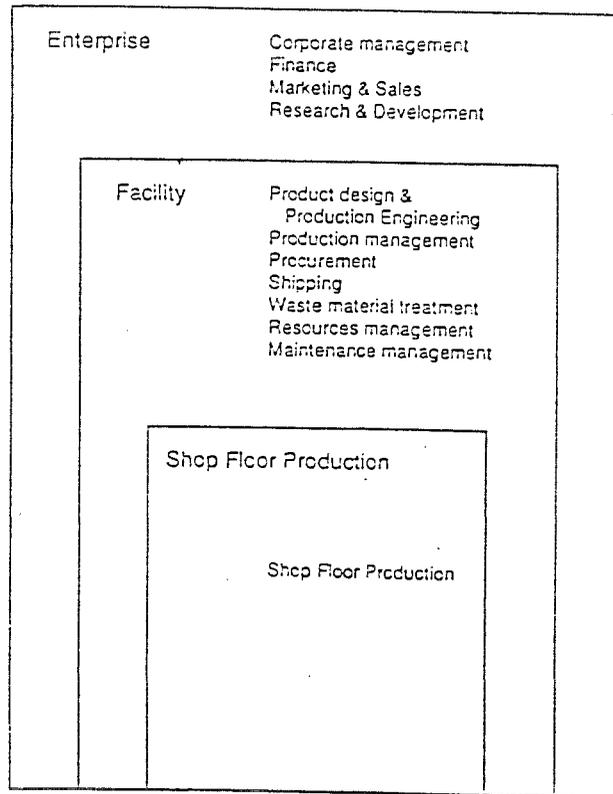


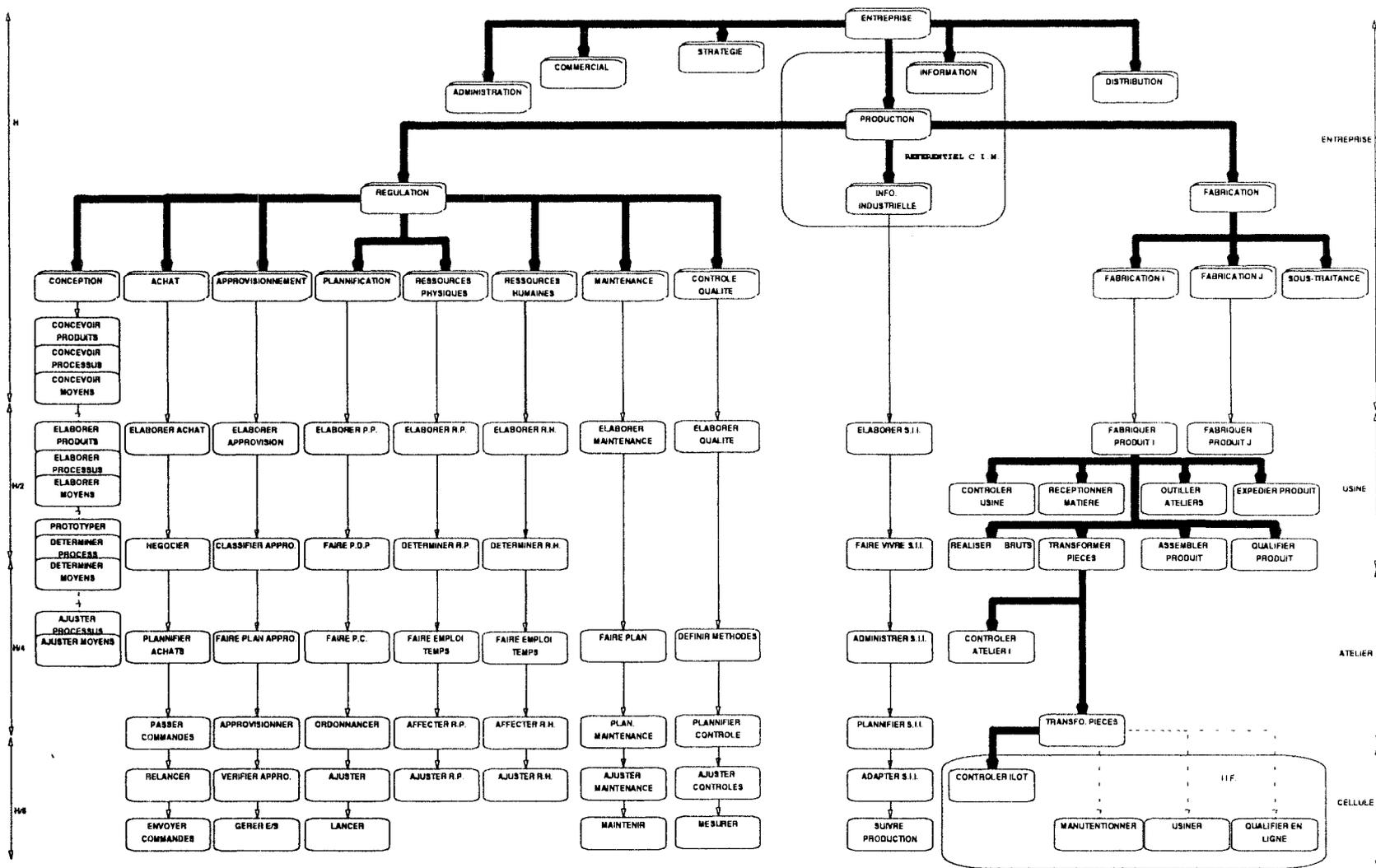
figure 2 : Contexte du niveau production

Il est clair que l'intégration d'une nouvelle technologie telle que la visionique dans un environnement de production intégrée concerne non seulement les *activités de production* proprement-dite (fabrication, maintenance, préparation,...), mais également les *activités d'organisation de la production* (plannification, conception du produit, des processus et des moyens de production,...).

En ce sens, le modèle conceptuel de référence fonctionnel du système intégré de production supportant notre projet (MOR 89), décrit en MEGA, se décompose en trois domaines :

- *régulation*, chargé de la plannification, de l'organisation et du contrôle de la production,
- *info industrielle*, qui assure la gestion du système d'information, support de l'ensemble des échanges entre les différents domaines,

figure 3 : Modèle Conceptuel Particulier de Référence Fonctionnel (MOR 89)



- *fabrication*, répartie éventuellement sur plusieurs usines, elles-mêmes structurées en ateliers et cellules.

notre démarche

Nous utiliserons ces modèles comme base de travail, en précisant en quoi certaines de leurs activités sont concernées par l'intégration d'un système de vision.

Le paragraphe suivant, intitulé "*L'impact de la visionique... sur le Système de Gestion de Production... puis sur le Système Physique de Production*" tente d'apprécier les effets de cette technologie tant dans les activités d'organisation que dans les activités réelles de fabrication.

Le dernier paragraphe, intitulé "*Intégrer la visionique ... dans le système de gestion de production,... puis dans le système physique de production*" traite :

- des aspects hors-ligne de l'intégration : conception du produit et des moyens, préparation et clôture de la fabrication, maintenance,...
- des aspects en-ligne de l'intégration : implémentation dans l'architecture de pilotage de la cellule, auto-contrôle du capteur.

L'objectif est de rechercher un optimum global (du moins satisfaisant) du SIP en profitant au mieux des degrés de liberté de chacun des sous-systèmes (tel que la fonction vision) et non pas en assurant un optimum local pour chacun indépendamment des autres.

2) L'impact de la visionique ...

... sur le Système de Gestion de la Production (SGP)

2.1) "Concevoir les produits"

L'intégration d'un système de vision peut entraîner une rétro-action sur la conception du produit

Le concept de fabrication intégrée sous-entend des liens plus étroits entre les activités de conception et de réalisation d'un produit, le problème étant de fabriquer une pièce assurant une fonction déterminée et ce, à un moindre coût. La réduction des coûts passe notamment par une utilisation adéquate des moyens de fabrication dont dispose l'entreprise, en évitant par exemple de se doter de moyens d'usinage (outillages, montages) ou de manutention (préhenseurs) trop spécifique à un type de produit, et donc d'un amortissement difficile.

Un capteur de vision peut parfois simplifier les processus de transformation : manutention des pièces par un système robot-vision, positionnement visuel des pièces sur un montage d'usinage, etc.

Pour ce faire, l'étude des méthodes de fabrication d'un produit entraîne parfois une rétro-action sur sa conception; par exemple :

- modification de la forme de la pièce pour permettre sa manipulation par un ensemble robot-vision,
- rajout d'une marque sur un brut en phase de moulage pour le positionner angulairement de façon visuelle.

2.2) "Concevoir les processus"

L'intégration d'un système de vision peut modifier la conception des processus de fabrication

Une cellule d'usinage se compose de matériels dédiés à une classe de fabrication (les machines) et de péri-équipements conçus pour le produit à fabriquer. Ces péri-équipements assurent entre autres les fonctions :

- de préhension (préhenseur du robot)
- de tri et d'orientation des pièces (bol vibrant)
- de guidage et d'acheminement des pièces (palettes sur un convoyeur)
- de bridage et d'ablocage (montages d'usinage, mandrin).

Ces fonctions réalisées habituellement par des moyens mécaniques peuvent être "flexibilisées" par l'utilisation de systèmes de vision. Par exemple, (BOU 88) montre qu'il serait possible de supprimer partiellement l'ablocage mécanique de la pièce sur

une palette d'usinage, en se contentant simplement de la brider. La détermination du référentiel pièce pour l'usinage se ferait alors de façon visuelle, par observation de la position de la pièce sur la palette.

De même, un robot guidé par un système de vision est à même de remplacer un bol vibrant pour l'amenée de pièces en situation de travail.

2.3) "Contrôler la qualité de la production"

L'évolution récente des procédés de contrôle, due en grande partie au développement des capteurs dits sans contact, modifie de façon significative l'organisation du contrôle de la qualité dans une entreprise.

Evolution des processus de contrôle

L'évolution des moyens de contrôle :

- robot de mesure moins précis qu'une machine à mesurer, mais capable de fonctionner dans une ambiance non protégée,
- palpeur de type RENISHAW embarqués sur les machines-outils,

permet d'effectuer un grand nombre de contrôle au fur et à mesure des opérations d'usinage, afin :

- de corriger si possible un usinage non conforme,
- d'éliminer au plus tôt une pièce mal usinée.

Les systèmes de vision s'inscrivent dans cette nouvelle génération de capteurs. Appartenant à la catégorie des capteurs dits "sans contact", il en héritent des avantages (rapidité de la mesure, souplesse d'emploi) et des inconvénients (précision en générale inférieure au senseur à contact, sensibilité importante aux variations de conditions de mesures).

Qualifier les processus de contrôle par vision

Qualifier des processus de contrôle par vision se justifie par les finalités suivantes :

- évaluer rapidement la nature et la complexité d'une opération de contrôle afin d'y associer si possible un outil vision existant
- faciliter le développement de nouvelles applications de contrôle par vision.

En conséquence, il faut *qualifier les classes d'applications de vision existantes* selon des critères de nature et précision de mesures effectuées, rapidité de temps de traitement, contraintes d'intégration (type et position des sources lumineuses,

synchronisation avec le procédé à contrôler), etc. D'autre part, il serait intéressant de disposer d'une base de données de composants technologiques vision, à l'instar de celles existant par exemple pour les outils de coupe.

C'est ainsi que la base de connaissances du système expert, développé à l'Institut d'Informatique Industrielle de Brest (III 89) exploite des informations de deux natures :

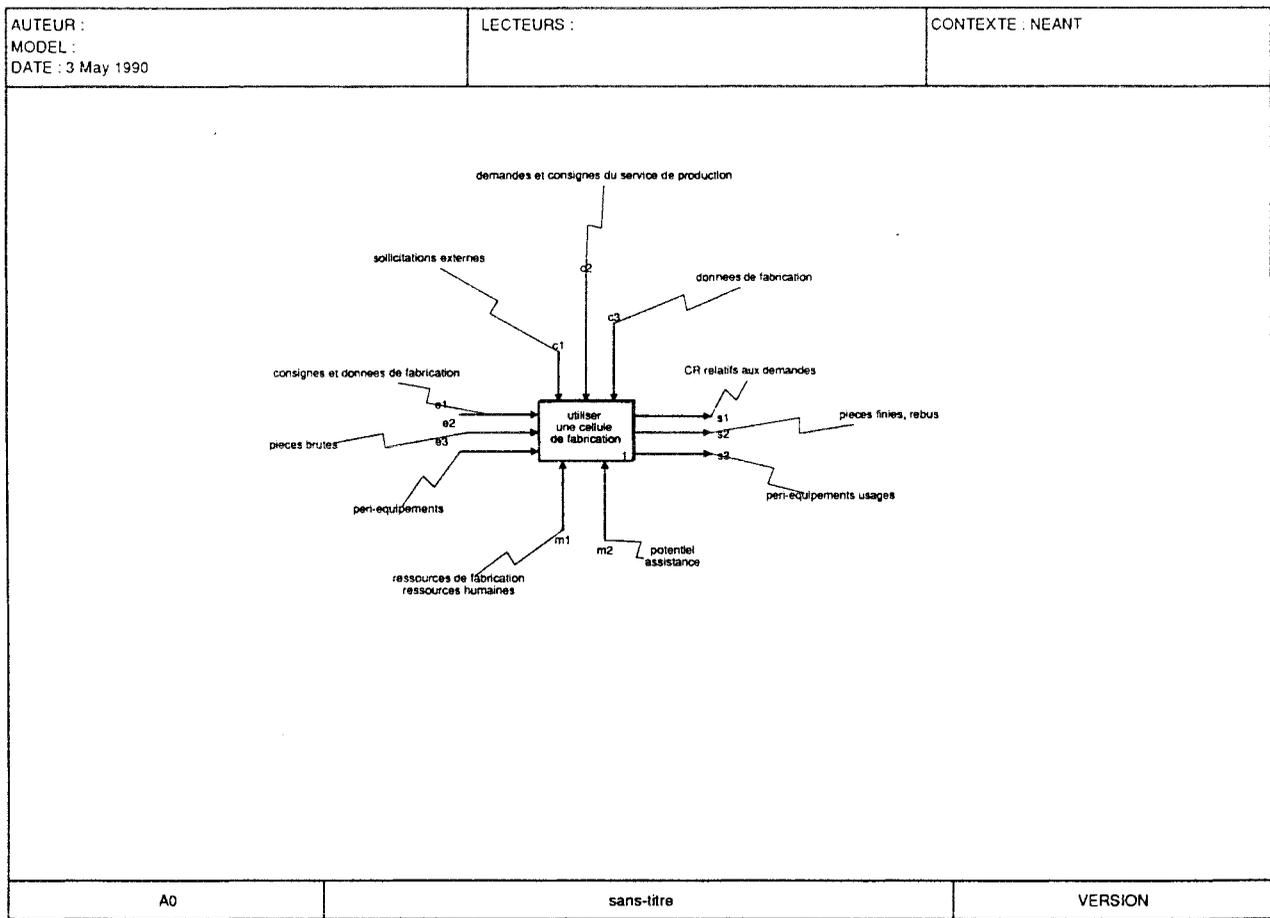
- les *caractéristiques techniques des différents matériels utilisables* : caméras, optiques,...
- des *descriptions d'applications* recensées par l'étude Batelle (BAT 88); chacune d'elle est spécifiée par les champs :
 - * type d'industrie concernée
 - * nature du problème résolu
 - * tolérances
 - * cadences
 - * matériels (source lumineuse, caméra, unité de traitement, autres)
 - * objets observés
 - * paramètres mesurés

... sur le Système Physique de Production (SPP)

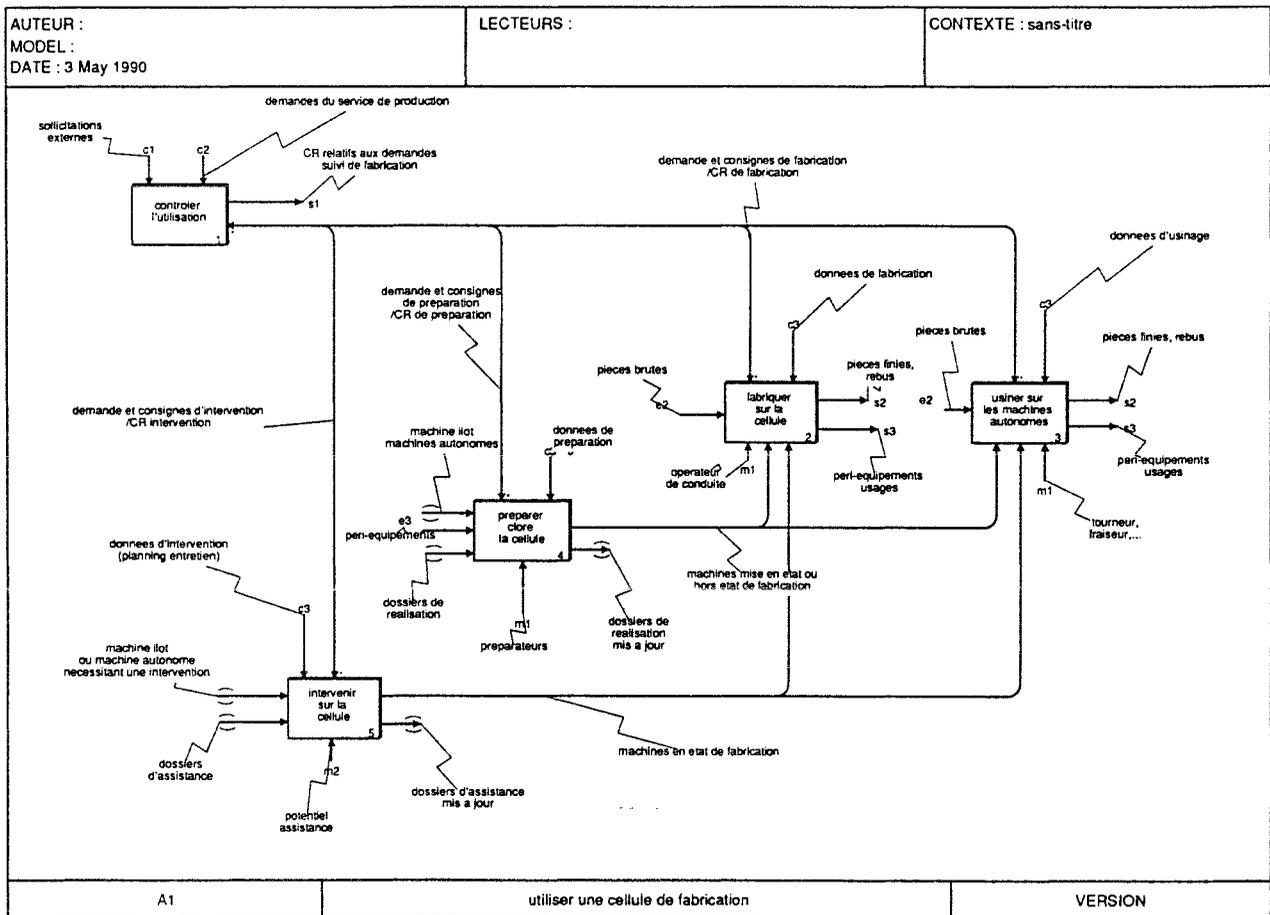
La figure 4 présente une décomposition fonctionnelle de l'activité "utiliser une cellule de fabrication". Ce modèle, issu de (LHO 85), a été enrichi par les travaux de (FRO 88) et parallèlement de notre équipe (VOG 85) (MOR 89) (LES 89).

Le système physique de production met en jeu trois types d'activités (figure 4):

- la *préparation et la clôture* du processus de fabrication, ce qui correspond essentiellement à l'affectation des moyens de fabrication à l'atelier,
- la *fabrication* des pièces en mode automatique sur la cellule, ou de façon manuelle sur des machines exclues temporairement de la configuration cellule (machines autonomes),
- des *interventions* pour effectuer des opérations d'entretien ou de maintenance.



1



2

figure 4 : Utiliser une cellule de fabrication (niveau A1)

Dans la mesure où la méthode SADT formalisant cette analyse est une heuristique dont l'usage révèle une ambiguïté sur la nature du réseau fléché, nous nous proposons d'adopter, en terme de consensus sur l'interprétation des diagrammes (LHO 85) (ASA 87), (VOG 88), les règles suivantes :

- une *activité transforme* un flux d'entrée en un flux de sortie; ce peut être :
 - * un flux matière, l'activité *usiner* transforme des pièces brutes en pièces finies et en rebus (copeaux, pièces non conformes,...);
 - * un flux informationnel, l'activité *contrôler l'utilisation* transforme des données de fabrication en consignes de préparation, de maintenance,...;
 - * un flux mixte, l'activité *identifier un objet par vision* génère à partir de l'objet physique une information objet identifié;

- les *informations* sont soit du type *donnée*, soit du type *événement ou message* :
 - * une donnée existe de manière continue; elle peut être consultée par différentes activités à travers une point d'interface de type entrée ou contrôle. Par exemple, un programme-pièce, des consignes de fabrications, etc. sont des informations de type données. Les données sont considérées comme des informations de type DNC1 (par analogie avec le support de transmission dédié aux transfert de programme-pièces,...). Le choix de faire arriver une donnée par un port d'entrée ou par un port de contrôle est résolu de la façon suivante : "la donnée est-elle transformée par l'activité (entrée) ou est-elle simplement utilisée par l'activité (contrôle) ?";
 - * un événement existe de manière instantanée et peut être paramétré; il est reçu à travers un point d'interface de type contrôle et déclenche l'activité (stimuli). Un même événement peut être envoyé / reçu par plusieurs émetteurs / récepteurs. Par exemple, une demande d'exécution d'un travail, une demande de diagnostic, etc. sont considérés comme des événements. Les événements sont considérées comme des informations de type DNC2 (par analogie avec le support de transmission dédié aux transfert de messages de type contrôle-commande,...).

- un *mécanisme* supporte l'exécution de l'activité. Par exemple, les MOCN sont support de l'activité *fabriquer sur la cellule*. Une ambiguïté demeure : certains mécanismes sont modifiés par le déroulement de l'activité (c'est le cas des péri-équipements du type outils de coupe qui s'usent au fur et à mesure des usinages). Deux solutions sont possibles :
 - * les considérer comme des entrées de l'activité; ceci n'est pas réellement satisfaisant car l'objet de l'activité n'est pas de les modifier : l'activité *usiner* n'a pas pour objectif d'user les outils de coupe;
 - * les considérer comme des mécanismes en admettant qu'ils peuvent être modifiés par le déroulement de l'activité; nous avons retenu cette solution.

2.4) "préparer la fabrication"

L'affectation des moyens de fabrication consiste principalement :

- à l'installation des péri-équipements (outils, montage, capteurs....) sur les machines,
- à la configuration et à la mise en service des équipements ainsi créés.

L'utilisation de la vision artificielle pourrait permettre de détecter certaines erreurs de manipulation, suite notamment à l'installation des péri-équipements sur les machines. Par exemple, il devrait être possible de vérifier automatiquement l'affectation des outils à un magasin, ainsi que les correcteurs d'outils associés.

2.5) "fabriquer sur la cellule"

2.5.1) Un modèle de l'activité "fabriquer"

Fabriquer sur la cellule distingue (figure 5):

- une sous-activité de commande *contrôler la fabrication*
- des sous-activités opératives : *manutentionner, transformer et contrôler la qualité*.

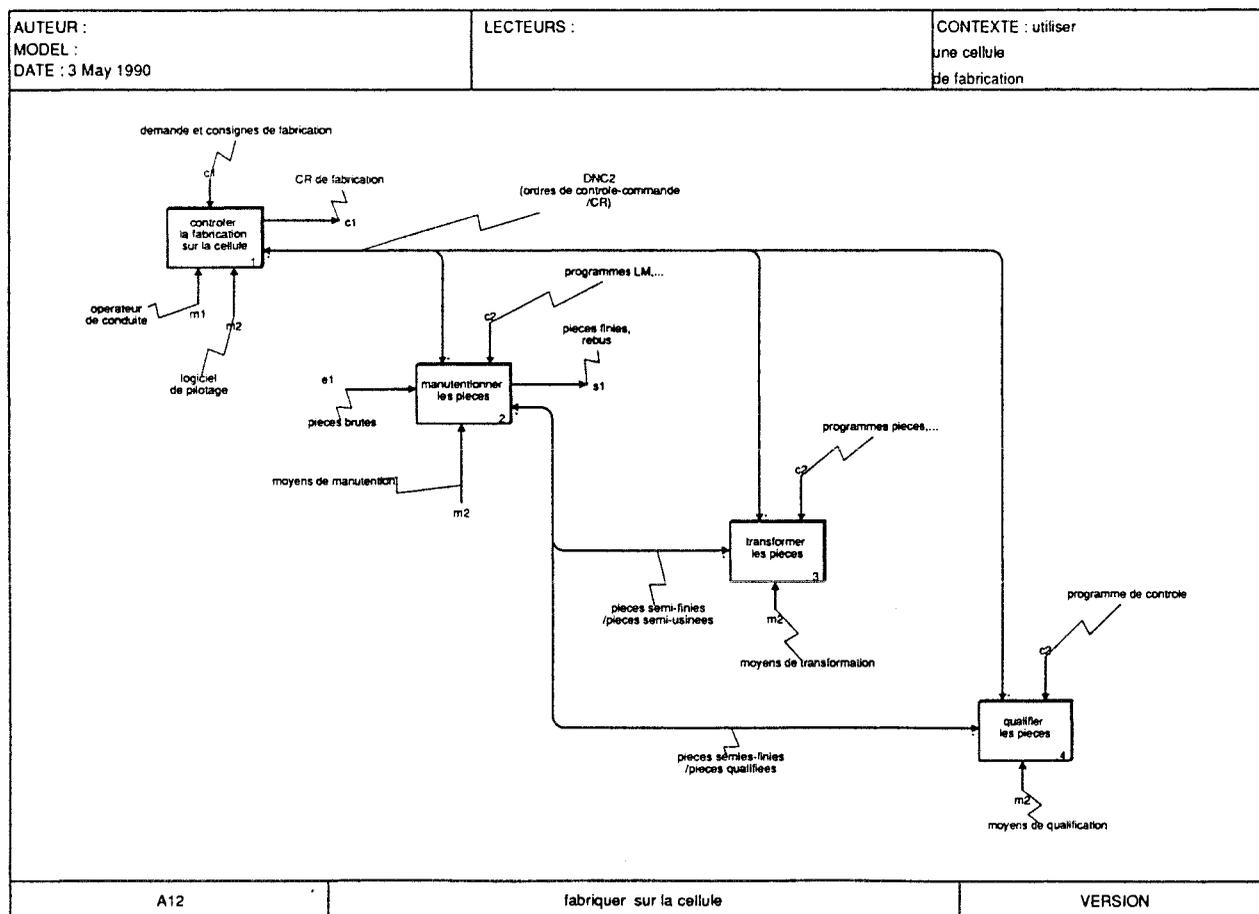


figure 5 : Fabriquer sur la cellule

contrôler la fabrication se décompose à nouveau en :

- *piloter la fabrication*, qui optimise en dynamique la fabrication de la cellule, afin de répondre au mieux aux contraintes de production de l'atelier. Cette optimisation est réalisée à partir d'une stratégie de commande déterminée lors de la phase d'organisation. De façon pratique, cela correspond aux règles de gestion utilisées par le logiciel de pilotage de la cellule;
- *conduire la fabrication*; cette fonction, assurée par l'opérateur de conduite, a pour objet d'une part la gestion des modes de marche/arrêt de la cellule et des équipements, et d'autre part le contrôle de l'activité *coordonner la fabrication* en cas de problèmes;
- *coordonner la fabrication* : cette fonction représente ce que l'on a coutume d'appeler au niveau logiciel "partie commande", par rapport aux activités opératives que sont manutentionner, transformer et contrôler. Le logiciel de pilotage, support de cette activité et présenté ..., coordonne les équipements d'usinage, de manutention et de contrôle pour assurer la fabrication de la pièce.

manutentionner les pièces est assuré dans notre cellule par un robot portique à 6 axes (MUN 88); ceci comprend le transfert des pièces et le chargement / déchargement des équipements.

transformer se décompose en (figure 6) :

- *manutentionner localement* : amenée des pièces en situation d'usinage (confère le palettiseur du centre d'usinage); cette activité n'existe pas sur le tour de notre cellule;
- *usiner* : transformation matière de la pièce selon les opérations d'usinage composant une sous-phase;
- *qualifier localement* : vérification dimensionnelle ou morphologique de la pièce après un usinage.

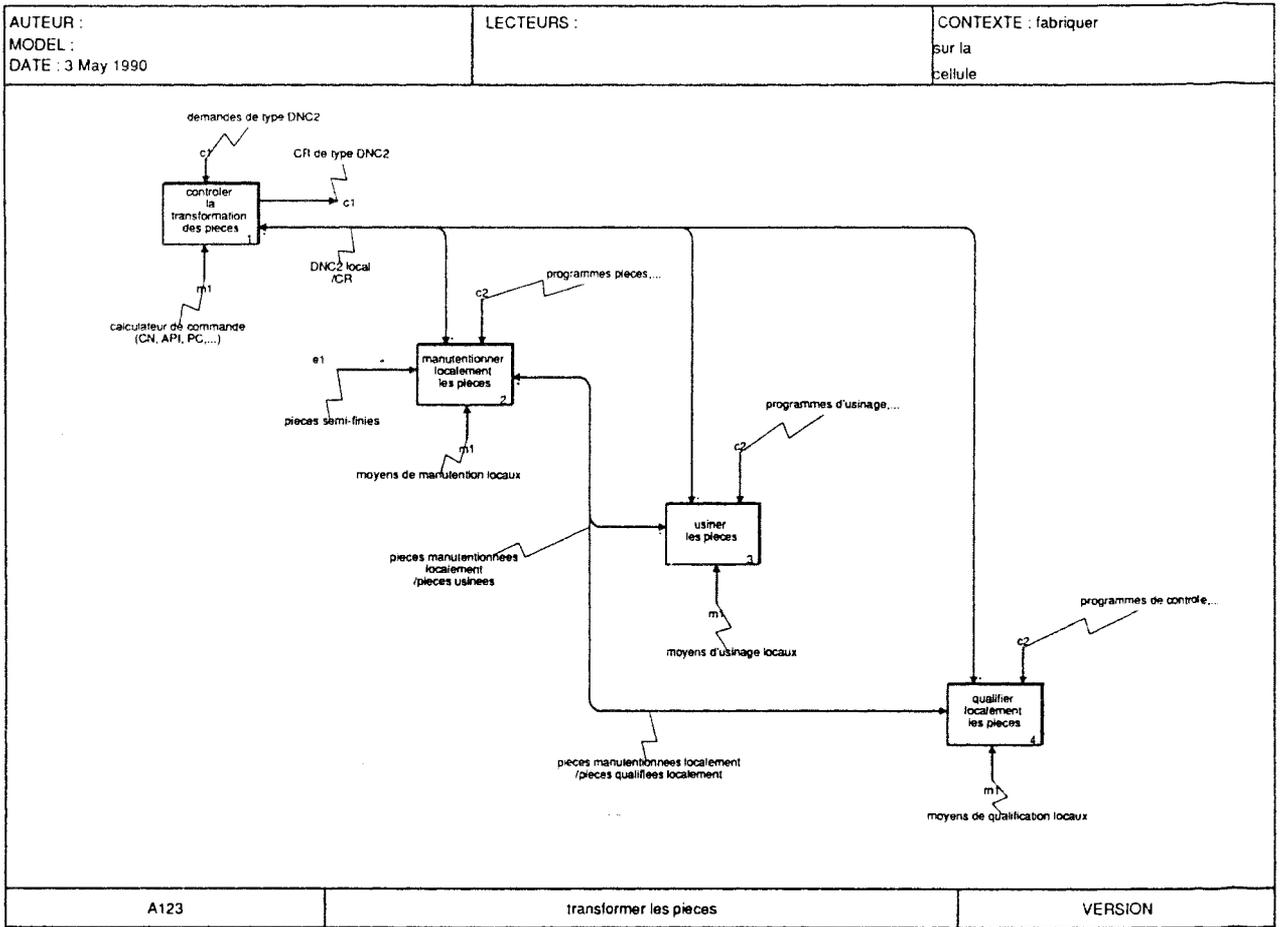


figure 6 : transformer les pièces

qualifier les pièces est la recette finale des pièces. Cette opération s'effectue sur un poste de contrôle dédié (originellement la Machine à Mesurer Tridimensionnelle).

2.5.2) L'apport de la vision à l'activité "manutentionner"

le transfert des pièces dans la cellule

Le transfert des produits entre les différents postes constitue certainement l'un des problèmes les plus ardues à résoudre. Il se compose globalement de la prise du produit, du déplacement du poste de prise au poste de pose et de la pose du produit, avec éventuellement le passage par un poste de "centrage" si des manipulations intermédiaires s'avèrent nécessaires au cas où l'attitude de la pièce dans la pince ne serait pas compatible avec la phase de pose. Les applications possibles d'un système de vision lors de la manipulation d'une pièce sont les suivantes :

** identification / localisation de la pièce à saisir;*

Ceci est essentiellement destiné à la saisie des pièces brutes sur les postes d'entrées de la cellule.

** guidage du robot afin d'améliorer la prise de la pièce;*

Avant la saisie effective, il est parfois intéressant de corriger la position de la pince par rapport au produit (robot non bouclé, calibrage vision/robot ou localisation initiale de la pièce imprécis,...).

** Serrage de la pièce;*

Si la position du produit dans la pince n'est pas celle attendue lors de la phase de serrage, celle-ci risque d'amplifier l'erreur de positionnement. L'analyse visuelle de l'ensemble pièce-pince peut être un moyen efficace pour la mise à jour de la transformation repère pièce / repère pince.

** Réorientation d'une pièce;*

Certaines pièces dites de révolution ne permettent pas la détermination de leur orientation par la simple analyse de leur contour extérieur et nécessitent parfois une orientation précise lors de leur pose sur un poste d'usinage. Plutôt que de développer un montage d'usinage auto-centreur complexe et couteux, une pré-orientation du produit par la localisation d'un élément particulier (par exemple un trou), complétée par un repérage plus fin à l'aide d'un palpeur du type renishaw peut s'avérer une solution plus rationnelle.

** reprise d'une pièce;*

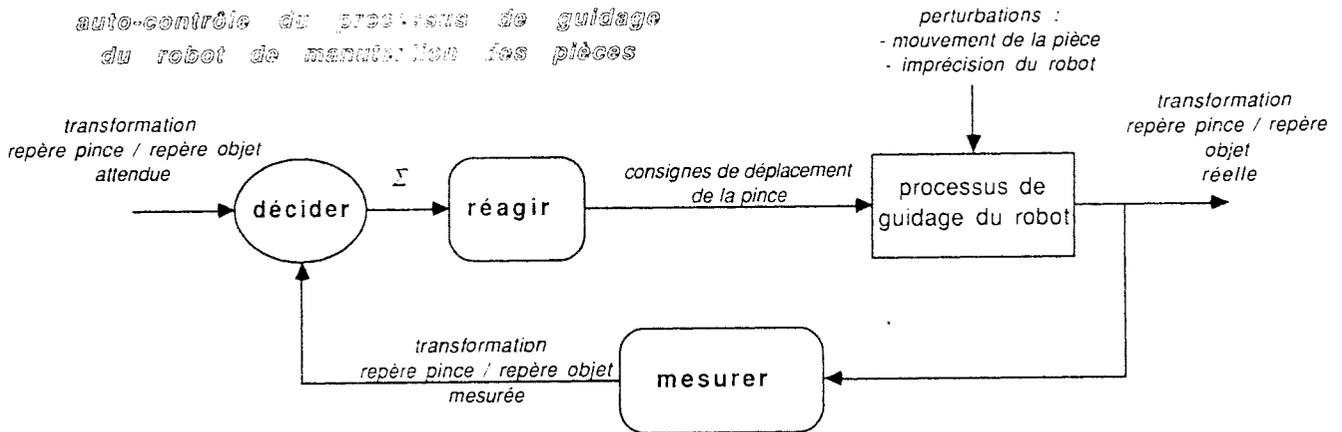
Dans ce cas, le passage du repère prise au repère pose nécessite des manipulations intermédiaires. Ceci se produit notamment lors de la prise d'une pièce brute si sa position et son orientation dans l'espace de travail du robot ne sont pas spécifiées. De plus, si pour des positions d'équilibre différentes elle présente certaines faces identiques, plusieurs manipulations suivies de phases de reconnaissance seront nécessaires pour préciser la transformation repère pièce / repère pince.

** guidage du robot afin d'améliorer la pose de la pièce;*

L'utilisation d'informations visuelles destinées à corriger la transformation repère pièce / repère pose se justifie dans l'optique d'une programmation hors ligne du robot, car il est impératif de considérer certains aspects dynamiques liés à la charge déplacée par le robot. Ainsi, le bras du robot portique implanté dans notre cellule présente une flèche relativement importante (...) fonction de la masse qu'il transporte. Une première solution qui consisterait à essayer de modéliser ce comportement semble assez complexe au vu de la morphologie du bras. La solution vision est plus séduisante dans la mesure où nous devrions pouvoir corriger la flèche, mais également garantir un positionnement correct du préhenseur du robot.

* évitement d'obstacle, accessibilité du poste de travail

L'accessibilité du poste de prise ou de pose peut être compromise pour diverses raisons : défaillance d'un équipement (non ouverture d'un sas, présence de la contre-pointe sur le tour,...), présence de copeaux perturbant la mise en référence (ablocage) de la pièce avant l'usinage, etc. On conçoit aisément l'intérêt d'une observation visuelle du poste de travail.



alimentation de la cellule en pièces brutes et évacuation des pièces finies.

Dans le contexte d'une réorganisation de l'outil de production, on peut être amené à modifier complètement les dispositifs d'alimentation et d'évacuation de pièces de la cellule. L'utilisation de systèmes de vision semble adaptée pour autoriser cette souplesse (*flexibilité*), certaines implantations industrielles ayant prouvées la fiabilité de systèmes très performant pour des applications spécifiques (prise de pièces palétisées, saisie de pièces sur tapis roulant,...). Il faut toutefois se garder d'être trop enthousiaste et avoir conscience des différents paramètres qui vont tendre à accroître la complexité du système et donc des moyens à mettre en oeuvre; citons:

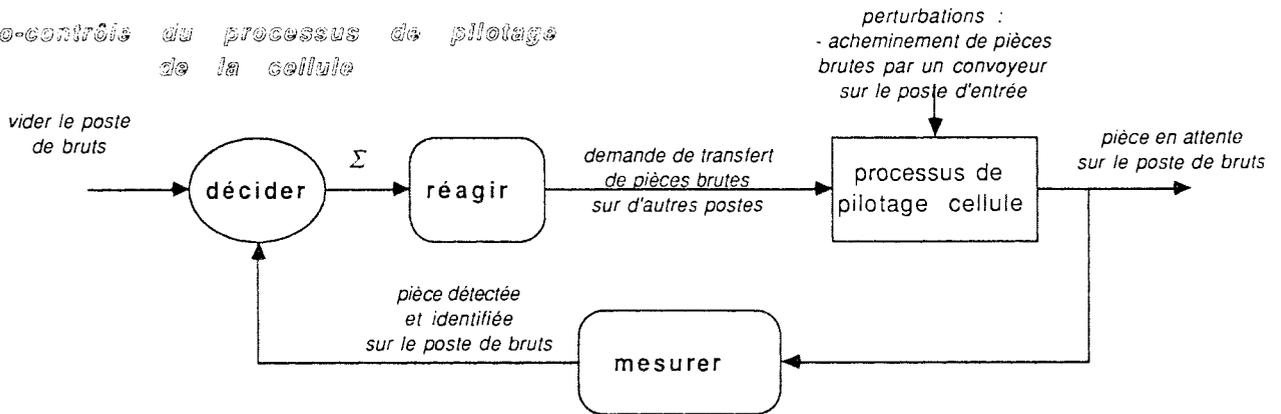
- la disposition des pièces: isolées avec position et orientation définies ou non, pallétisées, en vrac planaire ou en vrac volumique,
- le mouvement des pièces: à l'arrêt, en mouvement de translation uniforme (cas d'un tapis roulant),
- l'unicité des pièces: toutes de même type ou non,
- les problèmes propres à toute implantation de systèmes de vision (condition d'éclairage, pièces très discriminantes ou non), etc.

Selon le dispositif d'amenée de pièces brutes, divers besoins peuvent apparaître:

- identification du type de pièce, avec détermination d'attitude (position d'équilibre),
- localisation, c'est à dire détermination de la position et de l'orientation du produit (repère pièce) par rapport au repère de travail du robot (repère station),
- contrôle de sa conformité.

L'évacuation des pièces finies et des rebus ne requière pas à priori de tels besoins, bien que certains contrôles pourraient éviter bien des désagréments (vérification de la présence et du taux de remplissage d'un container destiné à recevoir les pièces, vérification de l'encombrement du tapis roulant chargé d'évacuer les pièces, etc.).

auto-contrôle du processus de pilotage de la cellule

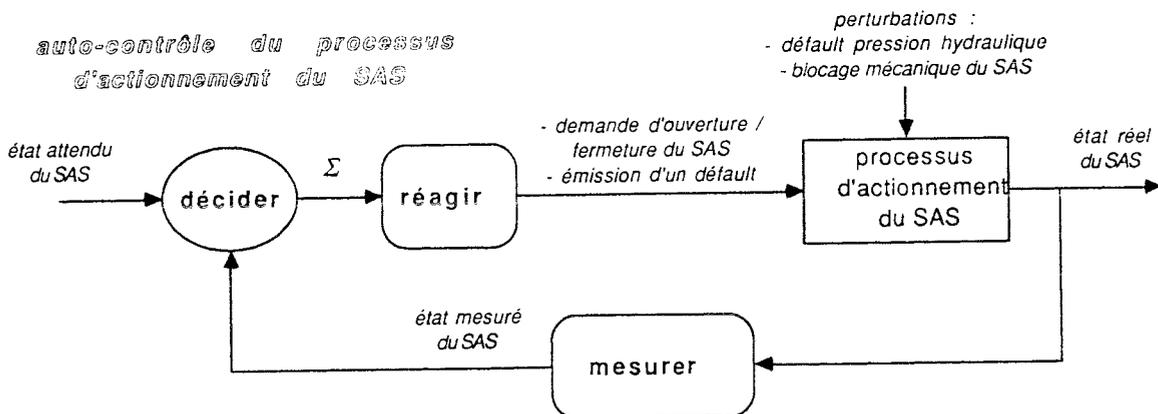


2.5.3) L'apport de la vision à l'activité "manutentionner localement"

L'amenée des pièces en situation d'usinage est susceptible de poser un certain nombre de problèmes, pour lesquels la vision pourrait être un élément de réponse; prenons le cas du centre d'usinage de notre cellule :

- mauvais ablocage de la pièce
- non ouverture du sas d'accès, ou défaillance du capteur d'ouverture
- coincement d'une palette en entrée ou en sortie de la zone de travail, etc.

auto-contrôle du processus d'actionnement du SAS



2.5.4) L'apport de la vision à l'activité "usiner"

contrôles de la préparation d'une opération d'usinage

vérification du type d'outil

L'analyse du profil d'un outil peut permettre de détecter une erreur lors d'un changement d'outil.

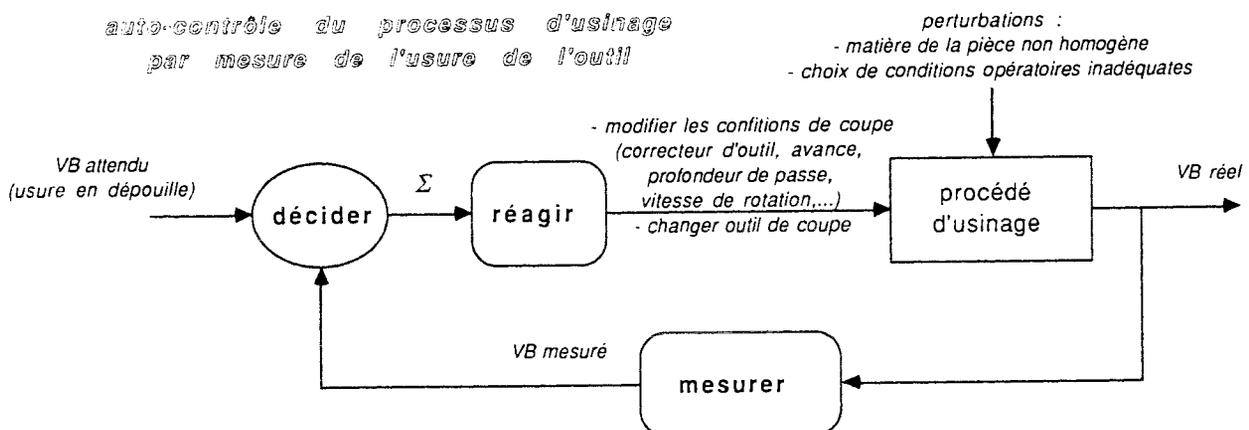
vérification du correcteur d'outil

La localisation de la position de l'extrémité de l'outil / au référentiel machine peut permettre de vérifier le correcteur d'outil ainsi que la longueur du porte-outil (notamment dans le cas d'un outil de tournage).

vérification de l'état d'usure de l'outil

Différents paramètres d'usure d'outils sont contrôlables par des moyens optiques : usure en dépouille, ébrèchement, etc. Nous présentons une application de contrôle d'outils de tournage au chapitre 4.

auto-contrôle du processus d'usinage par mesure de l'usure de l'outil



vérification de la pièce

ce contrôle comprend :

- la vérification du type de pièce et de sa position / référentiel machine
- la présence de formes déjà usinées dans le cas d'usinage couplés, tel que la détection de présence et le contrôle du diamètre d'un trou avant taraudage.

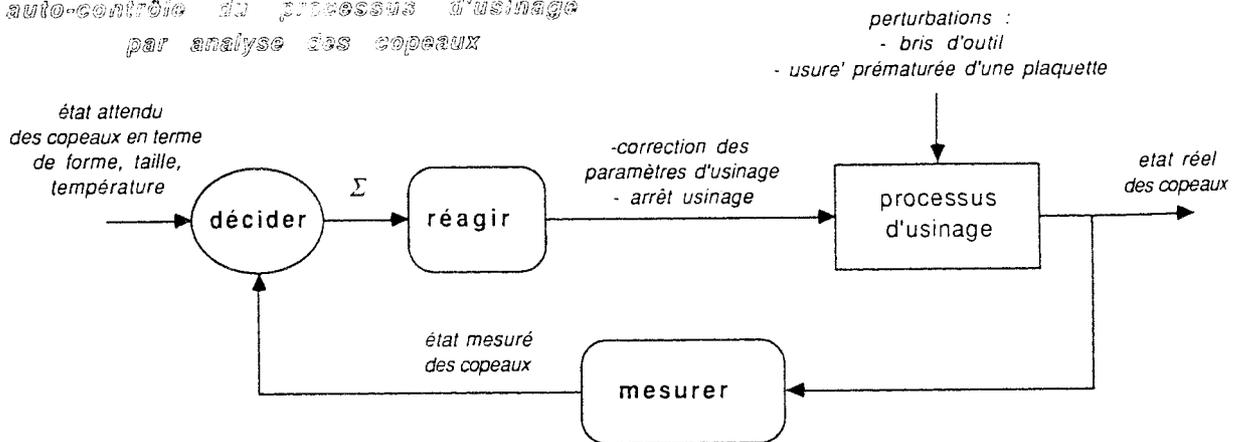
contrôles durant l'opération d'usinage

Observation des copeaux

L'observation des copeaux est une source d'information importante pour le contrôle du processus d'usinage. Des travaux de recherche sont actuellement menés dans quelques laboratoires dans le but d'automatiser cette fonction. Un système

caméras infra-rouge, ce qui devrait permettre d'affiner les paramètres d'usinage et de détecter les bris d'outils.

*auto-contrôle du processus d'usinage
par analyse des copeaux*



Observation de l'état de surface

Le CETIM (Centre Technique Des Industries Mécaniques) a recensé différents travaux de recherche concernant le contrôle de l'état de surface de la pièce pendant l'usinage par des moyens optiques (CET 89).

Observation des mouvements relatifs de la pièce et de l'outil

(BOU 88) montre la faisabilité d'une surveillance des mouvements relatifs de l'outil et de la pièce par soustraction successives d'images (figure 7) .

2.5.5) L'apport de la vision à l'activité "qualifier localement les pièces"

Contrôle de la conformité d'une pièce après usinage

Il ne s'agit pas à proprement parler d'un contrôle qualité, ce travail étant dévolu localement à un palpeur de type RENISHAW, mais plutôt d'une vérification de la bonne exécution d'un usinage (détection indirecte d'un bris d'outil ou simplement "l'oubli" d'une séquence d'usinage) sur le poste d'usinage. (BOU 88) développe actuellement un support de caméra susceptible d'être monté sur la broche d'un centre d'usinage au même titre qu'un autre outil (figure 8).

Contrôler directement sur le poste d'usinage présente un certain intérêt, notamment avant la reprise d'une pièce par le robot si la surface usinée est une surface de référence pour la préhension (par ex, cas d'une pièce cylindrique déposée sur la machine avec une pince à trois doigts, sur laquelle on usine des surfaces prismatiques qui serviront de référence pour la reprise avec une pince à deux doigts).

L'intérêt d'un contrôle sur la machine d'usinage réside non seulement de détecter une défaillance (usure prématurée d'un outil), mais également dans la possibilité de la corriger immédiatement et localement. (RIC 85) étudie la réalisation d'un logiciel de *correction des paramètres d'usinage* implanté sur un centre d'usinage. Cela rejoint également les travaux menés sur la *commande adaptative*.

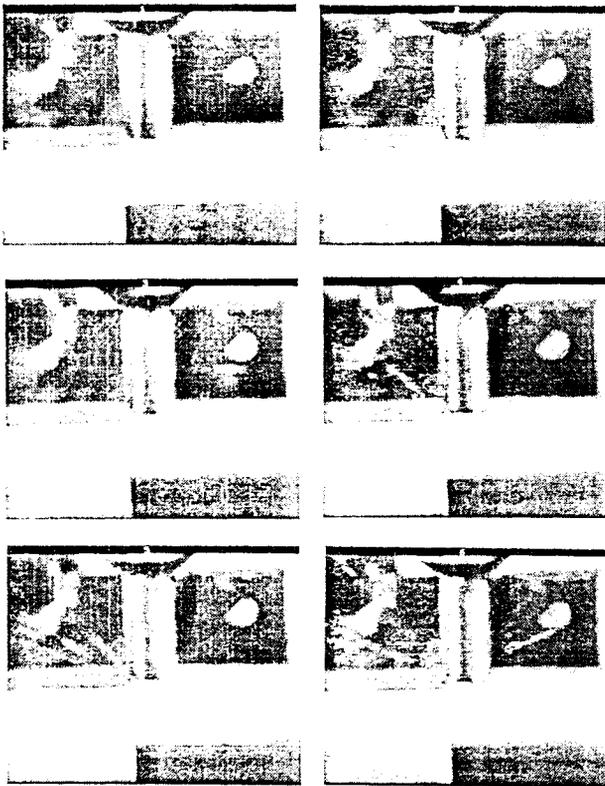
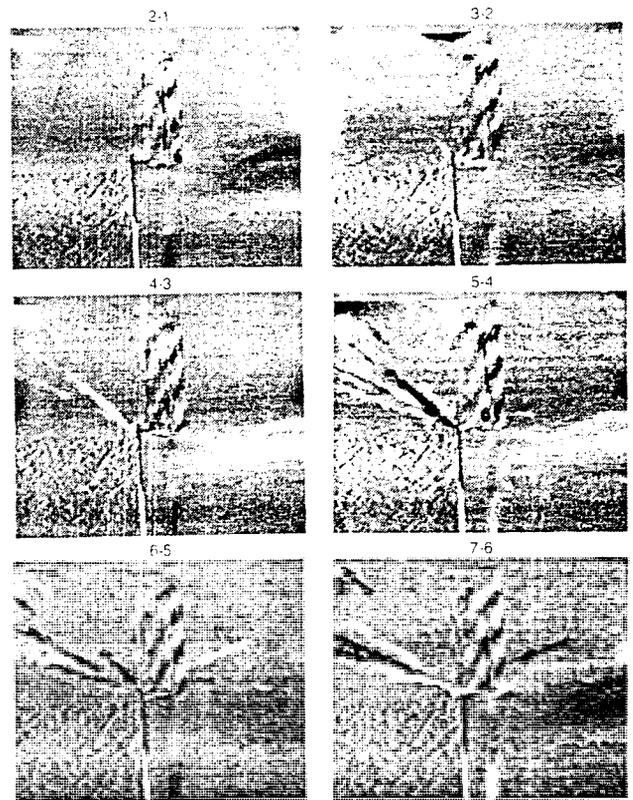
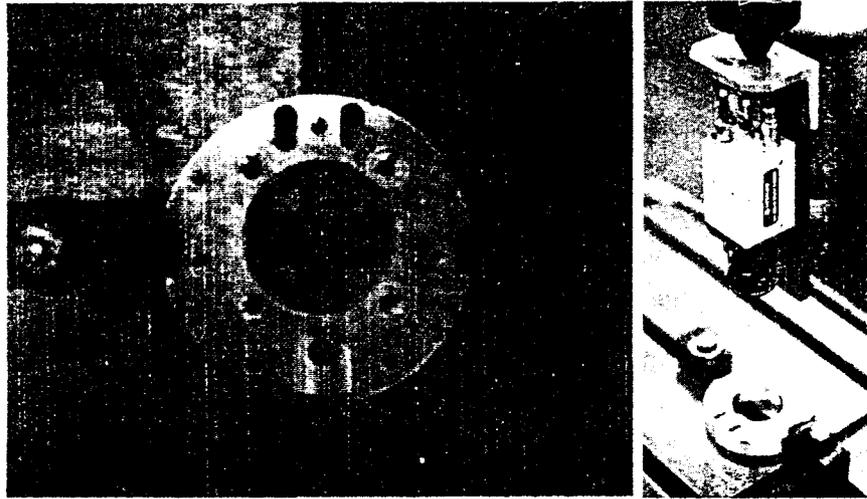


Figure 7. Cutting sequence.



Differenced images from cutting sequence.

figure 7 : Observation des mouvements relatifs de l'outil et de la pièce (BOU 88)



A visualization of the machine tool world from tool holder.

figure 8 : Caméra embarquée dans un centre d'usinage (BOU 88)

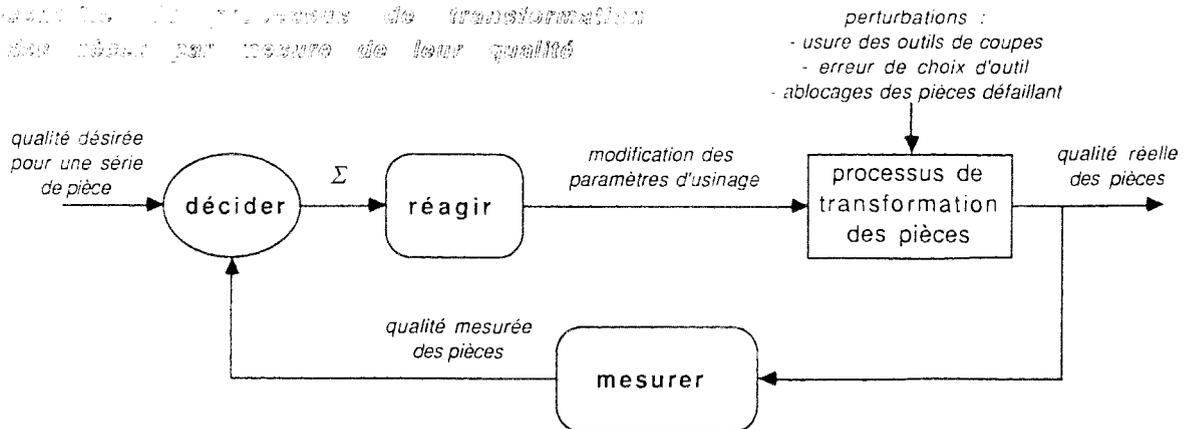
2.5.6) L'apport de la vision à l'activité "qualifier les pièces"

Le contrôle de la pièce sur un poste d'usinage ou un poste d'entrée/sortie limite ses angles d'observation à quelques points de vue et n'offre pas un environnement de contrôle idéal : problèmes d'éclairage, de propreté des pièces (lubrifiant d'usinage, copeaux), d'où l'intérêt de disposer d'un poste-pièce dédié aux opérations de contrôle par vision.

Certains constructeurs proposent d'ores et déjà des machines de contrôle de haute précision par vision 2D ou vision-laser. La précision de mesure étant fonction de la taille du champ observé et de la résolution du capteur, le principe consiste à embarquer le senseur sur un robot de mesure pour le faire évoluer autour de la pièce.

Pour des contrôles qui ne nécessitent pas une précision de mesure importante (détection de présence, contrôle de conformité), signalons la possibilité d'utiliser le robot de manutention de la cellule pour maintenir la pièce en position par rapport aux capteurs. Le préhenseur du robot devient alors un porte-pièce affecté temporairement au poste de contrôle.

2.6) "maintenir" le processus de transformation des pièces par mesure de leur qualité



2.6) "maintenir"

2.6.1) Conséquences des activités de maintenance

En terme d'assistance, une cellule flexible est un ensemble d'équipements qu'il faut maintenir en bon ordre de marche afin de répondre au mieux aux consignes de fabrication. Différents spécialistes sont amenés à intervenir sur la cellule :

- les équipes de maintenance préventives (entretien régulier des équipements; opérations planifiées),
- les équipes de maintenance curatives (intervention suite à une défaillance d'un matériel; opération non planifiée),
- les équipes de production.

Ces interventions humaines ont pour conséquences :

- la sécurité des intervenants,
- une baisse de la productivité,
- la nécessité de définir des modes plus ou moins complexes de reprise de la fabrication après intervention, etc.

Pour ces diverses raisons, il importe d'assister les opérations de maintenance par :

- une meilleure structuration des architectures de commande; par exemple, la définition de *modèles de comportement* des fonctions opératives les plus simples (LHO 85), tel le comportement d'un vérin, permet l'auto-détection de pannes simples (défaillance d'un capteur ou d'un actionneur)
- l'élaboration de systèmes experts d'aide au diagnostic de pannes; d'autant plus efficaces s'ils interagissent avec les logiciels de commande, ils permettent d'assister et de planifier les procédures d'intervention

D'autre part, il reste impératif de contrôler l'accès des personnels à l'intérieur de l'enceinte de travail par la mise en place de dispositifs de protection des personnes et des matériels, compatibles avec les impératifs de flexibilité énoncés au chapitre 1.

2.6.2) L'apport de la vision à l'activité *"Maintenir"*

Redondance d'informations

Un système de vision est susceptible de pallier temporairement la défaillance d'autres capteurs, tel un fin de course sur un vérin actionnant un sas ou encore s'assurer de l'état d'un mandrin (position ouverte ou fermée) avant une insertion de pièce; l'idée est de fournir au logiciel de pilotage une source d'informations très souple, utilisable à sa demande par des ordres du type "vérifier ouverture sas tour", et d'éviter ainsi l'intervention systématique et immédiate d'un opérateur lorsqu'un problème apparaît.

La reconnaissance de cibles disposées à des endroits adéquats par une caméra embarquée sur le bras du robot et couplée à une source lumineuse serait à étudier.

L'information vidéo fournie par ce capteur est également disponible pour l'opérateur de conduite, qui peut ainsi obtenir des informations supplémentaires sur l'état du système sans pénétrer dans l'enceinte de travail.

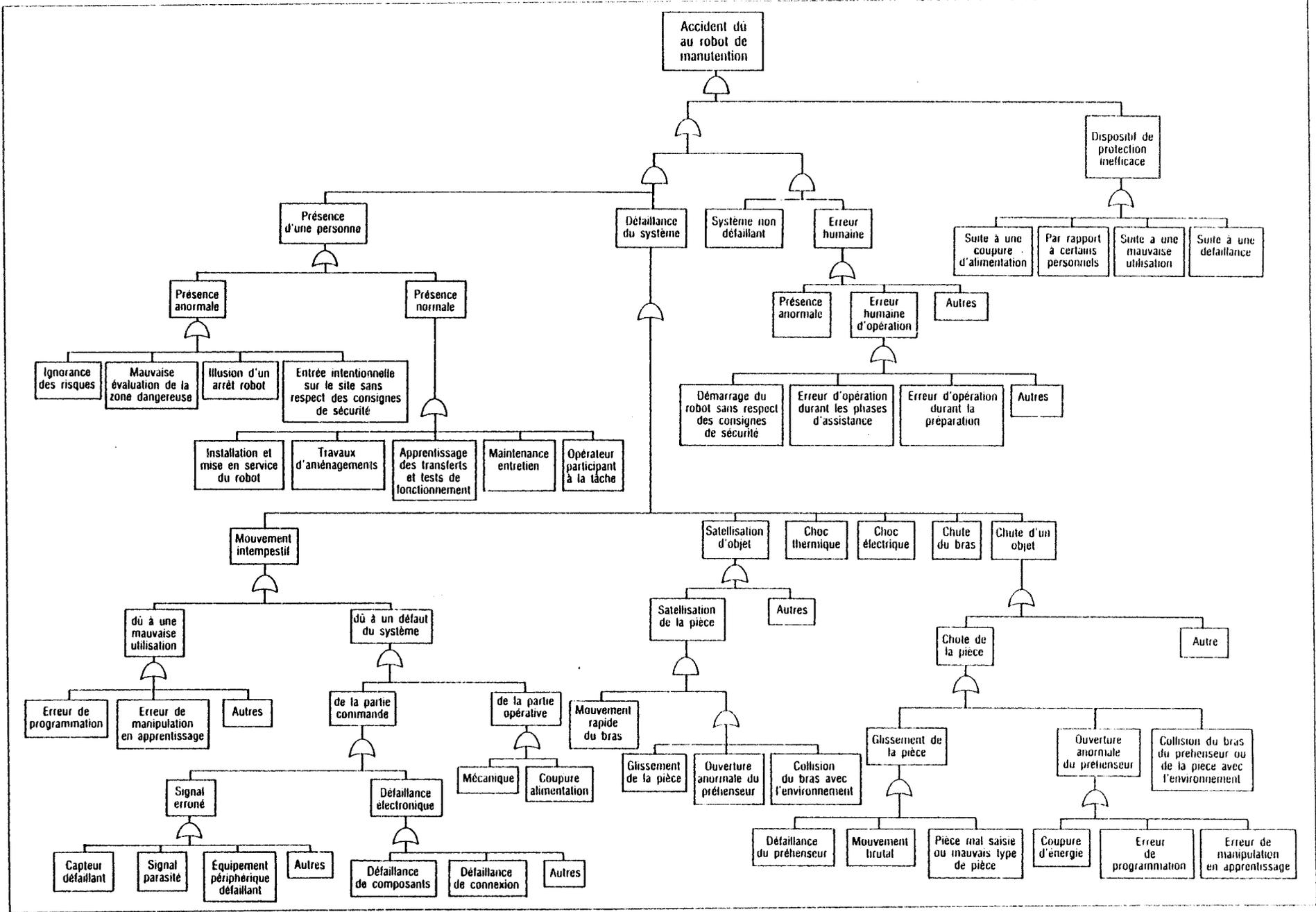
Dans une phase de développement plus avancée, le problème de modes de reprises de la fabrication en cas de problèmes devra être considéré. Nuls doutes que l'emploi de capteurs extéroceptifs capables de répondre à des questions du type : l'état du produit est-il compatible avec sa préhension ?, etc. facilitera la recherche automatique de solutions.

Sécurité : détection de la présence d'une personne dans l'enceinte

Si l'accroissement de la robotisation dans les entreprises a contribué à éloigner l'homme des machines et ainsi diminuer les risques encourus, cela est à relativiser par le fait que ces machines présentent de nouveaux risques surtout dans les phases d'apprentissage et de maintenance. C'est pourquoi, en collaboration avec L'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), nous avons proposé, dans le formalisme SADT, une méthode d'analyse des problèmes de sécurité posés par les systèmes de fabrication flexible (VOG 86). L'idée principale consiste à analyser de façon structurée le cycle de vie de la cellule pour préciser les conditions de toute intervention humaine dans la zone dangereuse. La figure 9 présente un arbre des défaillances, extrait de cette étude.

Il semble en effet qu'un risque majeur d'accident soit du à la présence impromptue d'une personne dans l'enceinte robotisée, suite à un non respect des règles d'interventions. La délimitation de l'enceinte de travail par des protections matériels (grilles et portes d'accès munies de serrures dites de sécurité) est contraignante (certains travaux de maintenance oblige au démontage des grilles) et parfois dangereuse (risque de coincement entre le bras manipulateur et l'enceinte). Les barrages immatériels, qui détectent l'interception d'un flux lumineux, n'offrent apparemment pas toutes satisfactions.

Figure 9 : Arborecence représentant les divers chemins pouvant conduire à l'accident (VOG 85)



Détecter automatiquement par un capteur visuel une présence humaine sur un site dangereux est certainement un concept prometteur. Une société commercialise un capteur de surveillance automatique de bâtiment. Par l'utilisation de caméras infra-rouge, ce système est capable de déceler dans l'obscurité tout mouvement dans une scène donnée. Il n'est toutefois pas en mesure d'identifier l'origine du mouvement (un homme, un animal,...).

La mise en *sécurité positive* d'un opérateur par un système de vision est certes plus complexe, mais reste susceptible de voir le jour dans les années ou décennies à venir.

2.7) Conclusion

En résumé, il apparaît que les besoins en contrôle par vision concernent :

- le suivi de la qualité du produit au cours de ses transformations,
- la surveillance des processus opératoires (manutention, usinage,...),
- la détection d'erreurs humaines, suite à une opération de préparation ou de maintenance,
- la surveillance des sites de fabrication (sécurité des personnes).

D'une façon plus précise, ces besoins se classent en :

- contrôle de *dimension* (calcul des cotes d'une pièce),
- contrôle de *conformité* (par ex, vérification de la présence d'un trou de perçage sans contrôle précis de son diamètre,...),
- contrôle de *d'état* (sas, mandrin ouvert ou fermé,...)
- contrôle de *position* (évaluation d'un référentiel objet / référentiel de référence); ce type de contrôle recouvre différents cas d'espèce, plus ou moins complexes :
 - * détermination de l'attitude d'un objet, c'est à dire de son état d'équilibre / à un plan de référence
 - * localisation angulaire d'un objet
 - * localisation d'un objet dans un plan (position et orientation)
 - * localisation d'un objet un espace 3D (vecteur origine 1*3 et matrice d'orientation 3*3 du repère associé à l'objet)
 - * localisation d'un objet en déplacement (il est raisonnable de se limiter au mouvement de translation uniforme (plus ou moins) selon un axe particulier afin de considérer le cas des convoyeurs industriels)
 - * localisation d'un objet "relativement" à un autre objet (position d'un préhenseur / à une pièce),
- contrôle de *type* (identification de pièce)
- contrôle de *d'aspect* (analyse de teinte, texture, etc. ceci concerne plus l'analyse d'état de surface)
- contrôle de *comportement*, c'est à dire surveillance d'un processus en cours de déroulement (surveillance et calibrage des copeaux durant l'usinage, asservissement).

Il est à remarquer que le système de vision intervient à différents niveaux :

- en tant que capteur proprioceptif :

- * d'un élément opératif, pour l'asservissement en temps réel d'un axe ou d'un système poly-articulé (robot), (nous n'avons pas considéré cet aspect très particulier),

- * de la cellule, pour le bouclage qualité de la fabrication,

- en tant que capteur extéroceptif de l'équipement : bouclage de partie opérative (SAS), de tâche élémentaire (échange de pièce).

3) Intégrer la visionique ...

... dans le SGP

3.1) 'Concevoir les processus de fabrication'

3.1.1) Introduction

Un processus de fabrication comprend essentiellement trois processus de base :

- le processus d'usinage,
- le processus de manutention,
- et le processus de contrôle qualité.

Nous avons montré §2 l'importance du sens "visuel" dans le déroulement du processus de fabrication. Nous nous proposons maintenant de formaliser l'intégration d'un système de vision artificielle dans une unité de production, en gardant comme référence le modèle présenté figure 3.

3.1.2) La notion de "processus de contrôle"

Le système de vision n'est qu'un élément du processus de contrôle

Un capteur visuel répond à différents besoins (identification, localisation, contrôle, guidage); nous traitons son intégration d'une façon générale, en le considérant comme un système multi-fonctions.

Différents éléments participent à l'exécution d'une opération de contrôle :

- le capteur, ce terme regroupant toutes les composantes de la chaîne d'acquisition et d'interprétation des mesures,
- l'objet à contrôler, ainsi que les matériels chargés de sa mise en situation de contrôle (montage, porte-outil, MOCN...),
- l'environnement (conditions d'éclairage, de propreté, de vibrations,...),
- le système d'information chargé de l'échange des données entre ces matériels,
- le logiciel de commande chargé du séquençage de l'opération.

Par exemple, le contrôle par vision de l'usure d'une plaquette de tournage met en jeu :

- le capteur (la caméra, le système d'éclairage, le processeur d'images, ainsi que les algorithmes de traitements...),
- la plaquette, montée sur l'outil d'usinage, donc le porte-outil lui-même contrôlé par le tour,
- l'environnement (état de propreté de la plaquette,...)
- le médium et le protocole de communication entre le processeur image et le tour,
- la gamme de contrôle.

- la gamme de contrôle.

Un Processus de contrôle se définit donc comme l'ensemble des matériels et logiciels qui collaborent à un instant donné pour réaliser une opération de contrôle.

3.1.3) Comment s'intègre un "processus de contrôle" dans un "processus de fabrication" ?

La problématique

La conception du processus de fabrication a pour objet l'organisation des processus de transformation en fonction des ressources d'usinage, de contrôle et de manutention disponibles. Concrètement, il s'agit de générer une gamme de fabrication, basée sur une gamme d'usinage et complétée par les opérations de contrôle et de manutention. Ce travail, usuellement dédié aux personnels du bureau des méthodes (gammistes), conditionne la productivité de l'atelier. De ce fait, des recherches ont été menées pour améliorer la qualité et la productivité de leur travail. Les efforts se sont essentiellement concentrés sur la réalisation d'outil d'aide à la conception du processus d'usinage. La problématique est d'automatiser toute la conception du processus de fabrication ou pour le moins d'en faciliter les différentes étapes.

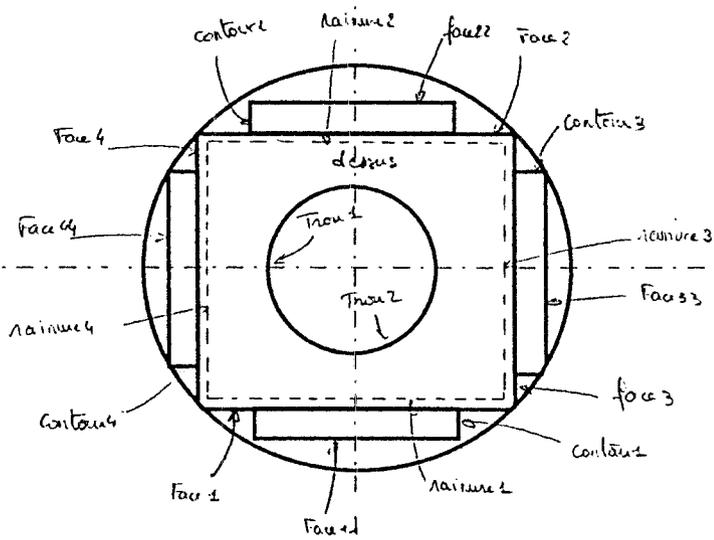
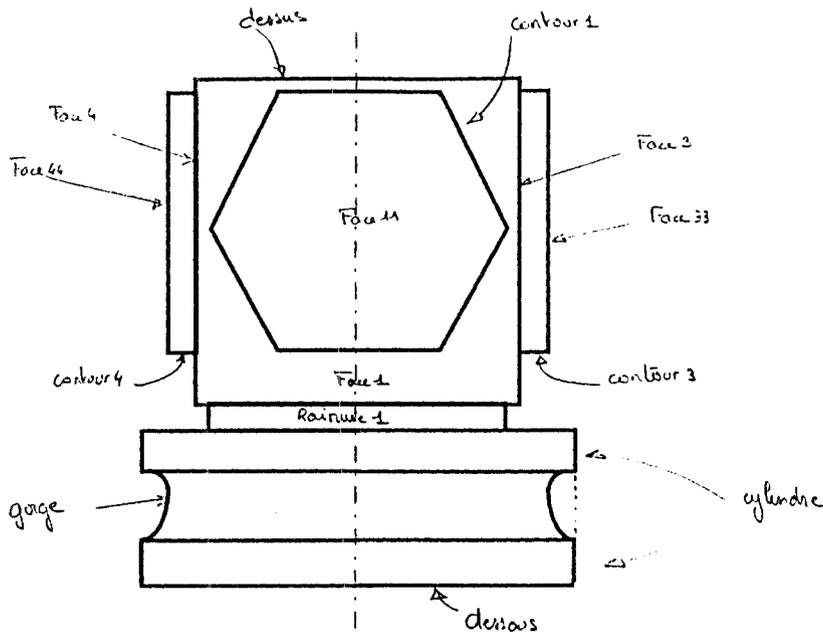
Les outils d'aide à la conception du processus d'usinage

Deux types d'approches diffèrent pour la conception des gammes d'usinages :

- *l'approche par variante*, la plus courante, à la base des progiciels de T.G.A.O. Elle a pour objet une réutilisation optimale de l'expérience de l'entreprise, avec pour principe de dériver des solutions élaborées lors de la production de pièces de type similaire; un codage numérique permet de représenter des caractéristiques aussi diverses que : matière, morphologie, fonctionnalité,... Cette approche est peu compatible avec la notion de flexibilité (dérivation);

- *l'approche générative* propose une gamme d'élaboration du produit à partir :
 * de règles de l'art particulières aux procédés de transformation
 * d'une description des ressources de l'atelier
 * d'une description morphologique des produits par entités et relations (figure 10).

Cette approche présente l'intérêt de mieux apprécier les degrés de liberté d'une conception. Ainsi, le système expert PROPEL (TSA 87) propose pour l'élaboration de la pièce TOTEM utilisée dans nos études plusieurs centaines de solutions possibles. Bien évidemment, la plupart de ces solutions ne sont pas viables économiquement;



Entités descriptes
Pour Propel

Entité Bossel → support Face 1
 → face Face 11
 → surface latérale Contour 1
 Idem → Bossel 2, Bossel 3, Bossel 4

```

////////////////////////////////////
;;
;; TOTEM: piece de reference      ILOT      AIPL      21/03/90
;;
////////////////////////////////////

; Description generale de la piece

(part totem (ra 6.3) (quality 10) (s-x 50) (s-y 50) (s-z 68))

; Description des entites

(feature facel (type cluttered-face)
  (normal x+)
  (ra 1.6)
  (s-y 42)
  (s-z 42)
  (support-of facel1 contour1))

(feature face2 (type cluttered-face)
  (normal x-)
  (ra 1.6)
  (s-y 42)
  (s-z 42)
  (support-of face22 contour2))

(feature face3 (type cluttered-face)
  (normal y+)
  (ra 1.6)
  (s-x 42)
  (s-z 42)
  (support-of face33 contour3))

(feature face4 (type cluttered-face)
  (normal y-)
  (ra 1.6)
  (s-x 42)
  (s-z 42)
  (support-of face44 contour4))

(feature rainure1 (type slot)
  (normal x+)
  (width 6)
  (depth 10)
  (support face1))

(feature rainure2 (type slot)
  (normal x-)
  (width 6)
  (depth 10)
  (support face2))

(feature rainure3 (type slot)
  (normal y+)
  (width 6)
  (depth 10)
  (support face3))

(feature rainure4 (type slot)
  (normal y-)
  (width 6)
  (depth 10)
  (support face4))

(feature facel1 (type boss-face)
  (normal x+)
  (compose bossel)
  (s-y 40)
  (s-z 30))

(feature face22 (type boss-face)
  (normal x-)
  (compose bossel)
  (s-y 40)
  (s-z 30))

```

Figure 10 : Extrait de la description de la pièce TOTEM en termes d'entités et relations (PAR 90)

```

////////////////////////////////////////////////////////////////////
//
//                               Ilot de Production A.I.P.L          08/03/90
//
////////////////////////////////////////////////////////////////////
; l'Atelier est compose de machines et d'outils
(consists-of ressource
machine tool)

////////////////////////////////////////////////////////////////////
//
//                               MACHINES DISPONIBLES
//
////////////////////////////////////////////////////////////////////
//
// 1 CU-Traditionnel
// 2 Tour
//
////////////////////////////////////////////////////////////////////
; Hierarchie des machines disponibles
(consists-of machine
mc-trad lathe)

////////////////////////////////////////////////////////////////////
//
//                               OUTILS DISPONIBLES
//
////////////////////////////////////////////////////////////////////
//
// 1 fraise          fraise-C          fraise-2t
// 2                fraise-scie
// 3                fraise-de-forme
// 4                fraise-a-surfacer
// 5                fraise-a-surfacer-et-dresser
//
// 6                fraise-3t          fraise-3t-n
// 7                fraise-3t-e
//
// 8                fraise-speciale   fraise-a-chamfreiner
// 9                fraise-a-lamer
//
// 10 outil-tour    outil-couteau
// 11               outil-a-charioter
// 12               outil-a-saigner
// 13               outil-a-fileter
// 14               outil-a-dresser
// 15               outil-de-forme
//
// 16 outil-alesage  outil-aleser      tete-a-aleser
// 17               outil-a-aleser     barre-alesage
// 18               outil-a-aleser
// 19               alesoir
// 20               outil-a-aleser-dresser
//
// 21 taraud
// 22 foret
// 23 (meule)
// 24 (outil-a-canneler)
//
// 25 (outil-pignon)
//
// 26 (broche)
//
// 27 outil-a-gorge ( Normalement dans la classe des outil-tour !!!) oui !!
//
////////////////////////////////////////////////////////////////////
; Hierarchie des outils

```

```

10 PHASE                                LATHE
SOUS-PHASE                               DESSUS
OPERATION                                FACING-TOOL
FINITION                                 DESSOUS
OPERATION                                DRILL
EBAUCHE                                  ALESAGE
OPERATION                                REAMING-TOOL
FINITION                                 ALESAGE
OPERATION                                KNIFE-TOOL
FINITION                                 CYLINDRE
OPERATION                                GROOVE-TOOL
EBAUCHE                                  GORGE
OPERATION                                GROOVE-TOOL
FINITION                                 GORGE

20 PHASE                                MC-TRAD
SOUS-PHASE                               DESSOUS
OPERATION                                FACE-CUTTER
EBAUCHE                                  FACE1
OPERATION                                (SIDE-AND-FACE-CUTTER FACE-CUTTER)
EBAUCHE                                  RAINURE1
OPERATION                                (SIDE-AND-FACE-CUTTER FACE-CUTTER)
FINITION                                 RAINURE1
OPERATION                                FACE-CUTTER
FINITION                                 FACE1
OPERATION                                FACE-CUTTER
EBAUCHE                                  FACE4
OPERATION                                (SIDE-AND-FACE-CUTTER FACE-CUTTER)
EBAUCHE                                  RAINURE4
OPERATION                                (SIDE-AND-FACE-CUTTER FACE-CUTTER)
FINITION                                 RAINURE4
OPERATION                                FACE-CUTTER
FINITION                                 FACE4
OPERATION                                FACE-CUTTER
FINITION                                 CONTOUR2
OPERATION                                FACE-CUTTER
EBAUCHE                                  FACE2
OPERATION                                (SIDE-AND-FACE-CUTTER FACE-CUTTER)
EBAUCHE                                  RAINURE2
OPERATION                                (SIDE-AND-FACE-CUTTER FACE-CUTTER)
FINITION                                 RAINURE2
OPERATION                                FACE-CUTTER
FINITION                                 FACE2
OPERATION                                FACE-CUTTER
FINITION                                 CONTOUR3
OPERATION                                FACE-CUTTER
EBAUCHE                                  FACE3
OPERATION                                (SIDE-AND-FACE-CUTTER FACE-CUTTER)
EBAUCHE                                  RAINURE3
OPERATION                                (SIDE-AND-FACE-CUTTER FACE-CUTTER)
FINITION                                 RAINURE3
OPERATION                                FACE-CUTTER
FINITION                                 FACE3
OPERATION                                FACE-CUTTER
FINITION                                 CONTOUR1
OPERATION                                (SURFACING-CUTTER COUNTERBORING-CUTTER)
FINITION                                 FACE11
OPERATION                                FACE-CUTTER
FINITION                                 CONTOUR4
OPERATION                                (SURFACING-CUTTER COUNTERBORING-CUTTER)
FINITION                                 FACE44
OPERATION                                (SURFACING-CUTTER COUNTERBORING-CUTTER)
FINITION                                 FACE22
OPERATION                                (SURFACING-CUTTER COUNTERBORING-CUTTER)
FINITION                                 FACE33
OPERATION                                SURFACING-CUTTER
FINITION                                 DESSUS

```

Figure 11 : Extrait de la description des ressources de l'atelier et de la gamme générée par PROPEL pour l'élaboration de la pièce TOTEM (PAR 90)

L'intérêt a été de trouver une solution sans retournement (manipulation difficile pour le robot) exploitant les degrés de liberté de l'ensemble des MOCN, alors qu'un gamiste n'explore généralement qu'une solution traditionnelle (figure 11). Les capacités des calculateurs à traiter des problèmes fortement combinatoire comme la conception des gammes de fabrication en feront très certainement des alliés précieux des gamistes.

Les développements du LACN concernant l'aide à la conception du processus d'usinage

Les gammes proposées par PROPEL se composent d'une séquence hiérarchique de phases (même machine sans interruption), de sous-phases (même appui sans interruption), d'opérations (même outil sans interruption), et d'usinages (ébauche, finition, ou super finition). Nous remarquons que :

- PROPEL traite les opérations coutantes de fraisage et de tournage; il est capable de prendre en compte des pièces non orthomorphes;
- la gamme fournie par PROPEL est une gamme générale, c'est à dire instanciée à des types de machines et à des types d'outils. En ce sens, PROPEL n'optimise pas l'enchaînement des usinages. Un progiciel exploitant une gamme de type PROPEL, dénommé BILL, établit une gamme détaillée afin d'évaluer les coûts d'usinage pour proposer un devis.

Un projet en cours au laboratoire a pour objet d'associer deux outils : PROPEL et TOOL (logiciel d'optimisation du choix et des paramètres d'utilisation des outils de coupe), afin d'élaborer véritablement une gamme d'usinage. Ces travaux ont pour objet de compléter ceux de (ORT 88) pour la génération semi-automatique de la gamme de fabrication de la cellule (MOR 89).

Comment s'intègre les processus de contrôle et de manutention ?

La génération d'une gamme de fabrication ne se limite pas aux opérations d'usinage, mais doit inclure les opérations de contrôle et de manutention (figure 12).

Les problèmes posés sont les suivants :

- **pour l'usinage** : *Quoi usiner ? dans quel ordre ? Comment ? A quel coût ? Avec Quoi ?*
 - * Un opérateur décrit pour PROPEL : *Quoi usiner ?*
 - * PROPEL répond aux questions : *dans quel ordre ? comment ?*
 - * La question : *à quel coût ?* pose le problème de la génération assistée des devis
 - * La question *Avec Quoi ?* reste un problème de FAO (génération des programmes pièces, définition des montages d'usinage) auquel doit répondre l'activité "*Concevoir les moyens*" ?

- **pour la manutention** : *Comment transférer les pièces ? A quel coût ? Avec Quoi ?*

* Les questions *Que transférer* et *Quand* ne se posent pas puisque la manutention a lieu naturellement entre sous-phases d'usinage et/ou de contrôle.

* *Comment transférer les pièces ?* (GRA 87) a mené des travaux sur ce sujet au sein du LACN.

* *A quel coût ?* certains systèmes de CFAO-robotique sont capables de simuler des opérations de chargement/déchargement et de transfert de pièces entre postes, afin d'évaluer entre autre les temps de manutention. A défaut, quelques apprentissages sur site permettent une bonne estimation des temps de transfert.

* La question *Avec Quoi ?* reste un problème de FAO (génération des programmes de transfert, définition des préhenseurs) auquel doit répondre l'activité "*Concevoir les moyens*" ?

- **pour le contrôle** : *Que contrôler ? Quand ? Comment ? A quel coût ? Avec Quoi ?*

* *Que contrôler et Quand ?* d'une façon similaire à l'usinage, un outil d'aide à la décision serait souhaitable pour répondre à ces questions. Ce serait, semble-il une évolution intéressante pour PROPEL (confère &3.1.4).

* *A quel coût ?* l'évaluation par simulation de la productivité de la cellule pour une gamme est problématique car elle nécessite de connaître les temps d'exécution. Si ce type de calculs est courant pour le processus d'usinage (BILL), il n'en est pas de même pour le processus de contrôle, voir de manutention.

* *Comment et Avec Quoi ?* l'activité "*Concevoir les moyens*" doit répondre à ces questions (confère &3.2).

Notre point de vue

La figure 12 présente une solution "séquentielle" au problème d'intégration du contrôle dans la conception du processus d'usinage, adaptée à un contrôle sur un poste dédié (MMT, poste de vision,...). Or des moyens de contrôle récents (palpeur "renishaw", capteur optique d'état de surface) sont désormais embarquables sur les machines d'usinage. De ce fait, une véritable intégration des opérations de contrôle au sein de la gamme d'usinage nous amène à considérer simultanément et de façon identique les opérations d'usinage et de contrôle. Nos travaux contribueront en (ROC 91) à traiter ces aspects.

intégration du contrôle dans l'élaboration d'une gamme de fabrication par le système PROPEL

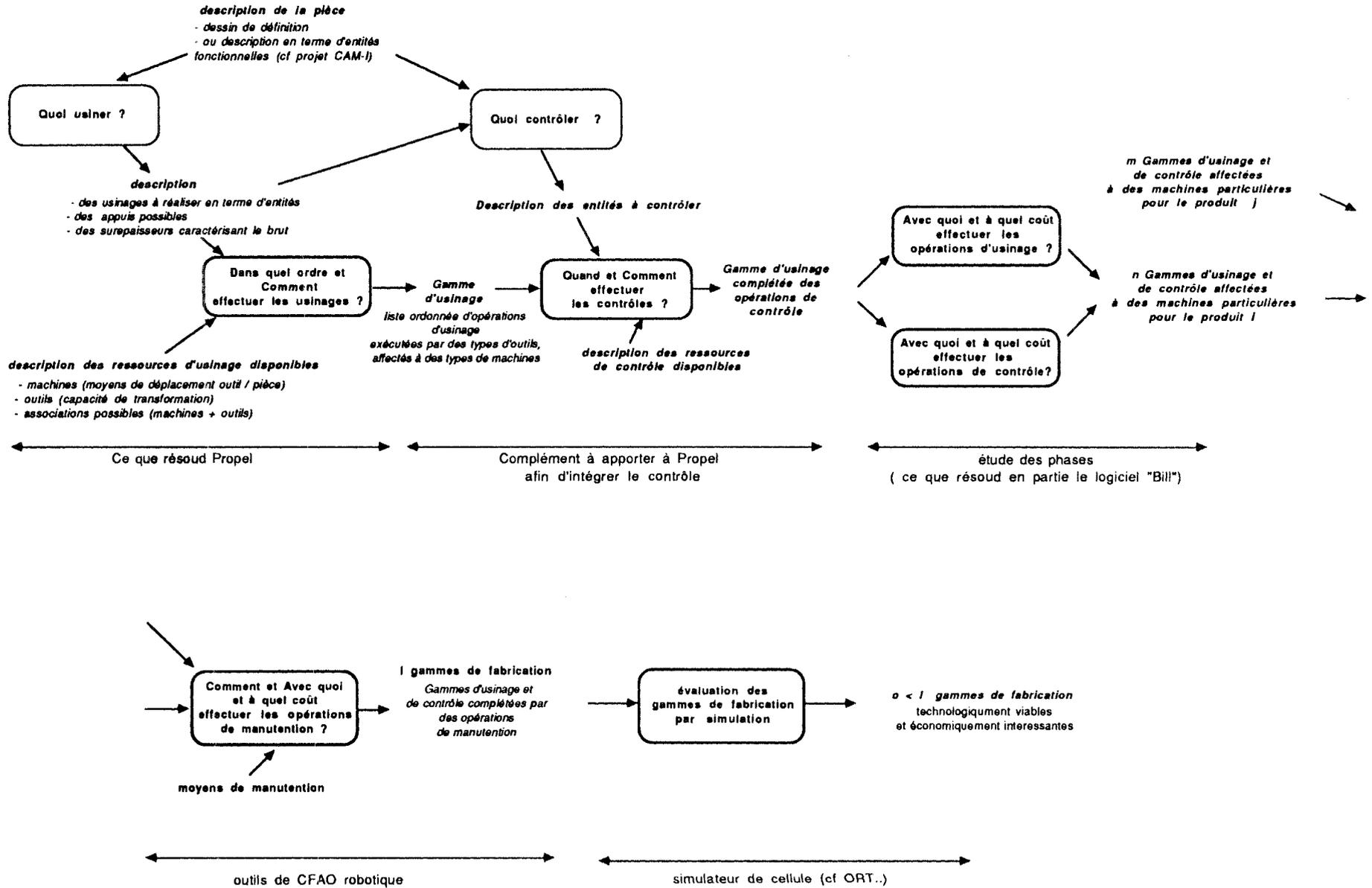


figure 12 : Principe d'intégration du contrôle et de la manutention dans l'élaboration d'une gamme de fabrication issue de PROPEL

3.1.4) Concevoir un "processus de contrôle par vision"

3.1.4.1) Que contrôler et quand ?

Nous avons montré préalablement que les besoins en contrôle concernent essentiellement l'acquisition d'informations sur le produit (identification, localisation, qualité) et la surveillance des processus opératoires (manutention, usinage,...).

Acquisition d'informations sur le produit

identification, localisation

La reconnaissance de formes n'a pas pour unique objet le tri des pièces dans la cellule. Les algorithmes d'identification/localisation sont particulièrement intéressants pour vérifier la présence, l'attitude ou la position d'une pièce avant ou après une opération d'usinage ou de manutention.

Contrôle qualité du produit

Les dessins de définition d'une pièce font état des dimensions et tolérances des différentes côtes, ainsi que des relations particulières entre les composantes de la pièce (parallélisme de deux faces, coaxialité de deux trous,...). Assurer la qualité d'un produit signifie garantir que toutes ses côtes répondent aux tolérances prédéterminées. L'idéal serait de contrôler systématiquement l'ensemble des côtes de la pièce et les relations particulières entre entités (perpendicularité,...); cela étant le plus souvent d'un coût prohibitif, un opérateur privilégie un certain nombre de contrôles à effectuer. L'annexe 1 présente les paramètres usuellement contrôlés sur des pièces mécaniques.

Contrôle des processus opératoires

des équipements (machines-outil, robots) non surveillés

Le contrôle dimensionnel d'une pièce usinée est indispensable parce que nous ne contrôlons pas totalement les processus opératoires. Le contrôle de la qualité d'une pièce dont les tolérances sont de quelques 1/10 devrait être superflu lorsqu'elle est usinée sur une MOCN prévue pour usiner à quelques microns. Or il peut survenir des événements indésirables lors de la préparation de l'usinage (mauvais positionnement de la pièce, erreur dans le chargement du programme-pièce, mauvais correcteur d'outil, etc.) ou durant l'usinage (bris d'outil, copeaux adhérents) qui détériorent (pour le moins) la qualité de la pièce.

Le processus de manutention évoque des remarques similaires : un robot industriel (en excluant bien évidemment les robots de laboratoires, résultats de recherches menées en ce sens) est en mesure de positionner une pièce dans l'espace avec une excellente répétabilité, mais est quasiment incapable de déceler le glissement d'une pièce, de reprendre une pièce se trouvant dans une attitude non prévue, ou d'éviter un obstacle. Ceci constitue un obstacle à son intégration dans un îlot de fabrication flexible.

D'où le paradoxe suivant : les MOCN et Robots industriels sont des machines "extrêmement adroites", mais incapables de s'auto-contrôler, ce qui est pourtant indispensable pour leur utilisation de façon autonome, c'est à dire sans surveillance humaine. Dans ce contexte, l'idée de doter ces machines de capteurs de vision artificielle pour surveiller les processus opératoires semble être une voie très prometteuse.

Le problème initial est de savoir *Quoi contrôler* sur les processus d'usinage et de manutention.

la recherche des points de contrôle sur les processus opératoires

Dans un environnement de fabrication, la recherche des points de contrôle qui découle du bon sens des ingénieurs-méthode et de l'expérience des utilisateurs, n'est pas toujours satisfaisante. Si cet état de fait est tolérable pour une production de longue durée, le temps dont dispose un système flexible pour sa reconfiguration implique l'emploi d'une méthode.

Nous proposons pour ce faire de détailler le comportement du processus à contrôler sous forme de séquences d'actions ou actinomies, et de préciser de façon systématique les contrôles susceptibles d'être mis en oeuvre pour la surveillance de chaque action élémentaire. Une actinomie se caractérise par le fait de décrire formellement toute séquence en trois actèmes : préparation, exécution et clôture de l'activité. Ces critères de structuration, initialement utilisés pour définir la sémantique d'interconnexion des équipements (LHO 85)(VOG 86), sont précisés dans (VOGEL 88).

Pour exemple, la figure 12 tente d'établir une liste exhaustive des opérations de contrôle qu'il serait en théorie possible d'effectuer sur une actinomie d'usinage. Sur cette base, il s'agit alors d'évaluer ce qu'il est réellement souhaitable de contrôler en fonction de critères aussi divers que difficultés, coût et fiabilité du contrôle.

3.1.4.2) Comment ? (Elaboration d'une solution au contrôle)

Lorsque les paramètres à contrôler sur une pièce ou un processus opératoire sont définis, il se pose alors le problème du choix du système de mesure (avec ou sans

Actinomie complétée par un processus de contrôle/réaction

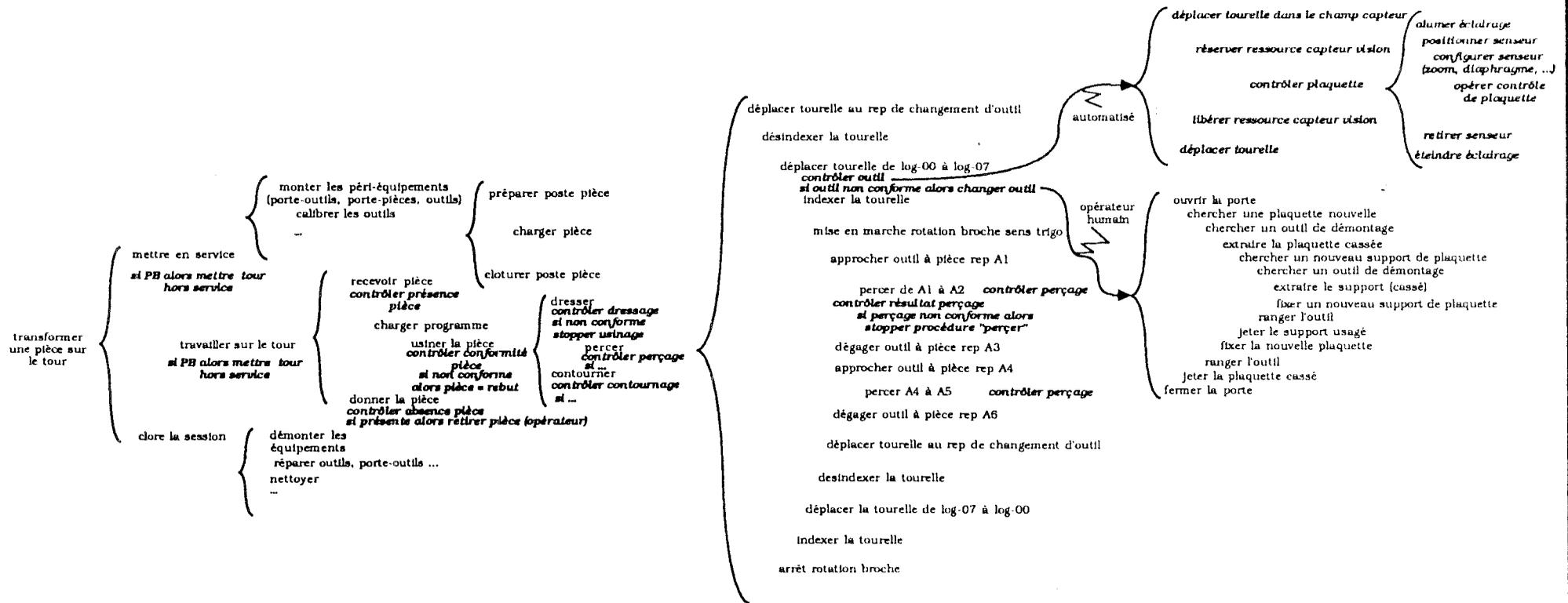


figure 13 : Actinomie complétée par un processus de contrôle

contact) le plus adéquat. Cette compétence est du ressort du domaine "Contrôler la qualité de la production" précédemment évoqué.

Le choix du procédé le plus apte à effectuer une opération de contrôle suppose :

- l'identification des critères qui conditionnent le contrôle tels :
 - * *la qualité de la mesure* (en terme de résolution, précision,...),
 - * *le temps de réponse du capteur*,
 - * *les coûts* (de mise au point, d'exploitation et de maintenance),
 - * *la fiabilité*,
 - * *la sensibilité* à des conditions de mesures susceptibles de varier,
- l'évaluation de la faisabilité de l'opération par les divers procédés,
- l'estimation des temps de développement et de mise en service, et de la facilité d'intégration pour les différentes solutions.

Si un contrôle par vision paraît envisageable après analyse des paramètres à contrôler, des conditions (environnement,...) de contrôle et des capacités des différents moyens de contrôle, une analyse "prospective" évalue alors la nature des caractéristiques qui semblent les plus pertinentes pour le contrôle à effectuer (analyse de luminance, chrominance, distance,...).

Evaluation d'un système de vision 2D exploitant l'analyse des points de contrastes

Nous avons essayé d'apprécier les capacités d'un système de vision 2D, exploitant l'analyse du contour des objets observés, à contrôler des pièces de tournage et de fraisage. Afin d'unifier la gestion des informations entre les différents services, nous avons privilégié au dessin une description des pièces par entités et relations (confère le système expert PROPEL présenté au § 3.1.3). Qualifier un outil de contrôle revient à déterminer pour chacune des entités listées en annexe 1, l'ensemble des paramètres mesurables par cet outil et sous quelles conditions.

L'annexe 1 illustre les attributs des entités et relations théoriquement contrôlables par notre système de vision.

contrôle dimensionnel et morphologiques des entités

Ce capteur est par nature adapté au contrôle de profils, donc particulièrement adéquat pour mesurer des entités de révolution de type Arbre et des usinages extérieurs (contournage, profils spéciaux). Quoique limité dans le contrôle d'usinages intérieurs (alésage, lumière), il est néanmoins en mesure de fournir des indications sur les formes et dimensions des *profils débouchants de ces entités* : mesure du diamètre du profil extérieur d'un trou et de sa circularité.

contrôle des relations implicites et explicites

Là encore, le capteur ne peut fournir que des informations partielles sur les relations liants les entités. Par exemple, nous ne pouvons mesurer la coaxialité de deux cylindres tel que cette notion se définit en mécanique (cf annexe ..), bien qu'il soit toutefois possible d'évaluer la concentricité de deux cercles.

identification et localisation des pièces

L'extraction des contours extérieurs ou intérieurs d'un objet fournit une information relativement pertinente pour l'identification des objets, la détermination de leur attitude (position d'équilibre) et leur localisation. Nous présentons au chapitre 5 une application de reconnaissance de pièces partiellement cachées à partir de l'analyse des contours.

3.2) "Concevoir les moyens de contrôle" (Comment et Avec quoi effectuer le contrôle ?)

3.2.1) Que faut-il définir ?

définition du capteur et de son interfaçage

A partir des résultats d'analyse du processus de contrôle, il faut définir (hors-site) :

- *la chaîne d'acquisition d'informations* : capteurs (type, nombre et disposition), éclairage, optique, filtre (IR notamment), porte-capteur, porte-éclairage (support), dispositif de protection (les capteurs étant exposés à des projections de lubrifiant, copeaux,...), et éventuellement les dispositifs chargés de l'amenée en situation de travail des capteurs (déplacement linéaire, angulaire, asservissement d'un zoom, auto-iris,...).

- *la chaîne de prétraitement du signal* fournie par le capteur (signal vidéo pour une caméra) :

- * calculateur hôte + carte de numérisation,
- * système cible (système indépendant, spécialisé en traitement vision, mais dépourvu d'outil de développement lors de son installation sur le site,
- * ou intégration d'un processeur de traitement vision à une architecture de commande existante dans la cellule (tels que armoire de commande du robot, commande numérique, automate-programmable,...)

Les paramètres conditionnant ce choix sont notamment :

- * la résolution souhaitée pour les images (cad nombre de pixels par image)
- * la quantification du signal vidéo (nombre de niveaux de gris par pixels)
- * la capacité de stockage (nombre de plans de mémoire image)
- * la rapidité de traitement (possibilité d'adjonction de processeurs cablés tels que l'extraction de contour temps réel, ...)

- *la chaîne de traitement de l'image* : les buts recherchés sont :

- * l'amélioration de l'image et réhaussement des zones d'intérêt par seuillage (définition de Look Up Table), convolution (filtrage), traitements de morphologie mathématique
- * le regroupement de pixels connexes pour formation de contours ou de régions (segmentation), et la caractérisation de ces entités par le calcul d'attributs (dimensionnels, morphologiques,...)

- *la chaîne d'interprétation* : dont l'objet est de répondre à la demande de contrôle (identification, conformité, qualité, ...). Les outils sont des algorithmes d'identification de pièces, de localisation, de guidage, de mesures,....

- *l'interface* entre le processeur vision et l'équipement auquel il est intégré; ceci comprend l'interface physique (médium) et l'interface logique (protocole de communication).

définition du processus opératoire

Concevoir les moyens de contrôle ne se limite pas à définir le capteur, mais tout le processus opératoire :

- réception, interprétation et analyse du "bien-fondé" de la demande de contrôle par rapport à l'état et aux possibilités du capteur,
- mise en situation de contrôle de l'objet et du capteur,
- acquisition de mesure et interprétation
- analyse de la véracité des résultats,
- formattage et émission d'un compte-rendu.

définition des modes d'exploitation

Nous avons évoqué au chapitre 1 la volonté de la commission CIAME d'améliorer la disponibilité des capteurs en leur conférant des facultés d'auto-surveillance, d'auto-diagnostic, d'aide à la maintenance,... Pour ce faire, il est nécessaire d'intégrer aux algorithmes de contrôle du capteur un certain nombre de primitives de type :

- lire ou forcer l'état d'une variable,
- déclencher une mesure sur une cible étalon,
- reconfigurer le capteur,
- fonctionner en mode dégradé (en shuntant par exemple des niveaux de surveillance)
- archiver les dernières interventions,....

Génération des données

Le capteur étant alors défini, il faut générer les données utiles à l'opération de contrôle en exploitant entre autre le modèle de l'objet à contrôler, et les capacités de modélisation et de simulation du système de CFAO.

Nous distinguons les données de préparation du processus de contrôle (positionnement du capteur et des éclairages), les données de fonctionnement (les

gammes de contrôle, les paramètres tels que modèles d'objets), les données de maintenance (fréquence et nature des entretiens).

En résumé

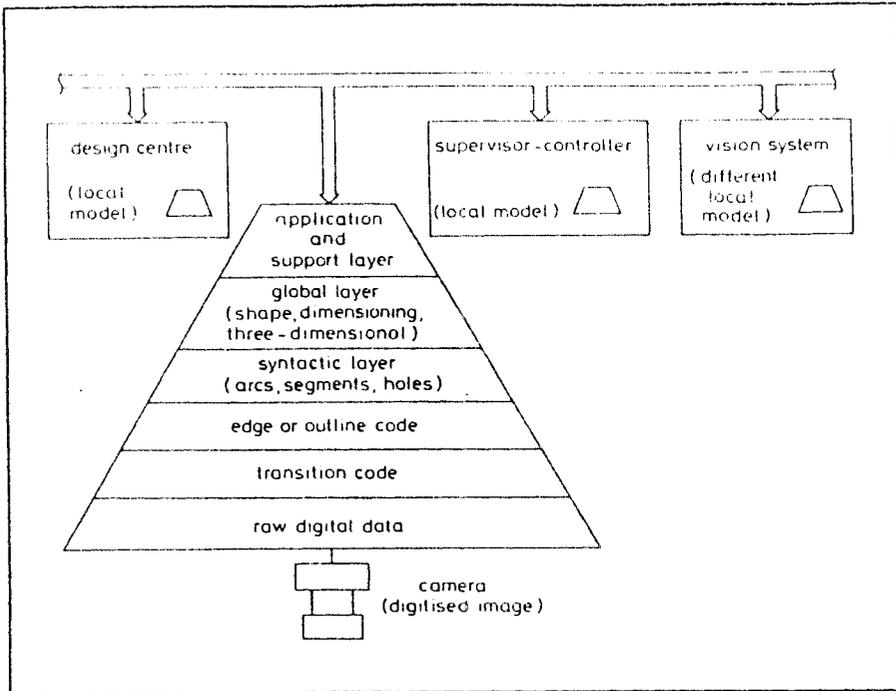
D'une façon plus concrète, la conception et la réalisation d'un capteur de vision nécessite :

- de choisir et d'assembler différents composants matériels à partir du parc matériel que possède l'entreprise, et éventuellement d'acheter de nouveaux équipements (capteurs, carte de traitement d'image spécialisée,...)
- de choisir et d'assembler différents composants logiciels, et éventuellement de développer de nouveaux modules,
- de considérer les différents modes d'exploitation,
- de générer les paramètres propres à l'opération de contrôle envisagée :
 - * la gamme de contrôle qui séquence les différentes opérations de mesure à effectuer,
 - * les paramètres de contrôle, pour certains générés hors-ligne (modèle d'objet), pour d'autre fixés par apprentissage lors de la mise en service (niveau de seuillage).

3.2.2) Vers des architectures modulaires

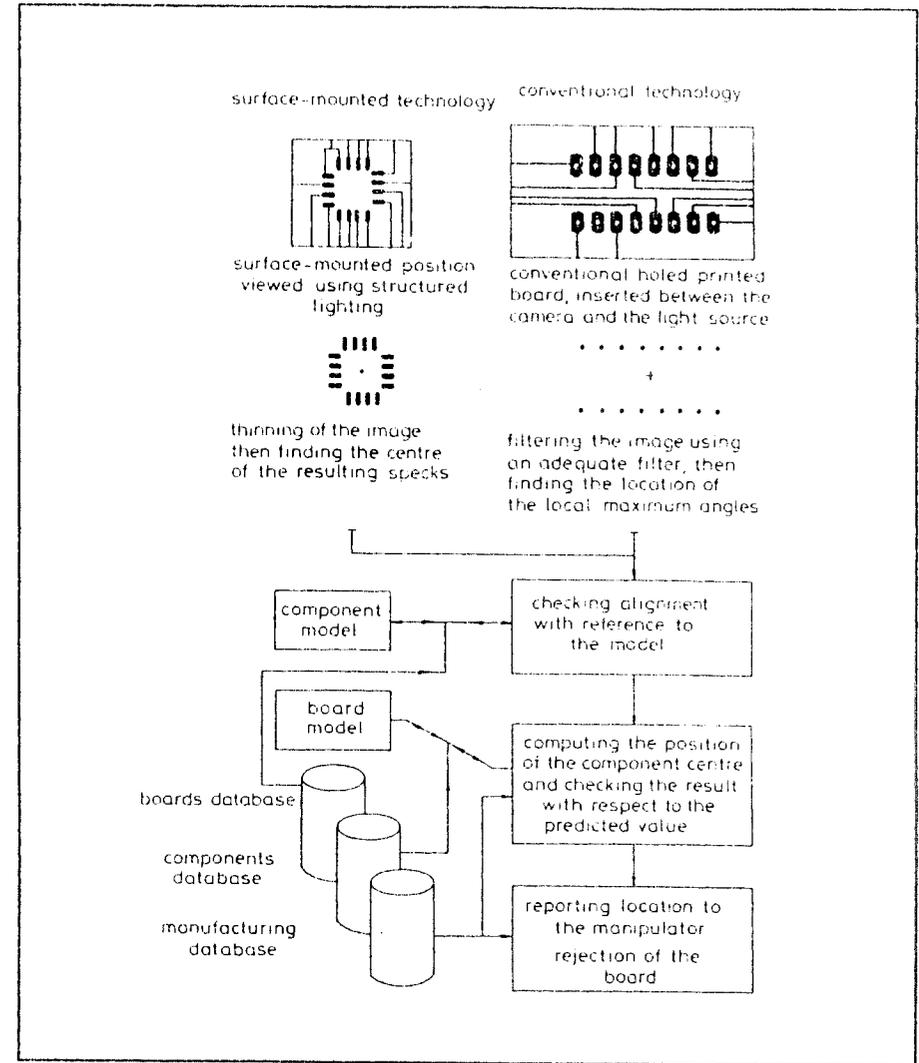
Nous soulignons le caractère très modulaire de l'architecture fonctionnelle d'un système de vision. Ce critère de modularité est particulièrement intéressant dans la mesure où le système de vision est amené à évoluer dans le temps pour assurer de nouvelles fonctions. Cette remarque sous-entend la possibilité de concevoir une architecture de contrôle par vision par assemblage de modules élémentaires, tant matériels que logiciels.

Les travaux d'(AZA 87) vont dans ce sens. Il propose une structuration en couche des traitements et données vision, à l'image du modèle OSI défini pour les réseaux. Les différents modules de traitement matériel ou logiciel de chaque niveau sont perçus comme des entités qui fonctionnent de façon coordonnée pour fournir des services au niveau hiérarchiquement supérieur (figure 14). Les services offerts seraient accessibles par des primitives paramétrées, dont le nombre, le type et le format seraient standardisés.



Data hierarchy in vision for CIM

"Data hierarchy in vision for CIM"



"Illustration of the implementation of the hierarchical model in the assembly of printed circuit board using two different technologies"

figure 14 : "Structuration des données en vision selon (AZA 87) et application

3.2.3) Un système expert d'aide au développement d'application vision

Dans la cadre d'un projet Anvar (III 89), l'Institut d'Informatique Industrielle de Brest poursuit une étude dont l'objet est :

de fournir une méthode et des outils d'aide à la conception ainsi qu'à la mise en oeuvre de procédés industriels impliquant la vision afin de faciliter le travail d'intégration par minimisation :

- du coût d'étude de faisabilité
- du coût de réalisation d'un prototype.

L'intérêt de la méthode est d'aborder de façon complémentaire :

- le problème du choix des paramètres à extraire pour effectuer le contrôle
- le problème du choix des composants matériels et logiciels
- le problème de l'intégration de la fonction vision ainsi créé.

La plateforme associée est actuellement dédiée aux problèmes de classification paramétriques d'objets, les paramètres étant calculés à partir du contour des objets observés.

Au fur et à mesure des réalisations, ce type d'outil de développement présente de plus les avantages de pouvoir :

- mémoriser la connaissance acquise au fur et à mesure des réalisations
- archiver les développements réalisés.

... dans le SPP

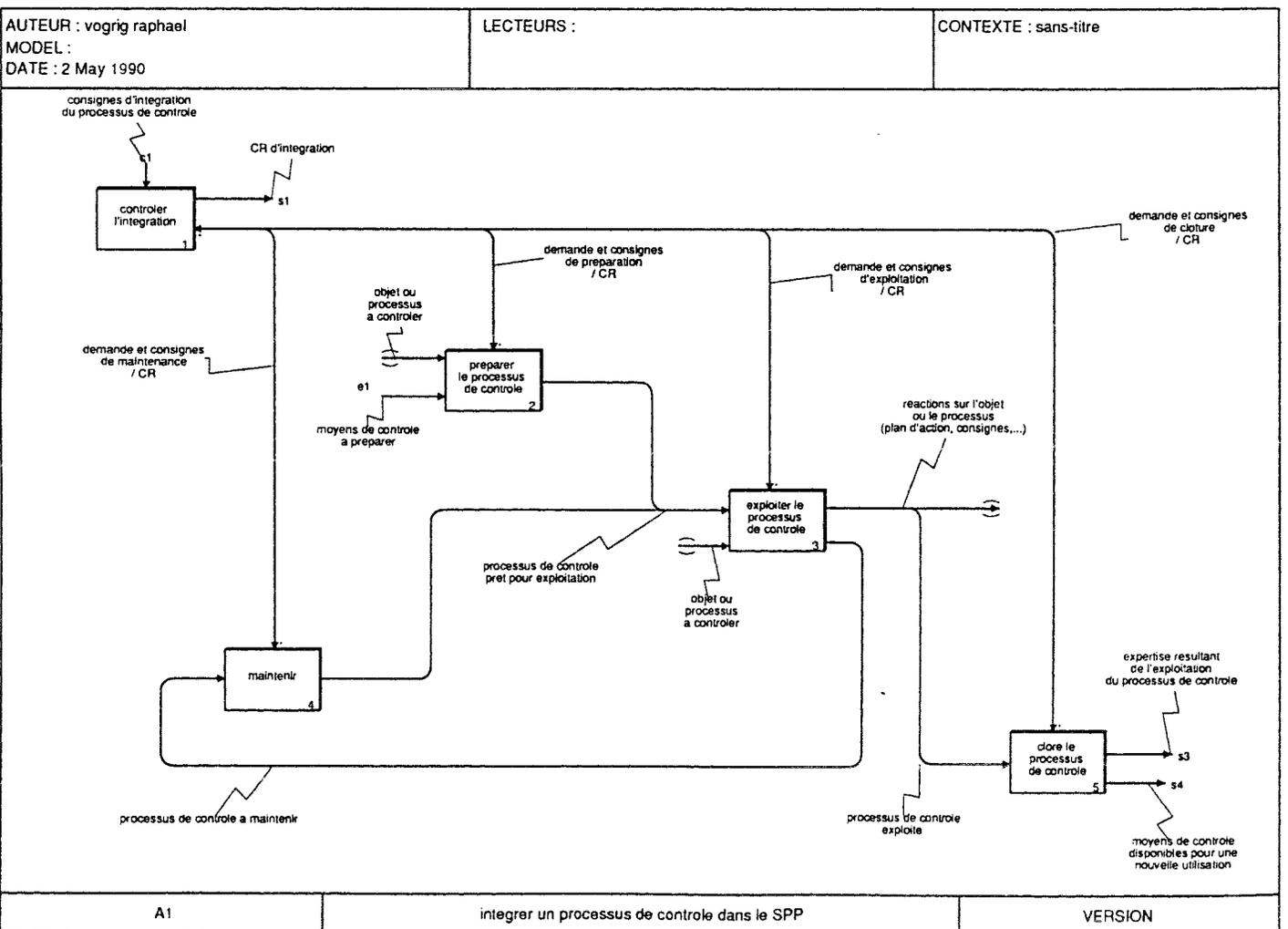
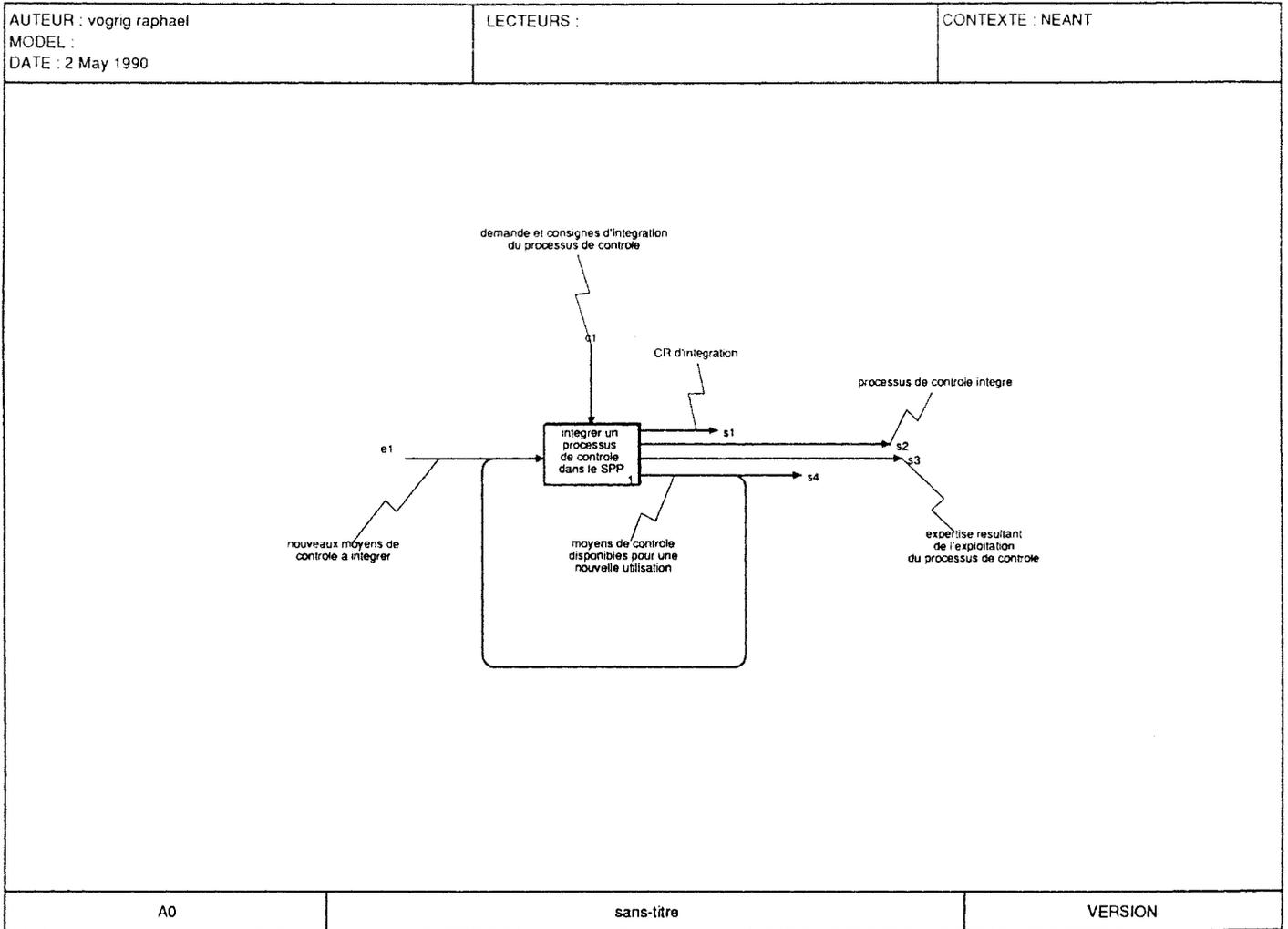
L'intégration d'une application de vision dans le Système Physique de Production est analysée selon :

- un point de vue service, correspondant à la décomposition de l'activité "intégrer un processus de contrôle dans le SPP";
- un point de vue procédé, correspondant à la décomposition de l'activité "contrôler un objet ou un processus".

3.3) "Intégrer un processus de contrôle dans le SPP"

Un premier niveau de décomposition concerne les activités suivantes (confère le modèle présenté figure 15) :

- préparer / clore le processus de contrôle,



- exploiter le processus de contrôle,
- maintenir le processus de contrôle.

Le modèle proposé est commenté ci-après.

3.3.1) "préparer le processus de contrôle"

L'affectation des moyens de contrôle par vision a pour objet :

- la mise en place des éléments du contrôle (capteur, éclairage,...) et l'interfaçage du capteur avec les autres constituants de la cellule,
- l'apprentissage des données de contrôle, tel que :
 - * l'étalonnage des capteurs,
 - * le calibrage des capteurs par rapport à d'autres ressources (ex: calibrage robot/vision pour une application robotique de prise de pièces détectées et localisées par un système de vision)
 - * le réglage d'un certain nombre de paramètres (seuil de reconnaissance, de qualité,...)
- la mise en service (tests de bon fonctionnement,...).

3.3.2) "exploiter le processus de contrôle"

Exploiter le processus de contrôle étant décomposée d'un point de vue service fait état de trois type d'activités centrées sur l'activité *utiliser le processus de contrôle* :

- *contrôler l'exploitation*, correspondant essentiellement à la conduite du capteur par un opérateur à travers des demandes de mise en/hors service, d'exécution de tâche vision (en vue d'un test par exemple), ...
- *modifier la configuration*, qui consiste par exemple à modifier un seuil de prétraitement, à suspendre une des fonctions assurées par le capteur,...
- *surveiller le processus de contrôle* au cours du temps, c'est à dire sur un horizon de plusieurs mesures (détection de dérives des mesures).

3.3.3) "clôre le processus de contrôle"

Cette activité procède au démantèlement du processus de contrôle (démontage des capteurs, destruction des fichiers de paramétrage,...). L'expertise du comportement du système pendant son exploitation sur site enrichit la base de données de la cellule en connaissances sur le potentiel et les limites des applications vision utilisées.

3.3.4) "maintenir le système de contrôle par vision"

Maintenir le système en état de bon fonctionnement fait appel à trois types d'intervention :

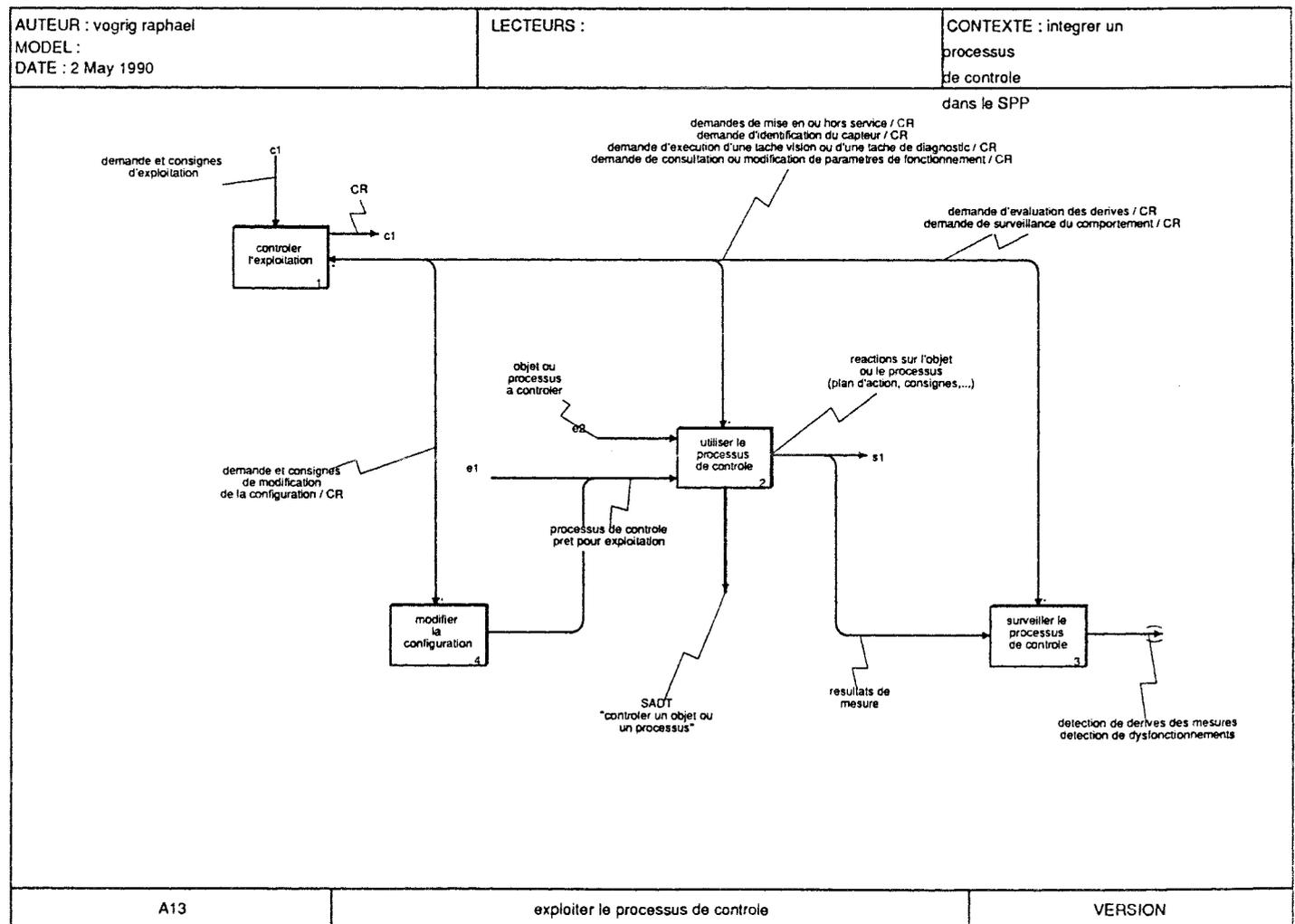
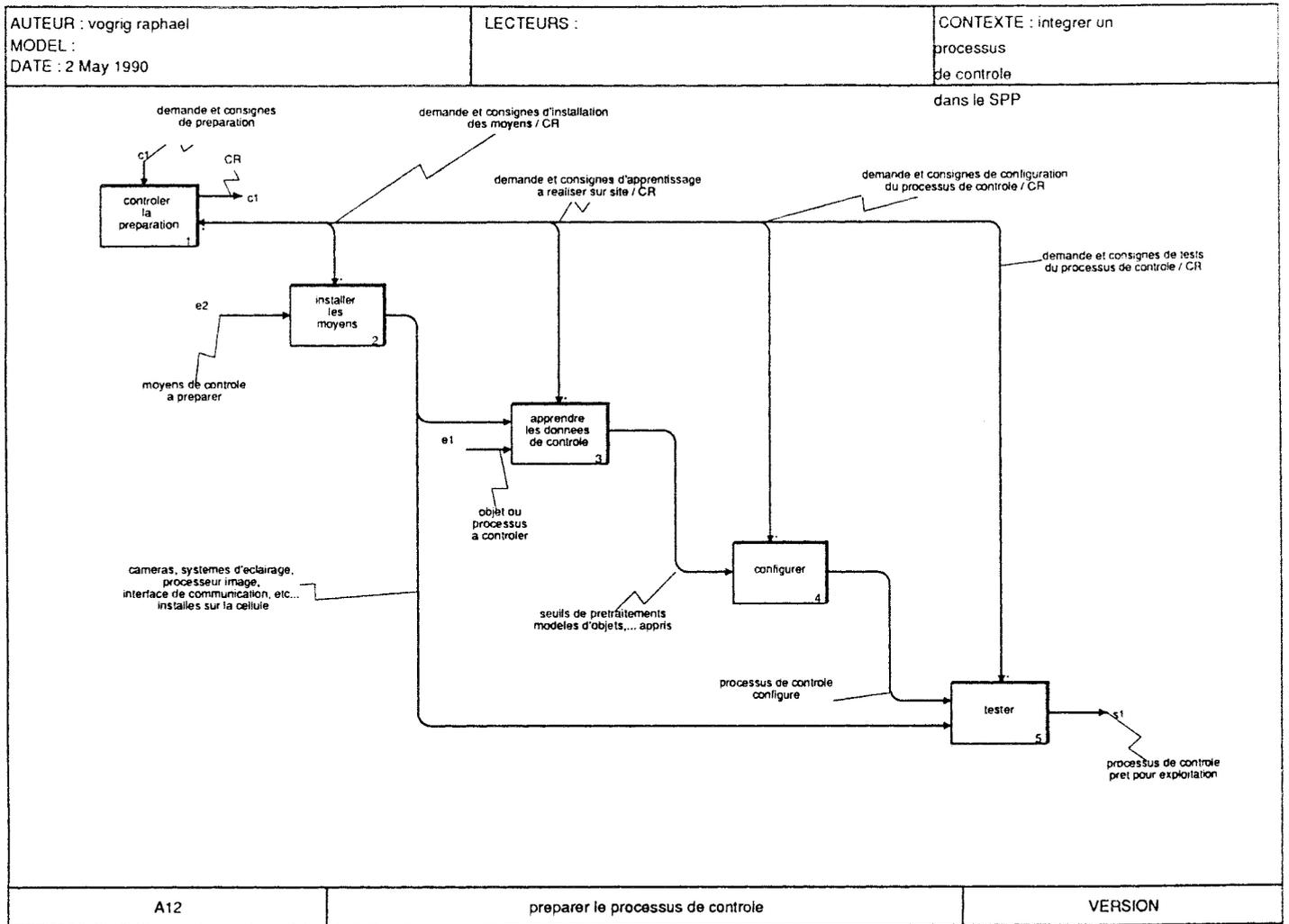


figure 15 (suite)

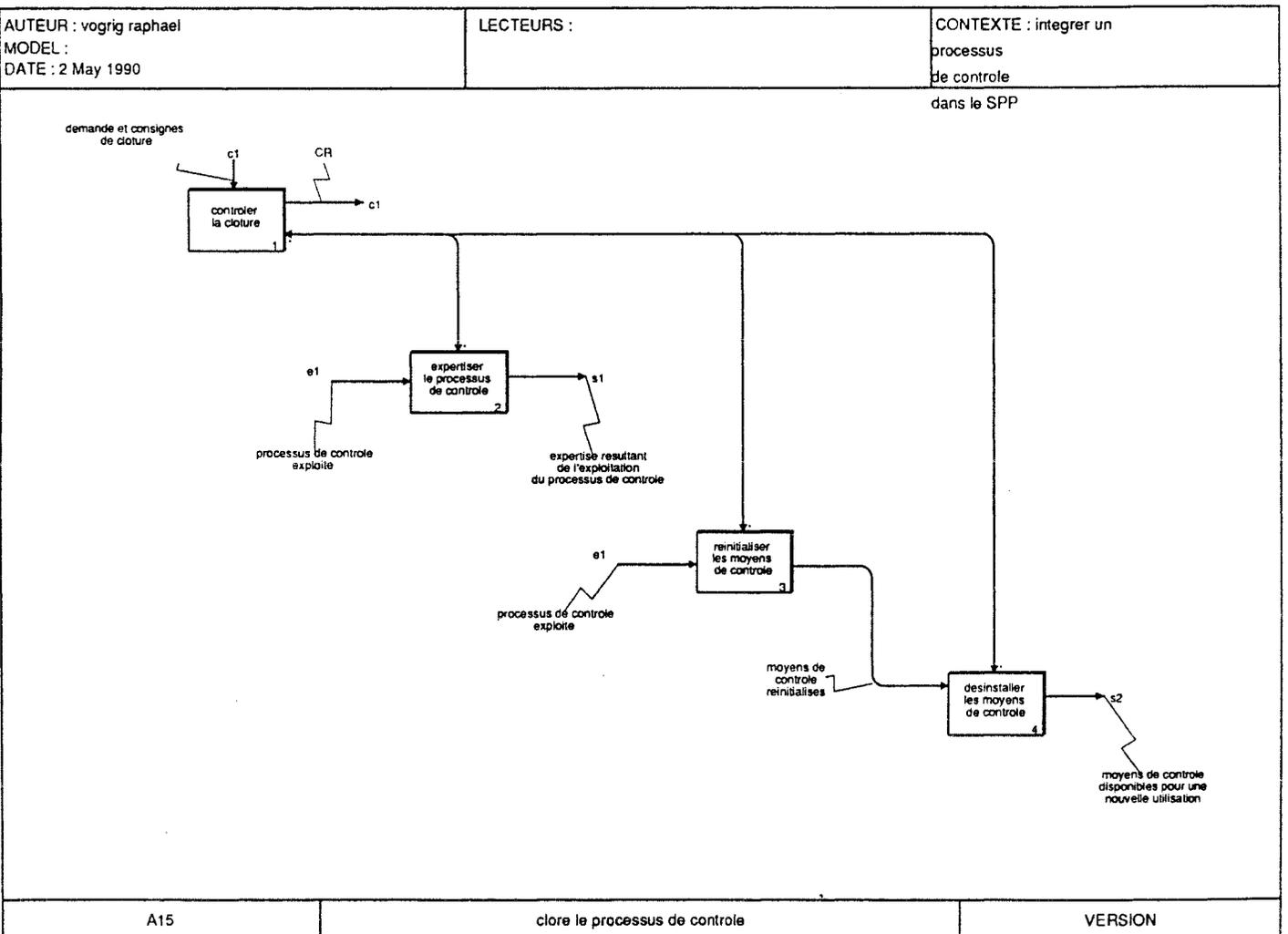
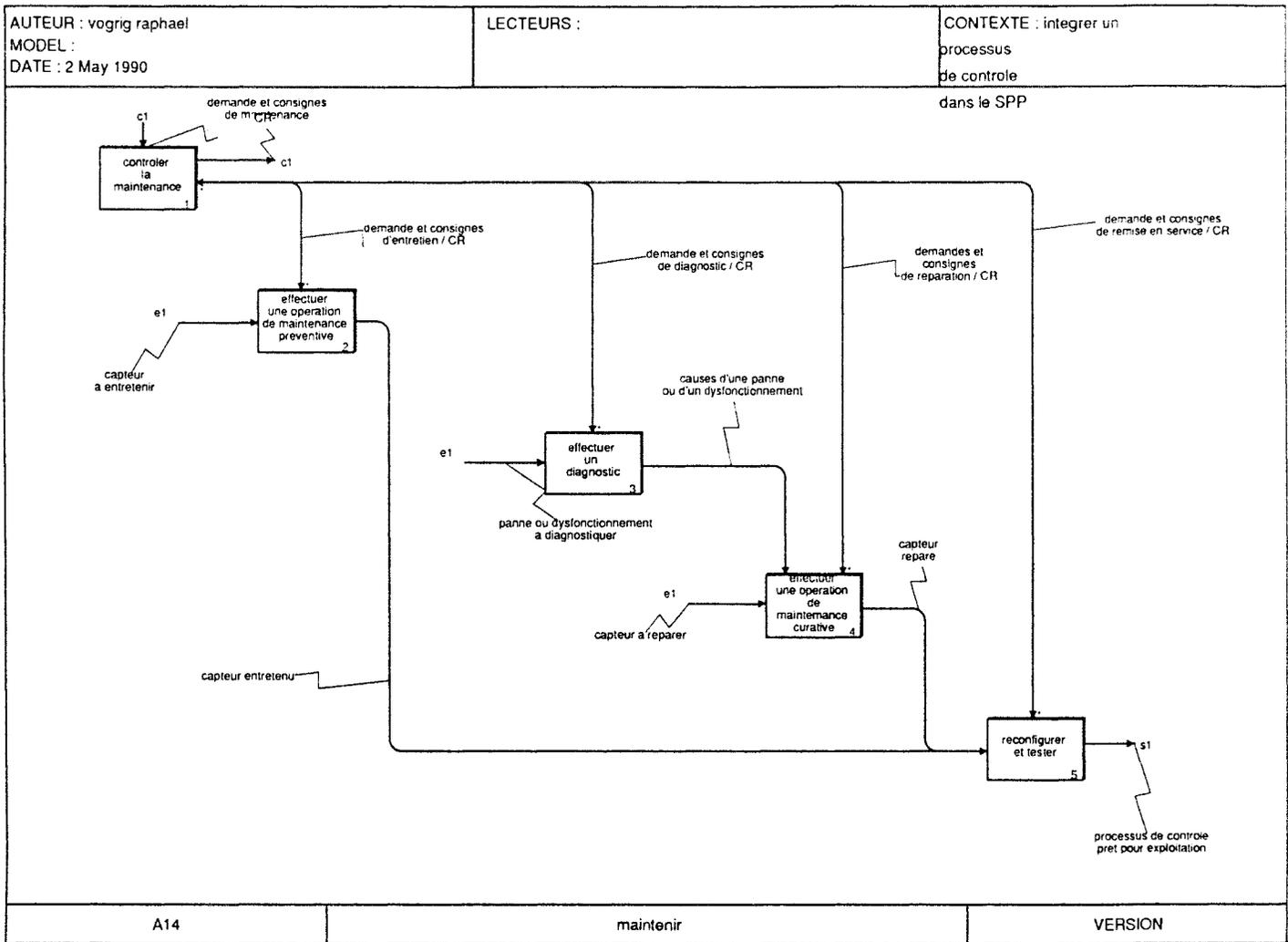


figure 15 (suite) \

- des opérations de *maintenance préventive* (nettoyage et vérification des optiques, des boîtiers de protection, des systèmes d'éclairage, des câbles,...)
- *maintenance corrective* (ajustement de paramètres de contrôle,...) et *maintenance curative* (changement d'un capteur défaillant,...) suite à un dysfonctionnement.

Nous traitons des problèmes de détection et de diagnostic de dysfonctionnements au chapitre 3.

3.4) "Contrôler un objet ou un processus"

Une décomposition hiérarchique, présentée figure 16 , exprime de façon plus précise l'ensemble des fonctions que recouvre l'activité "intégrer un processus de contrôle dans le SPP". Deux remarques s'imposent :

- nous avons souhaiter intégrer dans ce modèle non seulement la fonction mesure (qualification), mais également l'interaction avec le procédé (évaluer et réagir).
- trois niveaux de "prise de décision" sont mis en lumière : niveaux image, scène et procédé.

Nous avons ensuite structuré ces activités selon la méthode SADT, afin de faire apparaître les flux d'informations. Le modèle proposé (figure 17) est commenté ci-après.

3.4.1) "Qualifier un objet ou un processus"

Préparer / clore l'objet à contrôler

Le support de l'objet (porte-pièce, porte-outil, bras d'un robot,...) est parfois mis à contribution pour amener l'objet (pièce, préhenseur,...) en situation de contrôle. Dans certains cas, il n'est pas exclu de nettoyer l'objet avant contrôle (lavage, jet d'air, ...).

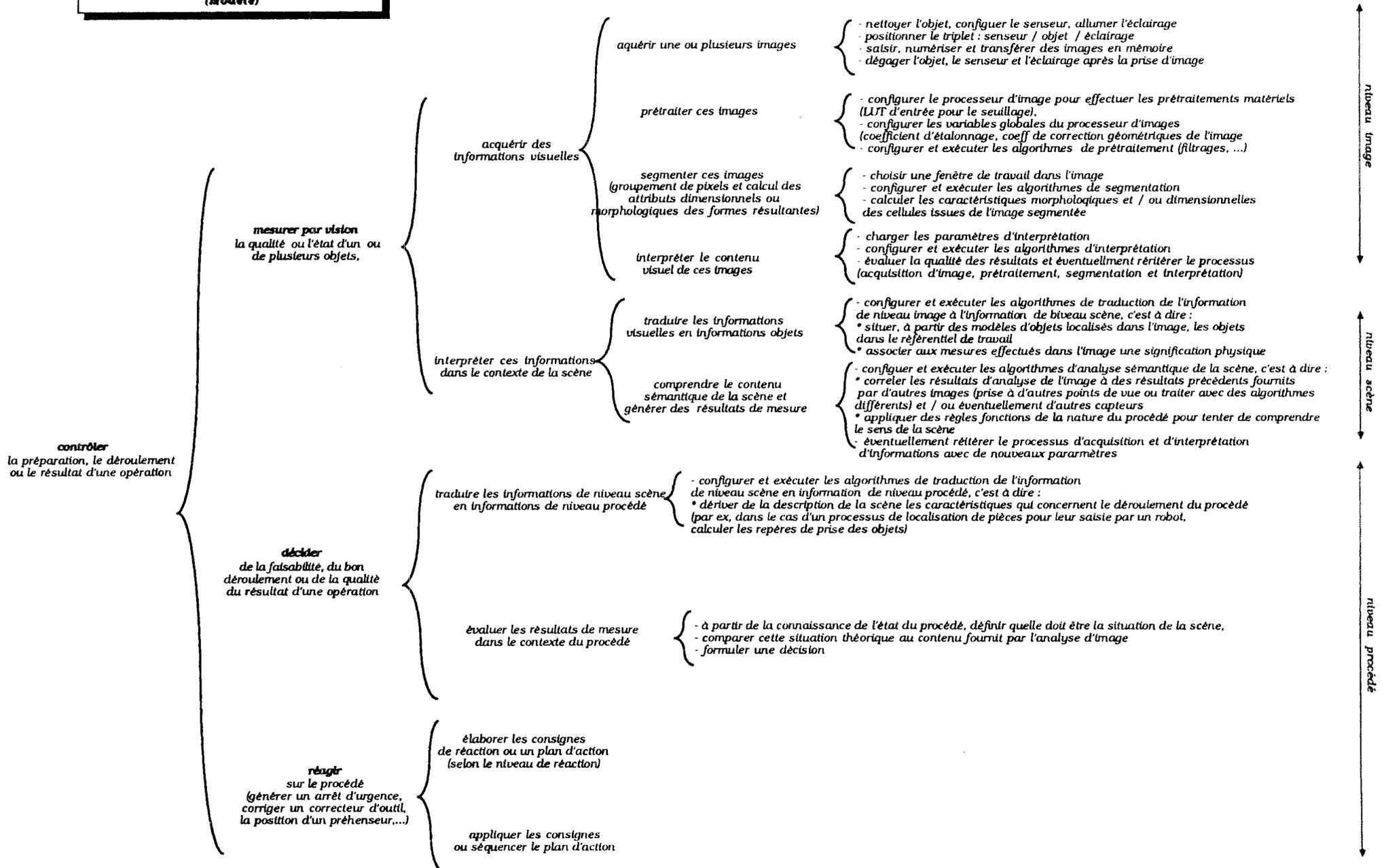
L'environnement est configuré pour permettre l'acquisition des mesures : dégagement d'un équipement susceptible de faire obstacle au contrôle (le préhenseur du robot peut cacher la pièce à identifier,...).

Configurer / déconfigurer le capteur

L'initialisation du capteur a pour objet :

- * la configuration de la chaîne d'acquisition de mesures (déplacement du senseur, zoom, mise sous tension des dispositifs d'éclairage, ...).

Décomposition de l'activité contrôler en sous-activités (Modèle)



- * la configuration de la chaine de prétraitement (réglage gain et offset du signal vidéo, taille et désignation du plan mémoire utilisé pour l'acquisition d'image...)
- * la configuration de la chaine de traitement (désignation d'une LUT d'entrée, chargement des paramètres d'étalonnage, ...)
- * la configuration de la chaine d'interprétation (chargement des seuils de reconnaissance, des cotes nominales d'une pièce à mesurer,...)

Le système de vision est susceptible d'être partagé entre différents équipements :

- * machines-outil
- * systèmes de transfert et d'ablocage des pièces
- * machines de contrôle-qualité

Il doit alors être géré comme une ressource.

3.4.2) "évaluer son état dans le contexte du procédé" et "réagir sur le procédé"

Le contenu de ces activités dépend essentiellement de la nature du procédé et il est donc difficile d'y trouver une certaine généricité. C'est pourquoi nous ne les détaillons pas dans le modèle.

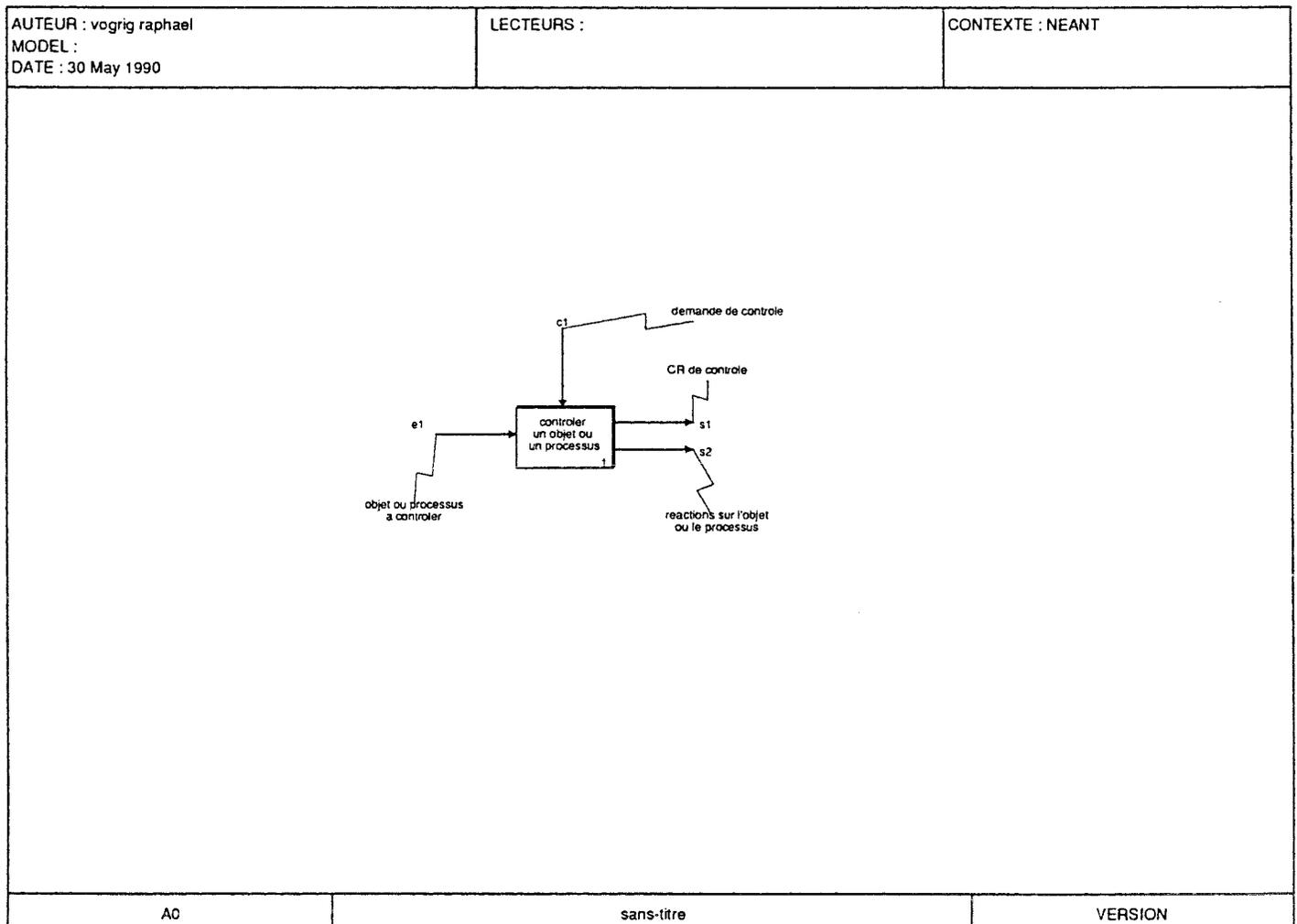
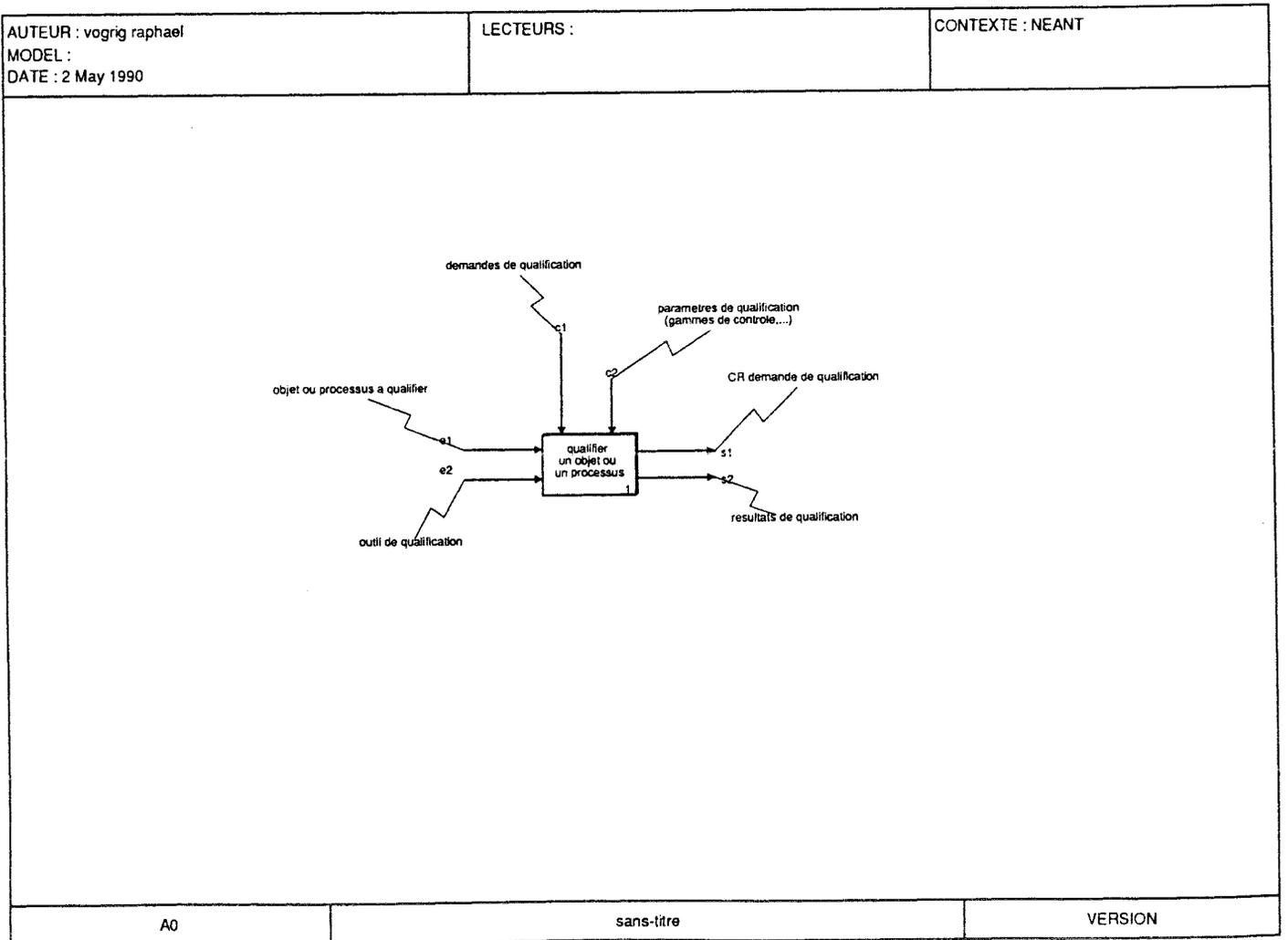
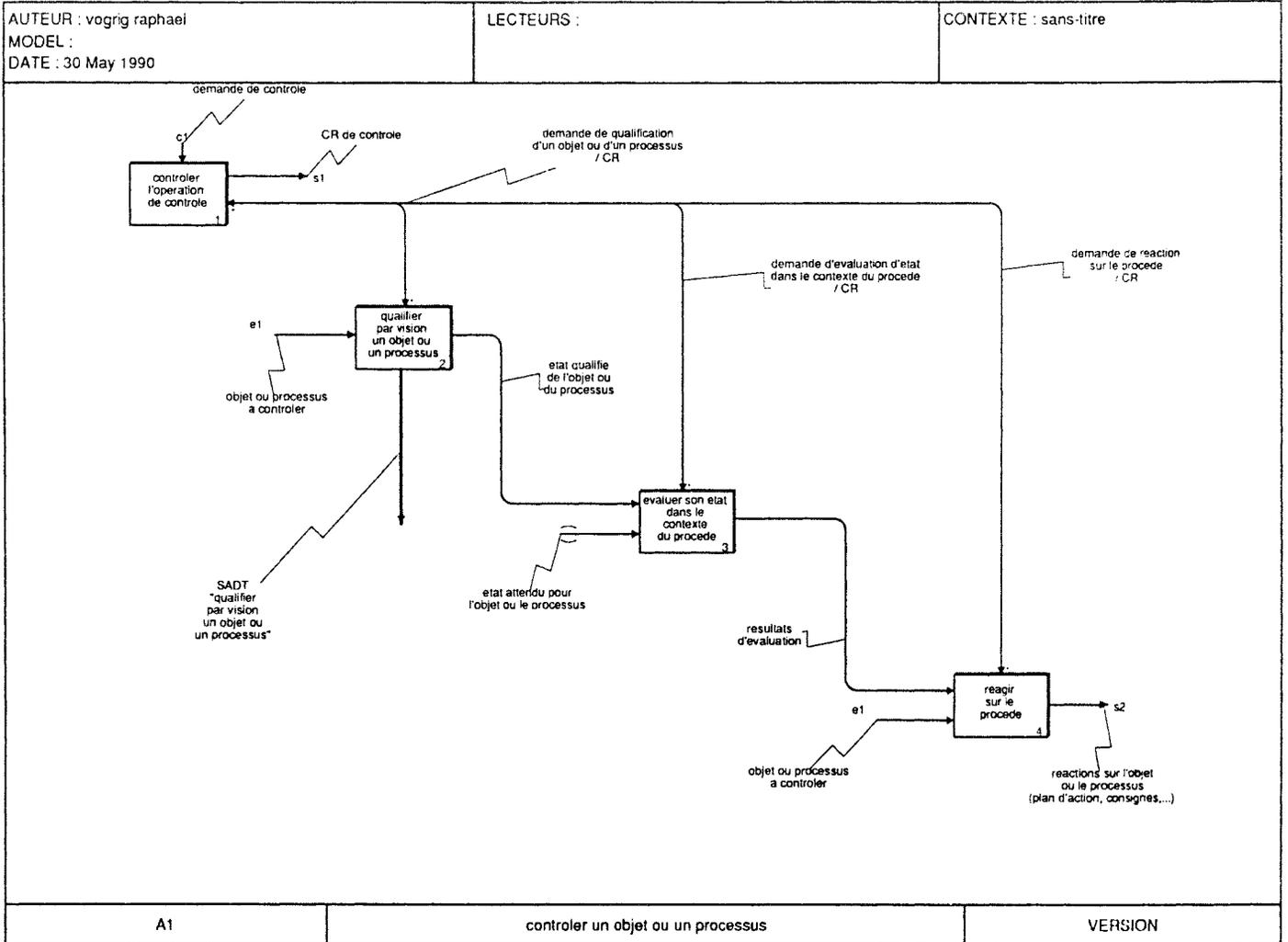
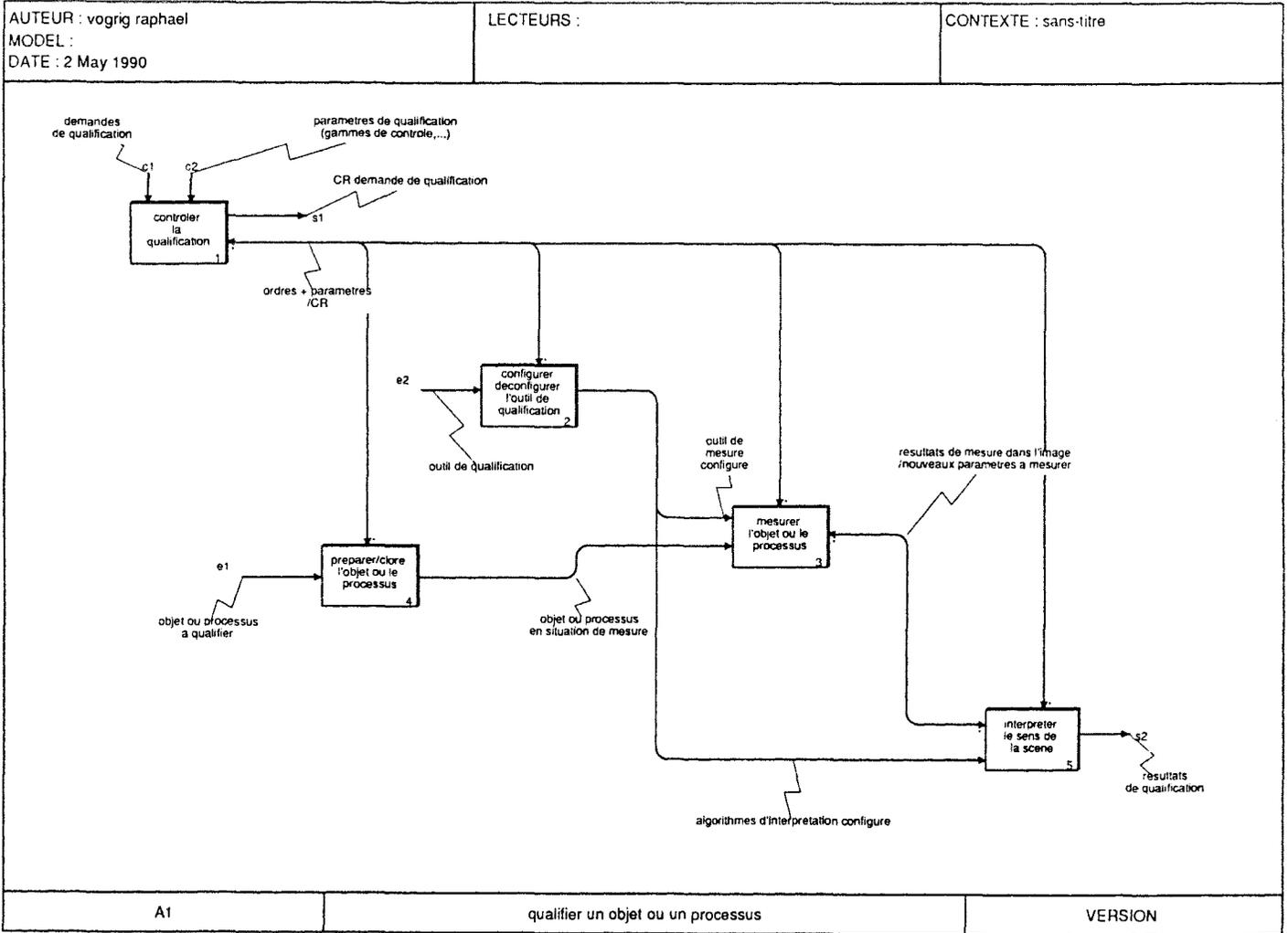
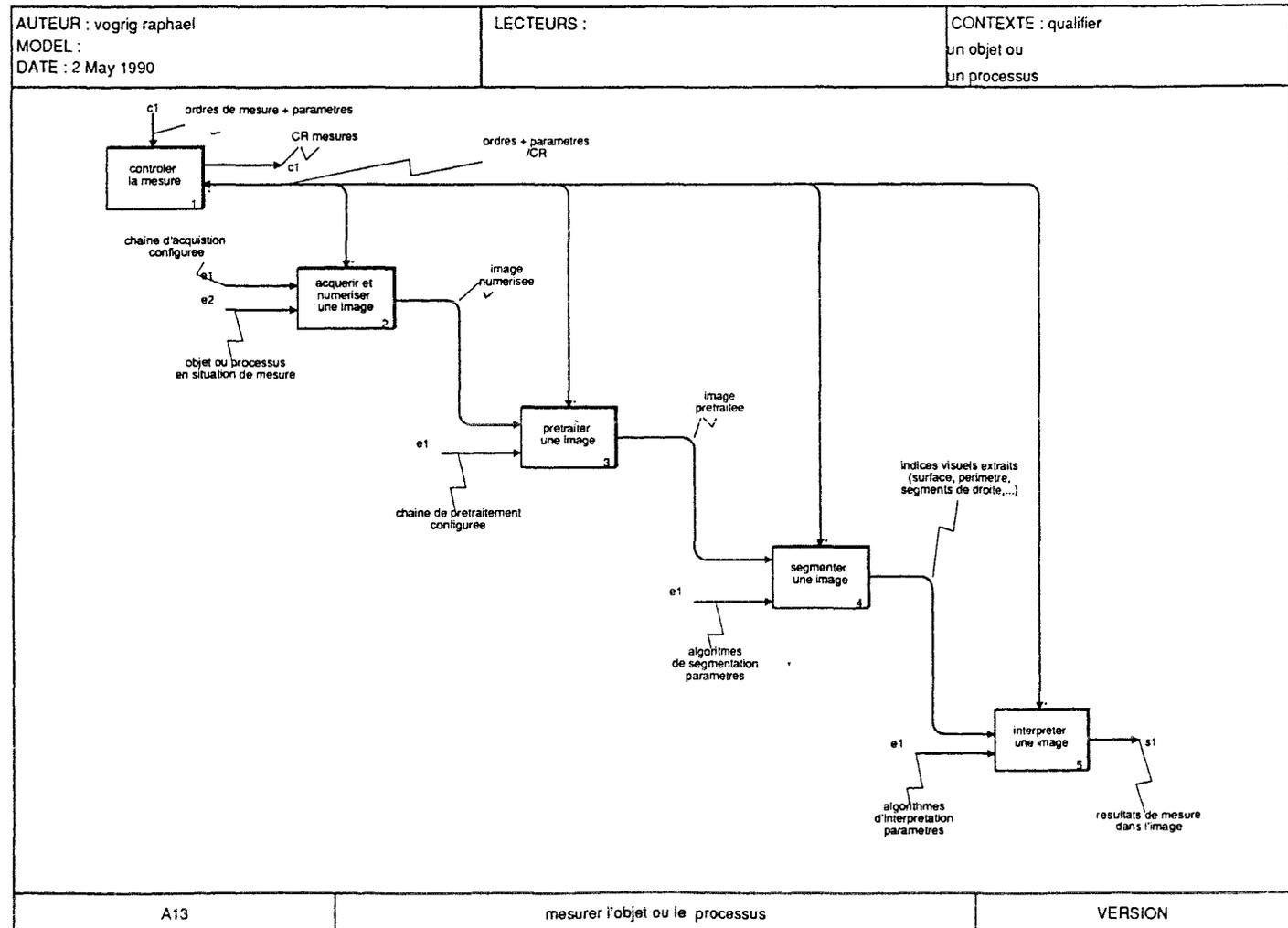


figure 17





2



3

4) Conclusion

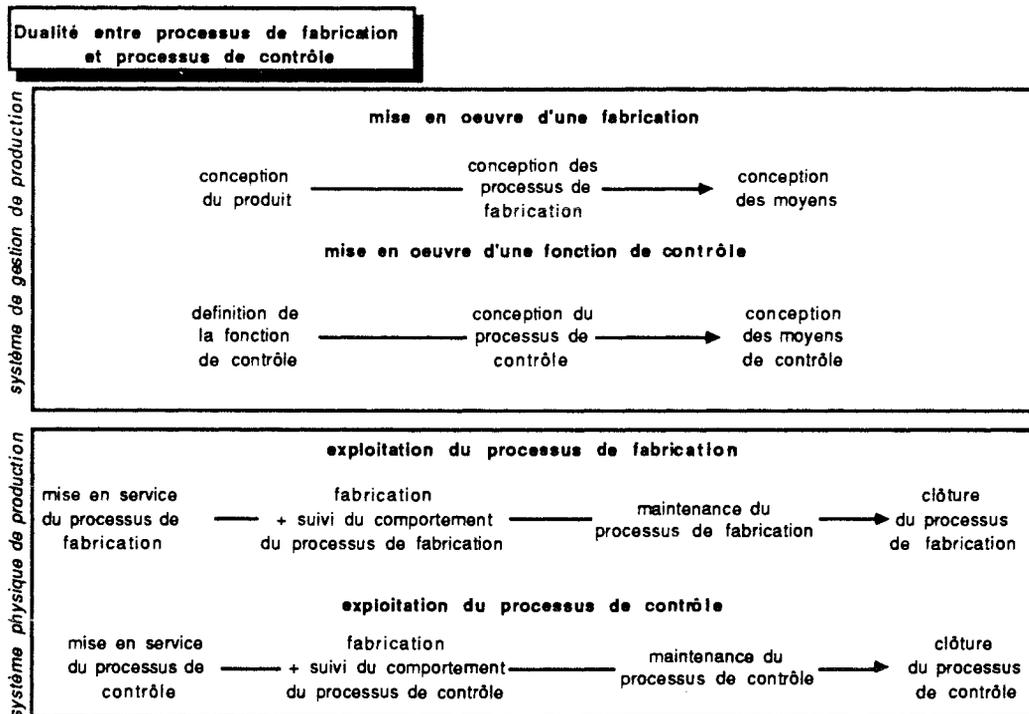
Ce que sous-entend le terme "intégration"

Un système Intégré de Production comprend trois domaines :

- le *système de gestion de production*, intégrant la planification, l'organisation et le contrôle de la production,
- le *système d'information*, support de l'ensemble des informations échangées entre les différents domaines,
- le *système physique de production*, qui regroupe essentiellement les activités de fabrication (mise en service, fabrication des produits, maintenance des équipements,...).

La figure suivante présente quelques une de ces activités et exprime une certaine dualité entre :

- d'une part *la mise en oeuvre et l'exploitation d'un processus de fabrication* pour assurer la production d'une pièce donnée
- d'autre part *la mise en oeuvre et l'exploitation d'un processus de contrôle par vision* pour assurer le contrôle d'une pièce ou d'un processus opératoire (manutention, usinage).



En conséquence, une véritable intégration d'une fonction vision dans un système flexible de production ne se limite pas à l'installation d'un capteur sur un équipement, mais signifie :

- intégrer la mise en oeuvre d'une fonction de contrôle au sein des activités d'organisation de la fabrication
- intégrer l'exploitation du processus de contrôle au sein des activités de fabrication proprement-dite.

D'autre part, chacune des ces activités est productrice et consommatrice d'informations de différentes natures : dessins, documentation, gammes d'usinage, programmes-pièces, paramètres d'étalonnage, documents de maintenance, etc. La gestion de l'ensemble de ces données requiert l'élaboration d'un système d'information cohérent.

Nous nous proposons donc d'aborder l'intégration sous ses deux aspects :

- *intégration fonctionnelle* : organisation des activités de conception, d'exploitation,...
- *intégration informationnelle* : traitement des informations, c'est à dire structuration et génération des données,... Notons à ce sujet que nous effectuons une structuration des informations à partir de la formalisation des traitements, tandis que d'autres travaux aux laboratoire valident des approches complémentaires par les données (MOR 89).

chap3

Intégration fonctionnelle et organique d'un système de vision dans une cellule de fabrication

1) Introduction

2) Génie Automatique et Génie Visionique

- 2.1) Le concept de Génie Automatique
- 2.2) Les faiblesses du "génie visionique"
- 2.3) Les travaux du LACN concernant le Génie Automatique
 - 2.3.1) Les Concepts
 - 2.3.2) La notion de cycle de vie
 - 2.3.3) Outils et méthodes :
- 2.4) Conclusion

3) Le cycle de conception d'un processus de contrôle par vision

- 3.1) Du besoin à l'implantation d'une solution
- 3.2) Une méthodologie de conception
 - 3.2.1) Nécessité d'une méthodologie de conception
 - 3.2.2) Phase de spécifications
 - 3.2.2.1) Elaboration d'un cahier des charges fonctionnel
 - 3.2.2.2) Formalisation des besoins
 - 3.2.3) Phase d'Analyse
 - 3.2.3.1) Etude fonctionnelle du capteur
 - 3.2.3.2) Recherche de solutions et études de faisabilité
 - 3.2.4) Phase de Conception
 - 3.2.4.1) Conception de la structure fonctionnelle de la partie commande
 - 3.2.4.2) Conception de la structure organique de l'automatisme : *Architecture coordonnée ou coopérante ?*
 - 3.2.4.3) Conception détaillée des algorithmes
 - 3.2.5) Phase de codage

4) Le traitement des dysfonctionnements

- 4.1) Détection de dysfonctionnements et réaction sur le procédé
 - 4.1.1) Principe
 - 4.1.2) implantation de l'activité *coordonner* sur un Automate Programmable industriel (API)
 - 4.1.3) implantation de l'activité *coordonner* sur un calculateur
- 4.2) Diagnostic et correction de dysfonctionnements
 - 4.2.1) Notre approche du problème de diagnostic
 - 4.2.3) Conception d'une procédure de diagnostic

5) Applications

- 5.1) Implémentation "monotâche" sous MS-DOS
- 5.2) Implémentation "temps réel multitâches" sous RTC

6) Conclusions

- 6.1) Un capteur flexible
 - 6.1.1) Un capteur multi-fonctions
 - 6.1.2) Un capteur évolutif
- 6.2) Un capteur auto-contrôlé
- 6.3) Un capteur ouvert
 - 6.3.1) Aspect communication
 - 6.3.2) Aspect contrôle-commande
 - 6.3.3) Aspect exploitation

chap3

Intégration fonctionnelle et organique d'un système de vision dans une cellule de fabrication

1) Introduction

Un îlot de production manufacturière coordonne un certain nombre d'équipements, afin d'assurer la transformation de pièces. Chaque équipement se compose d'un matériel de base, indépendant de la fabrication (MOCN, Robot), et de péri-équipements particuliers à la production en cours (montage d'usinage, outils, capteur). Selon sa nature, il est en mesure d'effectuer des transformations de matière, de position ou de contrôle sur un objet. Pour ce faire, il dispose de ressources, actionneurs ou capteurs, qui lui sont affectés ou non en permanence.

Ayant montré chapitre 2 qu'un système de vision est susceptible de participer à ces transformations (usinage, manutention, contrôle), nous nous proposons d'étudier sa *structuration* afin qu'il puisse hériter des qualités que l'on veut conférer à l'équipement qui l'accueille, à savoir :

- * être flexible,
- * être auto-contrôlé,
- * être ouvert.

Notre équipe mène depuis quelques années des recherches en Génie Automatique. Nous résumerons une partie de ces travaux au §2, puis nous essaierons d'en appliquer les concepts à la structuration d'un processus de contrôle au §3. Le paragraphe §4 aborde le problème de la détection et du diagnostic des dysfonctionnements. Enfin, nous validons la structuration retenue pour le capteur par deux types d'implantations §5, soulignant d'une part les limites d'un système d'exploitation mono-tâche et d'autre part l'adéquation d'un système temps-réel multi-tâches.

remarque : Le *contexte d'intégration*, c'est à dire l'architecture fonctionnelle et organique de la cellule, est présenté chapitre 4.

2) Génie Automatique et Génie Visionique

2.1) Le concept de Génie Automatique

La constatation est générale : il existe une crise dans le logiciel de commande des automatismes; elle se traduit par différents indicateurs :

- mauvaise estimation des délais et des coûts,
- productivité insuffisante des développeurs,
- qualité des logiciels suspecte,
- maintenance difficile des logiciels existants,
- non adéquation des solutions aux besoins exprimés par le client.

"La situation est telle que dans la plupart de nos sociétés de service en Automatique, c'est l'artisanat, quand ce n'est pas l'anarchie, qui règne en maître : l'industrialisation du développement des logiciels de partie commande est un besoin urgent" (TIX 89).

Cette situation, à l'instar du Génie Logiciel, a engendré le concept de Génie Automatique (FRA 87), que (MOR 88) définit en paraphrasant le Génie Logiciel selon :

*"On appelle Génie Automatique l'application de méthodes scientifiques au développement de **théories, cycles de vie, méthodes, techniques, langages et outils** favorisant la production de Systèmes Automatisés de Production de qualité"*

et dont l'objectif à terme serait *"l'automatisation de la production de Machines et Systèmes Automatisés de Production (MSAP) de qualité"*.

2.2) Les faiblesses du 'génie visionique'

La situation de l'ingénierie visionique est assez semblable à celle du Génie Automatique :

- la formalisation de **théories** pour la structuration d'un système de vision artificielle a fait et fait encore l'objet de beaucoup de travaux de recherches (confère chapitre 1), sans qu'aucune n'ait réellement donnée satisfaction. Nous avons évoqué la théorie de D.Marr au chapitre 1, qui propose une conception globale d'un système de vision sans se préoccuper des questions de réalisation. D'autres propositions sont plus ou moins implicites dans plusieurs réalisations (ITM 85) : le système ACRONYM, le système VISIONS, le système de l'université de Rochester.

- la notion de **cycle de vie** est, à notre connaissance, absente de toute littérature ayant trait à la visionique.

- un grand nombre de **méthodes** ont vu le jour en vision artificielle, le terme méthode étant pris au sens algorithme de traitement ou de segmentation d'images, algorithme de reconnaissance de formes, etc. Par contre, **aucune méthode pour aborder et traiter un projet visionique** dans son ensemble ne semble disponible à ce jour. L'expérience reste le meilleur atout de la réussite.

- quelques **outils** d'assistance à l'ingénierie vision voient actuellement le jour dans les laboratoires de recherche, tel le système expert présenté en annexe ..., dont l'objet est d'apporter une expertise à un opérateur non spécialiste du domaine. Beaucoup de bibliothèques de traitement d'images, exploitables de façon interactive par un interpréteur de commande (donc sans programmation), facilitent également les études de faisabilité vision. Ces outils, certes d'une utilité incontestable, ont un domaine d'application limité et ne s'appuient pas sur une véritable méthode.

- les **langages** dédiés à la vision ont été développés par des laboratoires de recherche (le langage VISIR (BOR 83) ou des constructeurs (le langage LV de ROBOTRONICS), d'une façon analogue à ce qui s'est passé en robotique. Ces langages, qui ont le mérite de faciliter l'exploitation des systèmes, présentent selon nous un certain nombre de dangers : un langage nécessite tout un environnement de développement (interpréteur ou compilateur, éditeur de lien, déboggeur, archivage des versions, gestion des librairies) que seuls des standards (PASCAL, C,...) sont en mesure d'offrir; ces langages informatiques constituent d'autre part une certaine garantie de portabilité.

En résumé, il apparaît que beaucoup de travaux de recherche portent sur les techniques vision, peu sur les méthodes, d'où le risque d'une crise similaire à ce qui se passe en Génie Automatique. Les problèmes posés sont parfois antagonistes et concernent notamment :

- la **productivité** des intégrateurs vision,
- la **qualité** de leur production.

Le compromis à ces deux problèmes retenu au sein de l'équipe (TIX 89) réside certainement dans la **réutilisabilité** des solutions élaborées pour des projets différents.

Il est intéressant d'apprécier dans quelles mesures les solutions apportées en Génie automatique sont exploitables en Génie visionique.

2.3) Les travaux du LACN concernant le Génie Automatique

Les problèmes de spécification / conception / vérification de logiciels de partie commande ont fait l'objet de différents travaux au sein du LACN (LHO 85), (ROE 86), (ALA 86), (TIX 89), (COR 89). Les principaux centres d'intérêts du LACN ayant trait au Génie Automatique et susceptibles de nous intéresser dans le cadre de cette étude sont les suivants :

- concepts,
- cycle de vie,
- outils et méthodes.

2.3.1) Les Concepts

Nos travaux s'inscrivent dans un courant de R et D visant à conférer plus d'autonomie aux équipements, notamment au niveau capteurs et actionneurs . Les travaux menés par notamment par (LHO 85) concernant la **modélisation de partie opérative** et la **structuration de la commande selon le concept de filtre de comportements**, (confère §4.1.2) trouvent actuellement leur prolongement dans le concept **d'objets "intelligents"**.

La modélisation de partie opérative

La modélisation de partie opérative, en modélisant le comportement des éléments les plus élémentaires (vérins, moteurs), permet

- d'une part une meilleure connaissance des éléments opératifs,
- d'autre part facilite la réutilisation de modules de commande existants et améliore la qualité du travail des développeurs (confère 2.3.3).

La notion de filtre de comportement

La notion de filtre de comportement (figure 1), basée sur la modélisation de partie opérative, fiabilise l'installation (en spécifiant des procédures de réactions aux dysfonctionnements) et permet :

- d'adjoindre aux modules de commande les plus élémentaires des fonctions de conduite,
- d'acquérir des informations utiles pour les opérations de maintenance (curative en identifiant immédiatement le type de défauts : capteur collé,...) et préventive (détection de dérives : temps de sortie d'un vérin,...).

Les "objets intelligents"

Les travaux de la CIAME (CIA 87, CIA 88) et de différents laboratoires universitaires (GUA 85, STA 89,...) ont souligné l'importance du concept d'objet intelligent, étroitement lié à la notion d'autonomie :

"L'actionneur intelligent est un organe de traitement local dont les missions sont les suivantes :

- agir sur le processus conformément aux ordres reçus,
- générer et valider les informations relatives à son état, et les mettre à la disposition des abonnés du support de communication" (STA 89)

"Son intelligence lui permet de prendre en compte les besoins des opérateurs assurant la conduite, la maintenance, la gestion technique du processus "(DEL 87).

Les besoins pour les capteurs intelligents sont similaires; leurs qualités et caractéristiques sont présentées §3.2.2.

Dans le cadre d'une collaboration EDF - Université de Lille, (Bel 89) propose un module fonctionnel d'automatisme (M.F.A), *"le but étant d'aboutir à des entités autonomes capables d'assurer des traitements d'une manière intelligible, et ce, à n'importe quel niveau fonctionnel de la structure hiérarchique d'un système" (BEL 89).*

Chaque module fonctionnel d'automatisme, associé à une fonction issue de la décomposition fonctionnelle, a un triple objectif :

- une *vocation de contrôle* : analyse et identification des objectifs envoyés par leurs supérieurs d'une part, et des états de leurs subordonnés, d'autre part;
- une *vocation de commande* : l'élaboration d'une variable de commande : action, ordre,... représentant un objectif pour les niveaux inférieurs;
- une *vocation d'analyse de comportement* (confère filtre de comportement) : analyse du comportement de leurs subordonnés en fonction des ordres qu'ils ont reçus et des informations d'état qu'ils ont restituées, avec élaboration d'un compte-rendu comme constat de cette analyse.

Compte tenu de cette triple vocation, les modules fonctionnels d'automatismes ont été nommés M.A.3.C : Modules d'Analyses de Comportement de Contrôle et de Commande (figure 1). Un M.A.3C est constitué de quatre modules :

- M.I.O : Module d'Identification d'Objectif,
- M.I.E : Module d'Identification d'Etat,
- M.D.C : Module de Décision et de Commande,
- M.A.C : Module d'Analyse de Comportement.

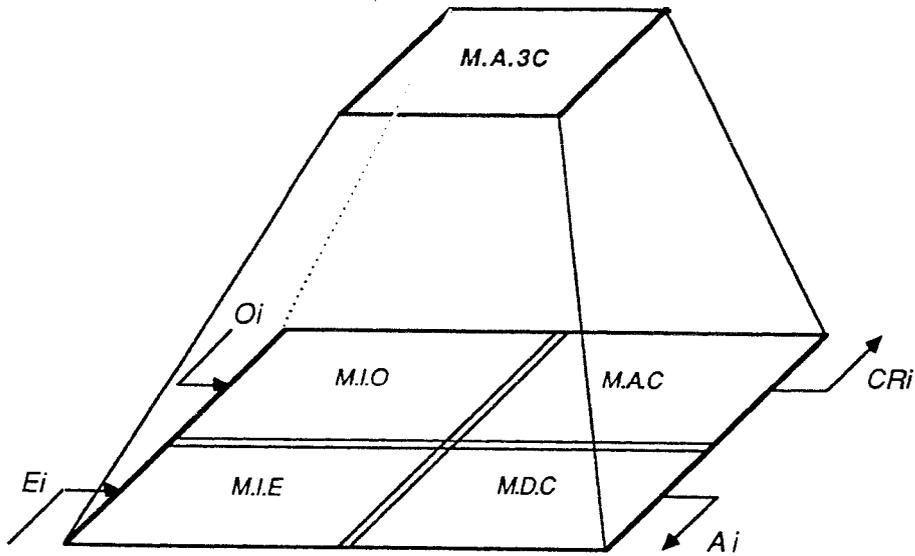


figure 1 : Structure conceptuelle d'un M.A.3C

Vers le concept de CMMS (Control, Maintenance et technical Managment System)

Plus récemment, le projet Européen ESPRIT-DIAS (Distributed Intelligence Actuators and Sensors) (DIAS 89, EDF 90) reprend ces notions de capteurs et d'actionneurs intelligents spécifiés initialement dans le cadre de processus manufacturiers pour l'étendre à tous les processus de traitement d'informations (CIP : Computer Integrated Processing), définissant ainsi le concept de CMMS :

"Le domaine du projet DIAS est d'améliorer la performance des instruments de terrain, plus particulièrement d'intégrer le processus de cohérence d'informations. Cette amélioration sera réalisée en :

- *améliorant les fonctions de conduite,*
- *améliorant la transmissions de l'information à l'opérateur,*
- *concevant un progiciel de maintenance temps réel pour la détection et la localisation des pannes des instruments de terrain*

.... Le moyen de communication nécessaire sera le bus de terrain.... Les activités prévues sont réalisées en installant trois classes de composants :

- les actionneurs et les capteurs intelligents (IAS),
- un système de maintenance informatique pour l'analyse et le compte rendu concernant les pannes des actionneurs et des capteurs,
- un système de conduite connecté à un interface homme / machine (IHM) pour fournir les informations nécessaires à l'opérateur".

2.3.2) La notion de cycle de vie

En génie logiciel, le cycle de vie se définit comme "une modélisation conventionnelle de la succession d'étapes qui préside à la mise en oeuvre d'un produit logiciel".

De nombreux Cycle de Vie (CDV) sont proposés dans la littérature (en V, en M, incrémental, "gigogne" (figure 2)); certains sont dédiés au logiciel, alors que d'autres intègrent le matériel, le chantier... Quelques uns ont le mérite de mettre en relief les notions de gestion de projet, d'assurance qualité ou de gestion des configurations. Leur intérêt réside plus dans la nécessité de formalisation du CDV que dans la description d'un CDV particulier.

Deux interprétations principales de la notion de cycle de vie sont possibles (MEY 86):

- interprétation *neutre* , qui considère le CDV comme une description idéalisée de ce qui se passe dans un projet logiciel, et qui se veut être un élément de référence, sans plus;
- interprétation *volontariste* : qui veut faire respecter le modèle dans l'organisation du projet, en "imposant" des outils-méthodes à utiliser (SADT, MERISE,...) à chaque étape et les relations obligatoires entre ces étapes;

Une interprétation *intermédiaire* consiste à définir, pour chaque projet, un CDV de référence, le mieux adapté au sujet traité ou au type d'application. On parle alors de CDV "adaptatif " ou "évolutif". L'intérêt de cette dernière interprétation est sans nul doute de formaliser la démarche entreprise sur un projet particulier, afin de la mémoriser pour pouvoir la réutiliser et éventuellement la faire évoluer avec l'expérience accumulée sur un type de projet; c'est en quelque sorte une manipulation du SAVOIR FAIRE.

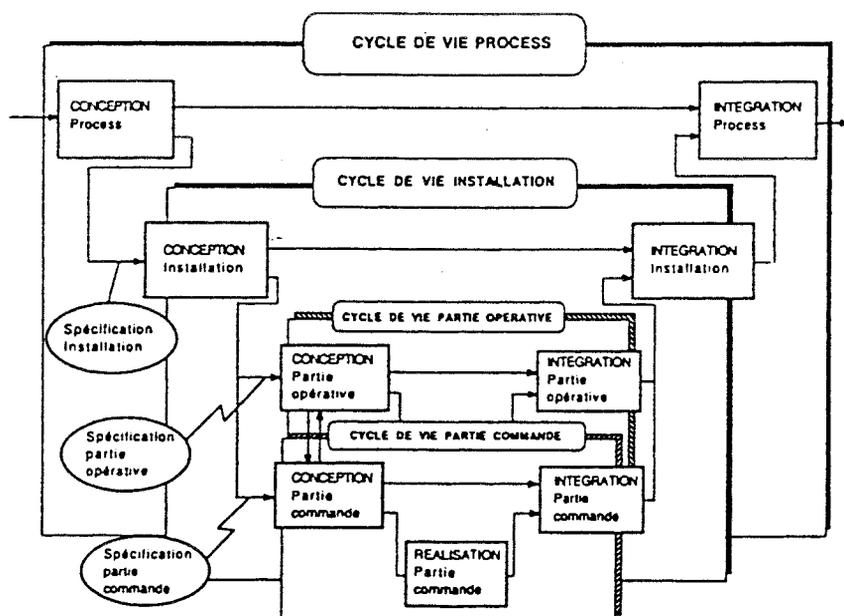


figure 2 : Les cycles de vie "Gigogne" d'un projet d'automatisation (ALA 86)

Il n'existe pas de CDV idéal; (MAG 90) propose une CDV "générique", dont le principal intérêt est de souligner la nature répétitive de chaque phase, sans préjuger ni de leur nombre, ni de leur contenu (figure 3).

2.3.3) Outils et méthodes :

SADT, une méthode d'analyse fonctionnelle et les outils associés : SPECIF-X et ORCHIS

Des choix antérieurs à cette étude nous ont conduit à adopter la méthode SADT, décrite par son concepteur (Douglas T.ROSS) comme "un langage pour communiquer des idées". SPECIF-X, développé par la société IGL (IGL 89), fut notre premier outil permettant une utilisation informatisée de cette méthode. Plus récemment, suite à une convention avec le LACN, la société TNI a développé "Orchis", un nouveau support à la méthode SADT.

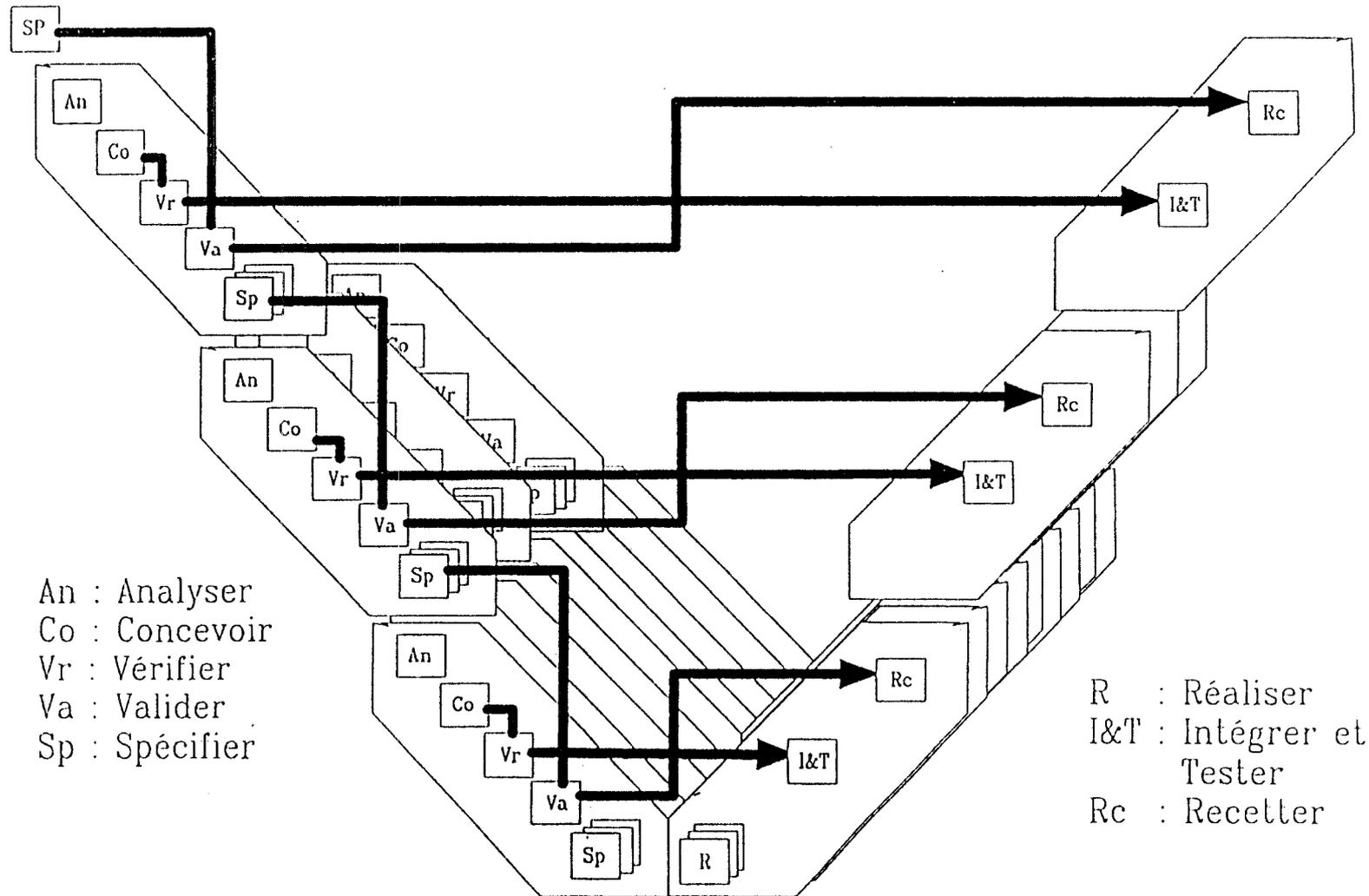


figure 3 : Schéma de principe d'un cycle de vie "générique"

SPEX, un environnement de SPécification EXécutable (TIX 89)

SPEX est le fruit d'une collaboration avec SPIE TRINDEL, société d'automatisation et TNI, société de développement informatique. L'objet de SPEX est de permettre la réutilisabilité d'objets d'automatisation en préservant le savoir faire et les formalismes courants des automaticiens. Il permet :

- la description de comportements génériques (boîtes fonctionnelles) de commande et d'environnement en Grafcet, logigramme, diagramme en échelle, indépendamment des processeurs de commande,
- la composition d'applications à partir d'exemplaires de BF définis dans une structure (Diagramme Fonctionnel),
- la mémorisation et la duplication de ces composants,
- leur simulation avant codage.

Le terme de **réutilisabilité** est fortement lié à celui de Composant Logiciel Réutilisable. Comme l'ont confirmées les études du PTA, 15% à 20% du code écrit pour les API est spécifique d'applications individuelles, alors que les 80 % restant sont réécrits systématiquement pour chaque application !

Trois avantages essentiels ressortent de l'application de la réutilisation :

- *réduction des coûts de développement*, du fait qu'elle conduit à écrire moins de code,
- *amélioration de la qualité* : plus un composant sera utilisé, plus il sera éprouvé et plus il sera intéressant de l'améliorer puisque les bénéfices pourraient être alors répercutés sur plusieurs systèmes;
- *amélioration de la productivité* : en effet, en disposant d'une bibliothèque plus riche de composants, les temps de développements se trouveront diminués car moins de logiciel sera écrit et la confiance en ces éléments sera beaucoup plus grande : le temps d'intégration sera réduit ainsi que celui des tests.

2.4) Conclusion

Les efforts menés en Génie Automatique sont des éléments de réponse au manque de méthodes en Génie visionique. En conséquence, nous nous proposons :

- de formaliser le cycle de conception d'un système de vision en systématisant l'utilisation de méthodes d'analyse (telles que SADT) et des outils associés,
- d'étudier la notion de réutilisabilité des solutions en visionique,
- de conférer aux applications vision les éléments de solutions élaborées lors de nos études sur les capteurs et actionneurs intelligents..

3) Le cycle de conception d'un processus de contrôle par vision

Un processus de contrôle se compose :

- d'une ou de plusieurs parties opératives (processeur image + algorithmes de traitement, capteur, éclairage, porte-pièce,...)
- et d'une partie commande, éventuellement répartie, chargée de coordonner les éléments de la partie opérative afin d'assurer la fonction de contrôle.

Par conséquent, nous l'assimilons à un automatisme "à part entière" qui possède son propre cycle de vie.

3.1) Du besoin à l'implantation d'une solution

Nous avons retenu comme Cycle De Vie le cycle en V présenté figure 4. Il précise le cheminement, qui à partir du constat d'un besoin, conduit à l'étude et à l'implantation d'une solution sur site. L'objet de ce paragraphe est de proposer une certaine démarche pour systématiser la conception d'un processus de contrôle par vision.

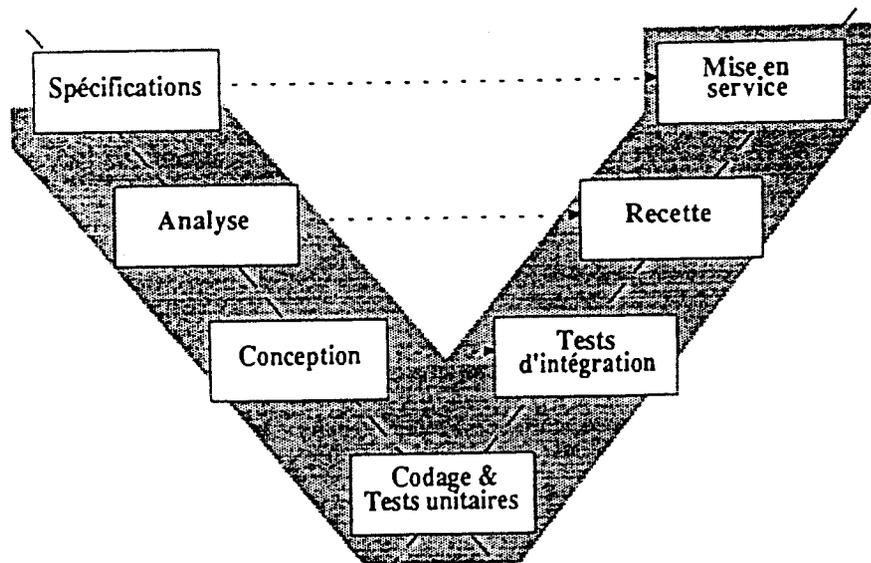


figure 4 : Cycle De Vie

3.2) Une méthodologie de conception

3.2.1) Nécessité d'une méthodologie de conception

Conférer les qualités de flexibilité, d'auto-contrôle et d'ouverture à un système automatisé requiert l'emploi de méthodes de conception. Le propre d'une méthodologie de conception est de formaliser les étapes, qui, à partir de l'étude des fonctions que doit réaliser l'automatisme, conduit à l'implémentation et à l'exploitation d'une solution sur site. (CAL 89) précise les termes *méthode* et *méthodologie* :

- une méthode ou technique de résolution de problèmes est caractérisée par un ensemble de règles bien définies qui conduisent à une solution correcte,
- une méthodologie, terme plus large que méthode, est un ensemble structuré et cohérent de méthodes, guides, outils permettant de déduire la manière de résoudre un problème.

La figure 5 exprime notre démarche et suscite les remarques suivantes :

- le caractère naturellement descendant d'une analyse (de la fonction à l'automatisme) se heurte souvent à des contraintes de différentes natures (spécificités des matériels, de l'environnement,...). Des allers-retours successifs entre étapes sont donc nécessaires;
- nous associons à chaque étape une méthode, supportée si possible par un outil informatique (selon l'idée du PTA -Poste De Travail pour l'Automaticien-);
- les modèles formalisent le savoir-faire, condensant en quelque sorte l'expérience acquise lors de réalisations antérieures; ils peuvent être amenés à évoluer au cours du temps et sont en principe dédiés à une classe de problèmes. L'instanciation de ces modèles à des cas particuliers facilite la résolution des problèmes et homogénéise les solutions.

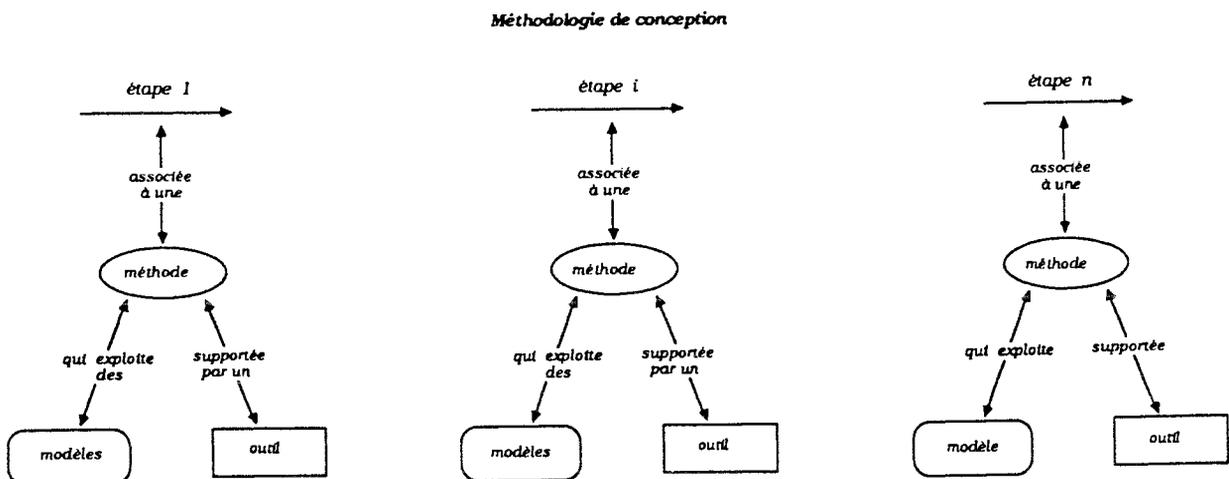


figure 5 : méthodologie de conception

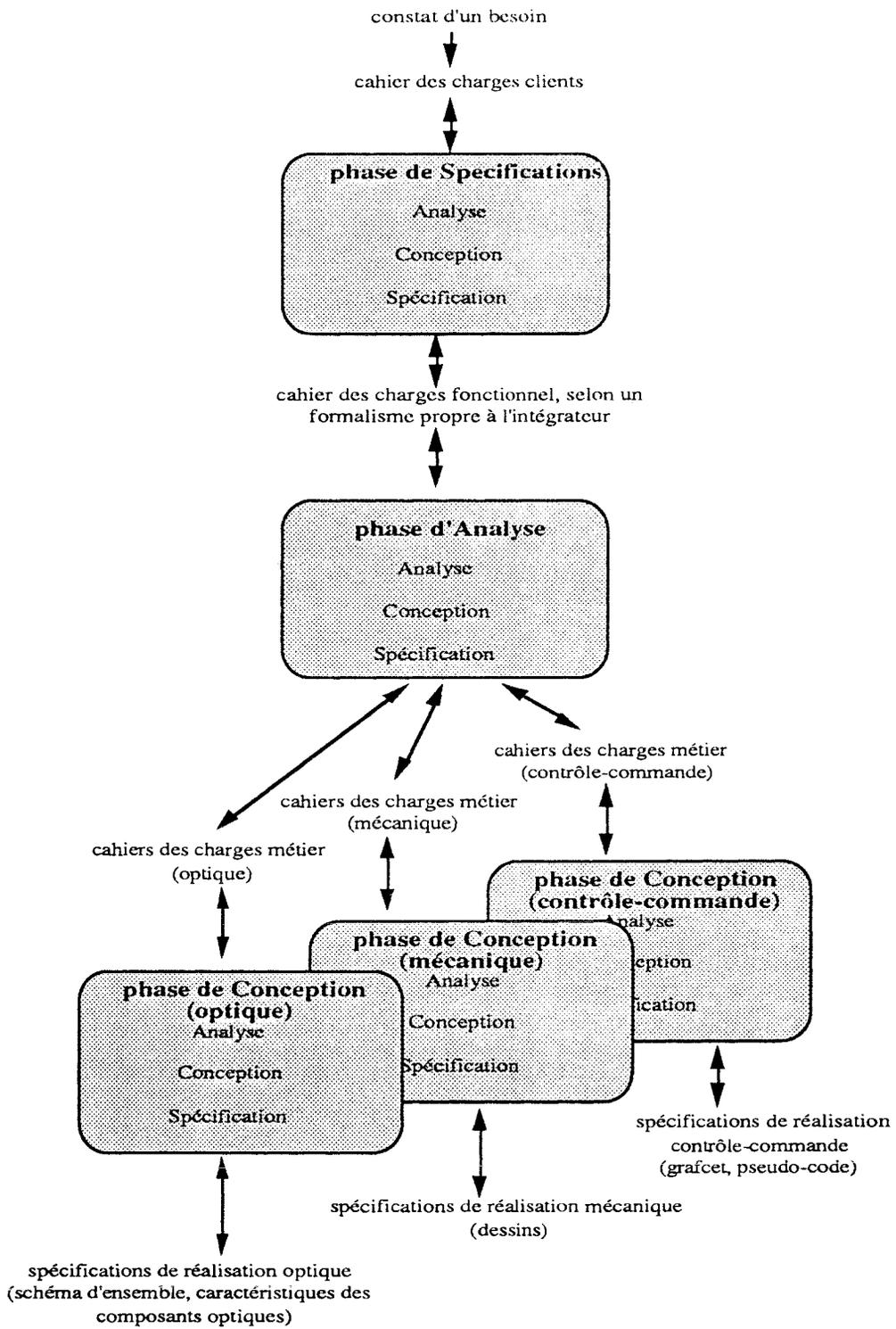


figure 6 : Méthodologie proposée

Nous nous proposons de préciser les phases de *spécifications*, *analyse* et *conception*, chacune étant décomposée de façon générique en trois étapes, chaque phase comprenant:

- une étape *d'analyse* des spécifications issues de la phase précédente, dont l'objet est une formalisation du problème pour une meilleure compréhension,
- une étape de *conception*, correspondant à l'étude de solutions et au choix de la solution qui semble la plus adéquate,
- une étape de *spécification*, chargée de l'expression des besoins relatifs à la solution retenue, éventuellement sur plusieurs axes (matériel, logiciel, ergonomie,...).

Phase de Spécifications

L'objet de la phase de spécification est l'identification du problème dans son environnement et la définition des objectifs de l'automatisation. Concrètement, il s'agit d'une remise en forme du cahier des charges client selon un point de vue concepteur.

Analyse :

- L'analyse correspond à la compréhension des besoins du client :
 - pourquoi le problème?
 - quel est le problème?

Conception

- à partir du cahier des charges informel du client, *rédaction d'un cahier des charges commun client-concepteur*, en exploitant éventuellement un guide (propre au domaine) de façon à être autant que ce peut exhaustif
- *formalisation des besoins* en structurant le problème à résoudre selon les points de vue *procédé* (quel est le rôle du capteur vis à vis du procédé ?) et *services* (quels fonctionnalités doit comporter le capteur pour faciliter aux opérateurs sa préparation, sa maintenance et son exploitation ?)

Spécifications

Les réflexions issues de la conception sont exprimés sous la forme d'un cahier des charges fonctionnel, selon le formalisme particulier à l'intégrateur vision.

Phase d'Analyse

remarque : la phase d'analyse concerne le processus de contrôle dans son ensemble

A partir des spécifications fonctionnelles, la phase d'analyse étudie les fonctions que doit réaliser le système, envisage les différentes solutions possibles, les évalue et retient celle qui répond le mieux à la demande d'automatisation, aux contraintes de réalisation et à "l'état de l'art".

Analyse :

- unique effort de compréhension des spécifications

Conception :

- *formaliser le comportement*, c'est à dire la façon dont "ça devrait marcher";
- *étudier les fonctions que doit assurer le capteur* (répondre à la question QUOI); cette étape précise en détail (analyse descendante) les fonctions à assurer, les différents modes d'exploitation, les situations exceptionnelles (réactions vis à vis des pannes),...
- *chercher de solutions technologiques* (en fait le procédé de mesure adéquat), validées par des études de faisabilité (répondre à la question COMMENT)
- *prévoir des solutions techniques* (c'est à dire les moyens à même de réaliser les solutions technologiques retenues); le choix définitif des matériels est effectué par les spécialistes des différents domaines en phase de conception;
- *évaluer les coûts*, puis *choisir une solution*.

Spécifications :

- *exprimer le comment*, c'est à dire les résultats de l'étude fonctionnelle et les solutions retenues sous forme de différents cahiers des charges : mécanique, optique,...
- répartir le travail entre les différents domaines concernés par la solution.

Phase de Conception

A partir des besoins exprimés au cours de la phase d'analyse, différentes études sont lancées en parallèle : la conception du système mécanique, l'étude des optiques et de l'éclairage, l'étude des automatismes, l'étude des algorithmes "vision" et enfin l'étude de la partie commande (communication, services,...). En conséquence, on retrouve la démarche générique : analyse, conception, spécification par domaine. Nous nous intéressons essentiellement à la conception de la partie commande.

Analyse :

- pour chaque domaine concerné, compréhension et validation des spécifications. Afin de prendre en compte des contraintes organiques, les spécifications sont souvent réévaluées au cours d'échanges entre le responsable chargé de l'analyse globale et les spécialistes des différents domaines concernés;

Conception :

- La décomposition fonctionnelle (le QUOI (par domaine)) est affinée, complétée et adaptée à la structure matérielle de la partie commande. Il s'agit d'établir la façon (le COMMENT (par domaine)) de réaliser les programmes de commande. Il faut figer la répartition organique des tâches, le choix des langages de codage, etc.

Spécification :

- La spécification établit le cahier des charges de réalisation (analyse organique détaillée) : structuration et écriture des algorithmes de commande en pseudo-code, Grafset,

Nous n'avons pas détaillé les phases suivantes, trop spécifiques de la nature des applications:

- Phase de **codage et tests unitaires** -> programmation, génération automatique de code,... et mise au point des algorithmes indépendamment les uns des autres;
- Phase de **tests d'intégration** -> cette étape extrait chaque fonctionnalité du contexte global pour la valider manuellement;
- Phase de **recette en plateforme par le client** -> la recette en plateforme constitue la dernière phase de l'automatisme avant son implémentation chez le client; il s'agit de faire évoluer l'automatisme dans un contexte identique à celui du site et de vérifier ainsi les spécifications fonctionnelles définies en phase de conception.
- Phase de **mise en service, exploitation**.

Nous insistons sur le fait que cet ensemble d'activités, quoique globalement ordonné, ne s'exécute pas forcément de façon purement séquentielle (cette idée est à la base de cycle de vie de type incrémental). Ainsi, l'analyse fonctionnelle peut faire apparaître des "imperfections" dans le cahier des charges. De même, une faisabilité rapide précède souvent une analyse fonctionnelle détaillée. Nous nous limiterons dans cet exposé aux étapes de spécification, analyse et conception, illustrées par quelques extraits d'une étude concernant un processus de contrôle de plaquettes de tournage par vision. Notre approche ne prétend pas proposer un canevas rigoureux d'intégration d'application visionique, mais plutôt une "manière de faire" : la "philosophie" de l'approche nous semble plus intéressante que les outils proposés, certainement imparfaits.

3.2.2) Phase de spécifications

La figure 6 présente les outils et modèles utilisés pour la phase de spécification.

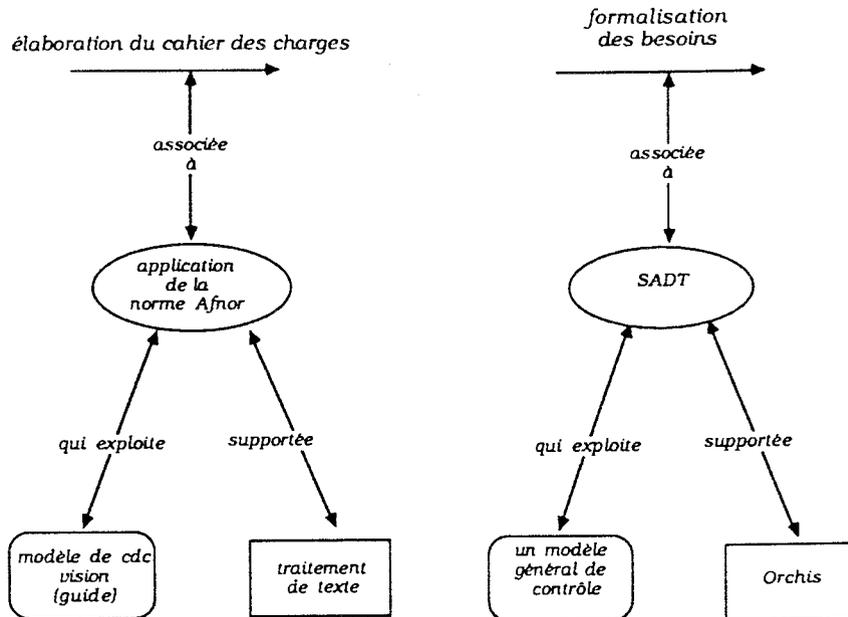


figure 6 : Modèles et outils utilisés pour la phase de spécification

3.2.2.1) Elaboration d'un cahier des charges fonctionnel

L'élaboration du cahier des charges est une étape cruciale, dans la mesure où il devient souvent objet de controverses lorsque la solution adoptée ne répond pas exactement au problème posé. Afin de promouvoir la vision en milieu industriel, un "Club Vision" existe en France depuis plusieurs années et regroupe des entreprises susceptibles d'offrir des équipements (systèmes de vision, caméras,...) ou des services (intégrateurs), ainsi que des utilisateurs. Cet organisme, très sensible aux problèmes posés par l'élaboration d'un cahier des charges, propose un guide d'aide (figure 7). Bien entendu, ce guide ne prétend pas être exhaustif mais peut être amélioré à loisir au fur et à mesure des réalisations selon les spécificités du domaine d'application (secteur bois, secteur agro-alimentaire,...) et des technologies employées (capteur 1D, 2D, Noir et Blanc ou couleur,...).

La norme AFNOR (X 50.151), qui fixe un cadre plus formel pour l'élaboration d'un cahier des charges (figure 8), nous rappelle que :

L'objectif de ce document est de recenser les informations indispensables au fournisseur de vision industrielle pour répondre de façon efficace à votre besoin.

Il est présenté sous forme de questionnaire dans lequel sont développées 3 rubriques:

- Mise en situation du projet
- Interface avec l'environnement existant
- Déroulement du projet.

Ce document ne constitue qu'un outil d'aide à l'élaboration du cahier des charges aussi chaque industriel pourra y ajouter toutes les informations liées à son cas particulier.

I - MISE EN SITUATION DU PROJET

1. Type de contrôle

- présence / absence
- dimensionnel
- aspect, surface
- positionnement
- identification
- guidage de robot

2. Description des pièces

- description, éventuellement schéma.....:
- dimension mini -
- dimension maxi -
- tolérances -
- Fonctionnement en campagne : oui non

- Si oui, - Nombre de pièces par campagne -
- Durée des campagnes -
 - Période des campagnes -
 - Dispose d'échantillons oui non

3. Performances souhaitées

- cadences -
- tolérance de la mesure -
- précision de la mesure -
- taux d'erreurs -

4. Environnement mécanique (alimentation, éjection des pièces)

- mécanique à créer existante
- précision de positionnement -
- cadence -
- vitesse de déplacement -
- précision de la vitesse (%) (voir note 1) -
- durée de fonctionnement 1X8 2X8 3X8
- ambiance
 - * poussières
 - * HF
 - * lumières parasites
 - * projections
 - * perturbations magnétiques
 - * vibrations
 - * températures
 - * hygrométrie
- espace disponible pour le poste de contrôle -
- distance maxi. entre capteur et unité de traitement -

Note 1 : IMPORTANCE EN VISION LINEAIRE

En vision linéaire la précision de l'acquisition est donnée d'une part par la résolution de la barette pour l'axe Y, et par le déplacement de l'objet pour l'axe X.

La précision de l'acquisition est directement liée à la stabilité de la vitesse de défilement.

En cas de fortes variations, la synchronisation entre l'acquisition et la vitesse de défilement peut être réalisée par codeur incrémental

II - INTERFACE AVEC L'ENVIRONNEMENT EXISTANT

1. Synchronisation

- Existe-t-il un moyen de synchronisation pour prendre l'image (voir note 2)
 - * Automate programmable
 - * Automate capteur
 - * Autre
- éjection tout ou rien -
- série protocole -
- parallèle protocole -
- autre -

2. Interface homme/machine

- a) Acquisition des informations issues de l'opérateur
- clavier industriel
 - console / écran
 - panneau de commande
 - micro-ordinateur type/liaison/protocole
- b) Visualisation de l'image, supervision du contrôle
- moniteur TV taille -
 - panneau de visualisation
 - alarme sonore

3. Interface avec l'environnement informatique de gestion de production

- Si oui, - type -
- liaison -
- protocole -
- Type d'informations désirées
 - * journal de bord
 - * statistiques
 - * alarmes
 - * autres

III - DEROULEMENT DU PROJET

1. Suivi de l'avancement des travaux

- réunion technique
- compte rendu de réunion

2. Installation

- lieu de l'installation -
- période de l'installation
 - * fermeture annuelle
 - * pendant les arrêts
 - * autre
- délais demandés -
- durée de l'installation -
- procédure particulière -

3. Conditions de recette

4. Garantie/Maintenance

- type de garantie - retour usine site
- délai d'intervention souhaité -

Note 2 : IMPORTANCE DE LA SYNCHRONISATION EN VISION MATRICIELLE

Lorsque le processus est de type "pas à pas" il est nécessaire de synchroniser la prise de l'image avec l'arrivée du produit.

Lorsque le produit défile, il faut figer artificiellement l'image grâce à l'utilisation d'un éclairage stroboscopique dont l'éclair devra de la même façon être synchronisé avec l'arrivée du produit.

- il importe de définir le contexte de l'étude (objectifs de production et d'automatisation, situation du projet dans un programme plus vaste).
- il ne faut pas négliger certains aspects pouvant apparaître "secondaires", tels que sécurité, ergonomie,
- il ne faut pas préjuger du choix d'une technologie (capteur à contact, sans contact, vision 2D, vision 3D).

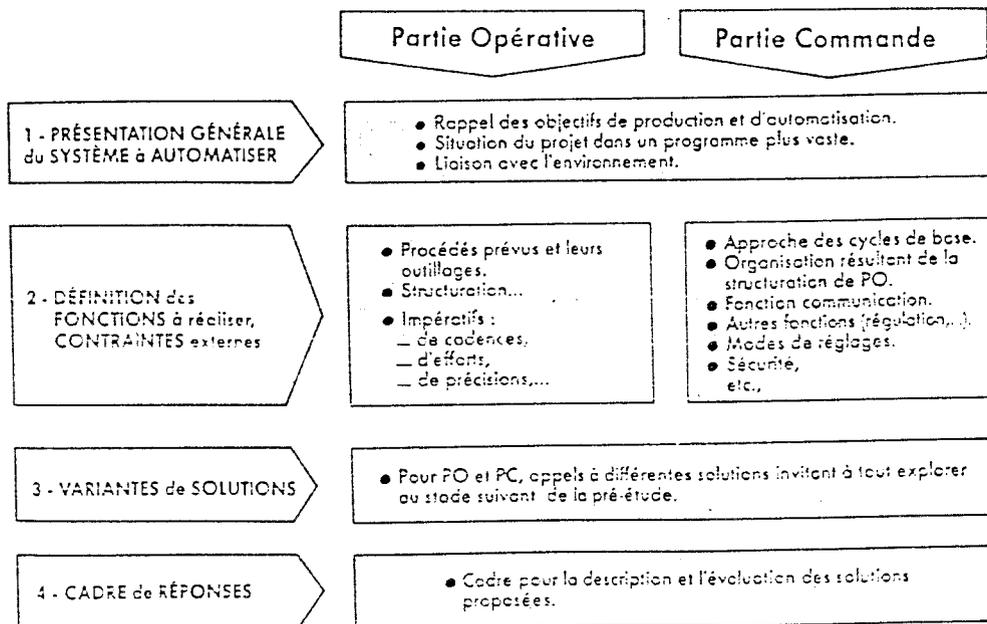


figure 8 : Cahier des charges fonctionnel du système à automatiser (norme AFNOR)

3.2.2.2) Formalisation des besoins

A partir des besoins du client exprimés dans le cahier des charges, il s'agit de formaliser les fonctions assurées par le capteur. Nous en distinguons deux types :

- la *fonction initiale de contrôle*, objet de l'implémentation du capteur, tel que "contrôler un outil de coupe, la présence d'une pièce,...". Il importe de définir à ce stade les critères qui vont conditionner la qualification de l'objet par le capteur, et les réactions possibles sur le procédé (intégration dans l'automatisme).
- des *fonctions de services*, facilitant la préparation / cloture, l'exploitation et la maintenance du capteur tout au long de son cycle de vie.

Une décomposition hiérarchique de l'activité générique "intégrer un processus de contrôle" (figure 14, chapitre 2) intègre ces deux points de vue :

- à un premier niveau l'ensemble de ces services à travers les activités préparer / clore, maintenir et exploiter,
- à un second niveau, l'intégration du capteur dans le procédé, à travers les sous-activités qualifier, décider et réagir, assimilables aux modules mesurer, comparer et corriger d'une boucle de régulation. Un processus de contrôle considéré dans sa globalité inclut non seulement la mesure, mais également une prise de décision et une réaction sur le procédé contrôlé. La décomposition proposée pour l'activité qualifier est spécifique d'un capteur de vision.

Ces deux points de vue constituent une spécification plus formelle du problème.

Les fonctions services, selon les recommandations du groupe de travail CIAME "Capteurs intelligents" (présentées chapitre 1 figure 12), sont les suivantes :

Les services liés à la préparation / cloture du capteur

configuration

Cette fonction recouvre les aspects suivants:

- apprentissage des paramètres, modèles de pièces, ...
- configuration des services assurés par le capteur : mise à jour de la liste des tâches supportées par le capteur, de la liste des ressources dont il dispose (désaffectation d'une caméra par exemple),
- configuration des tâches de mesure : modification de la valeur d'un seuil, de paramètres d'étalonnage,...

étalonnage, calibration

- L'étalonnage est effectué pour chaque caméra; les coefficients d'étalonnage expriment le passage d'un repère image (l'unité est le pixel) à un repère réel (l'unité est définie par l'utilisateur (mm, cm,...)); lorsque l'image présente d'importantes déformations géométriques, il est possible de compléter l'étalonnage par l'apprentissage de paramètres correcteurs. Pratiquement, l'étalonnage est réalisé par présentation d'une ou de plusieurs cibles à la caméra.

- La calibration a pour l'objet le passage des mesures effectuées dans un repère caméra (en unité pixel ou réelle) à un repère propre à l'équipement (MOCN, robot,...). Un exemple est proposé chapitre 4.

Les services liés à l'exploitation du capteur

communication

La communication entre le capteur et son environnement comprend deux modes, tels que définis dans (LEP 86) :

- le mode DNC1, utile au téléchargement d'informations telles que gammes de contrôle, programmes, données de configuration entre d'une part le PC_vision et le SGBD de la cellule, et d'autre part le PC_vision et les moyens de CFAO (station de CAO,...);
- le mode DNC2, correspondant à la communication d'un point de vue contrôle-commande (demande de mesure -> CR de mesure + résultats).

identification

Cette fonction fournit un descriptif du capteur, c'est à dire des informations concernant d'une part :

- les références constructeurs des différents constituants du capteur (ex : caméra I2S, processeur image ITMI, modèle Edge90)
- d'autre part :
 - la configuration actuelle du capteur (ex : caméras connectées référencées cam1, cam2 et cam3; ..)
 - et son ou ses rôles fonctionnels (ex : contrôle présence pièce sur montage d'usinage, contrôle usure plaquette de tournage, guidage robot pour pose/prise pièce sur montage d'usinage,...)

Cette configuration doit être aisément modifiable (en local ou à distance).

mise en service

Cette rubrique concerne toutes les fonctionnalités utiles à la mise en service du capteur après un arrêt du procédé, une opération de maintenance ou lors de la première installation:

- mise sous tension des différents éléments,
- affectation du capteur en mode cellule (ceci peut entraîner par exemple une dévalidation des interfaces utilisateurs (clavier, écran)
- lancement du programme exécutable (chargement des drivers de communication, des programmes de mesure,...).

configuration à distance

Il est possible de modifier la configuration du capteur à partir du poste de conduite ou d'un poste de maintenance. Ceci permet notamment d'éliminer une fonction de mesure lorsqu'une ressource nécessaire à cette fonction devient indisponible, et ce sans intervention sur le site.

auto-adaptabilité

Cette notion signifie que le capteur est en mesure de choisir la stratégie la plus adaptée à la tâche qu'on lui demande (dans le cas évidemment où différentes stratégies sont prévues), et les conditions d'application de cette stratégie; par exemple, le processeur d'extraction de contour GTR d'ITMI ajuste les seuils de binarisation en fonction du niveau de lumière ambiant; des algorithmes de reconnaissance auto-adaptatif ont déjà été validés par certains laboratoires (les seuils d'identification s'auto-adaptent selon les résultats d'identification).

auto-surveillance

Le fonctionnement du capteur est surveillé par :

- l'affectation d'un délai maximum à chaque tâche vision,
- l'exploitation systématique des comptes-rendus même pour les fonctions les plus élémentaires (lecture fichier,...)
- l'évaluation de la crédibilité des résultats.

(CIA 87) définit cette notion de crédibilité :

"La crédibilité peut être définie comme la qualité qui caractérise l'aptitude d'un système à délivrer des informations possédant un degré de confiance requis, dans ses conditions de fonctionnement"

et la justifie :

"la multiplicité des types de défauts pouvant affecter une mesure explique en partie la méfiance généralisée des opérateurs envers les informations issues des capteurs, ... L'opérateur est aveugle quant à la nature du défaut.; on voit donc que le besoin en crédibilité accrue recouvre un besoin en informations validées. on distingue classiquement trois types de validations :

- * la validation technologique, visant à s'assurer que le matériel n'est pas défaillant,*

* la validation fonctionnelle, visant à s'assurer que le contenu informationnel est valable d'un point de vue fonctionnel (cohérence avec un modèle, avec d'autres mesures,...)

* la validation opérationnelle visant à s'assurer de la cohérence des données de mesure par rapport au mode opératoire imposé par les automatismes de conduite".

contrôle à distance

Depuis le poste de conduite, il est possible d'intervenir sur le capteur durant son exploitation; le poste de conduite est perçu par le capteur comme un "client" au même titre que les équipements, qui peut s'affecter la ressource capteur, demander l'exécution d'une tâche de mesure, consulter ou modifier des paramètres de fonctionnement,....

Les services liés à la maintenance du capteur

auto-diagnostic

Lorsqu'un défaut est détecté (CR négatif) ou lorsque les résultats ne sont pas cohérents, le capteur est en mesure d'enclencher une procédure d'auto-diagnostic afin de tenter de localiser l'origine du dysfonctionnement; cet aspect est traité §4.

aide à la maintenance prédictive

La surveillance de la dérive des mesures au cours du temps ainsi que des conditions de fonctionnements (température trop élevée par exemple) peut permettre de détecter des dysfonctionnements futurs. D'autre part, il peut s'avérer intéressant d'effectuer une gestion localisée, au niveau du capteur, de la date des dernières interventions (pour nettoyage par exemple) et de la fréquence prévue pour ces interventions .

aide à la maintenance curative

La maintenance curative est facilitée par :

- la présence d'utilitaires de test (traitement d'image de référence,...),
- la mémorisation de l'état du capteur avant la panne (état des tâches, de la demande qui a provoquée le dysfonctionnement, édition des défauts au fil de l'eau...),
- la nature des pannes déjà réparées,
- l'accès au fonctionnement interne (visualisation de l'image extraite ou traitée, des objets identifiés, de certaines variables....

Application

Les modèles "intégrer un processus de contrôle dans un SPP" et "contrôler un objet ou un processus" (figure 15 et 17 du chapitre 2) sont instanciés au contrôle d'une plaquette de tournage. Selon ce modèle, la spécification des besoins nous conduit à considérer:

- un *point de vue services*, traitant l'intégration du capteur au sein des activités de préparation, exploitation ou maintenance,
- un *point de vue procédé*, abordant l'intégration du capteur au sein de l'automatisme (à travers les activités qualifier, évaluer et réagir sur le procédé).

Point de vue services

Les qualités requises pour le capteur d'usure de plaquettes de tournage sont autant de services complémentaires qu'il faut lui conférer (figure 9)

Services requis pour le capteur de contrôle de plaquettes de tournage

un capteur flexible :

- * différents types de plaquettes doivent être contrôlable (cf chapitre 4),
- * il faut réutiliser si possible le processeur vision déjà implanté sur la cellule, ainsi que des algorithmes déjà écrits (algo d'identification de pièces notamment)

un capteur auto-contrôlé :

- * auto-surveillance du capteur, avec déclenchement d'une procédure auto-diagnostic en cas de défaillances,
- * archivage des mesures pour détection automatique de dérives au cours du temps

un capteur ouvert :

- * d'un point de vue communication, deux modes sont à prévoir DNC1 (accès au SGBD) et DNC2 (contrôle-commande)
- * d'un point de vue contrôle commande, il s'agit de structurer le capteur de façon à ce qu'il s'intègre dans l'architecture de contrôle-commande de la cellule
- * d'un point de vue exploitation, il importe de disposer d'utilitaires d'aide à la mise en service (calibration, apprentissage des modèles d'outils, ...) et à l'exploitation proprement-dite (contrôle à distance, identification du capteur,...).

figure 9: Extrait du cahier des charges d'une "application de contrôle visuel de plaquettes de tournage" : les services requis

Point de vue procédé

L'intégration du capteur d'un point de vue procédé nécessite de définir les critères d'évaluation et la réaction sur le procédé contrôlé (figure 10).

qualifier	évaluer	réagir
détecter présence et type outil	présence outil non détectée	diagnostiquer capteur-vision, ou éventuellement confirmer par autre capteur ou demander intervention opérateur si outil cassé, alors changer outil si ..., alors
	erreur type outil	engager indexation tourelle et vérifier type d'outils montés / table d'affectation outil
localiser référentiel outil / référentiel machine	ecart position outil > seuil1 seuil1 > ecart position outil > seuil2	diagnostiquer capteur-vision, ou éventuellement confirmer par autre capteur puis ré-installer outil corriger jauge outil
contrôler état plaquette	usure en dépouille < seuil1 seuil1 < usure en dépouille < seuil2 seuil2 < usure en dépouille	plaquette correcte modifier conditions de coupe changer outil

figure 10 : Extrait du cahier des charges d'une "application de contrôle visuel de plaquettes de tournage" : intégration du capteur vision / procédé

La phase de spécification se termine par la rédaction d'un cahier des charges fonctionnel. L'outil Orchis nous semble bien adapté pour supporter la rédaction de ce cahier des charges fonctionnel, par le fait qu'il est possible d'associer un fichier texte à chaque activité SADT. De cette façon, les spécificités du cahier des charges sont affectées aux activités concernées et on évite ainsi la multiplicité des supports. Une évolution intéressante d'un atelier de génie automatique est son couplage un Système de Gestion d'objets Techniques, sinon de diagrammes (MOR 90), afin de permettre par exemple d'associer à des activités SADT des dessins ou des photographies scanérisées.

3.2.3) Phase d'Analyse

La figure 11 présente les méthodes, outils et modèles utilisés pour la phase d'analyse.

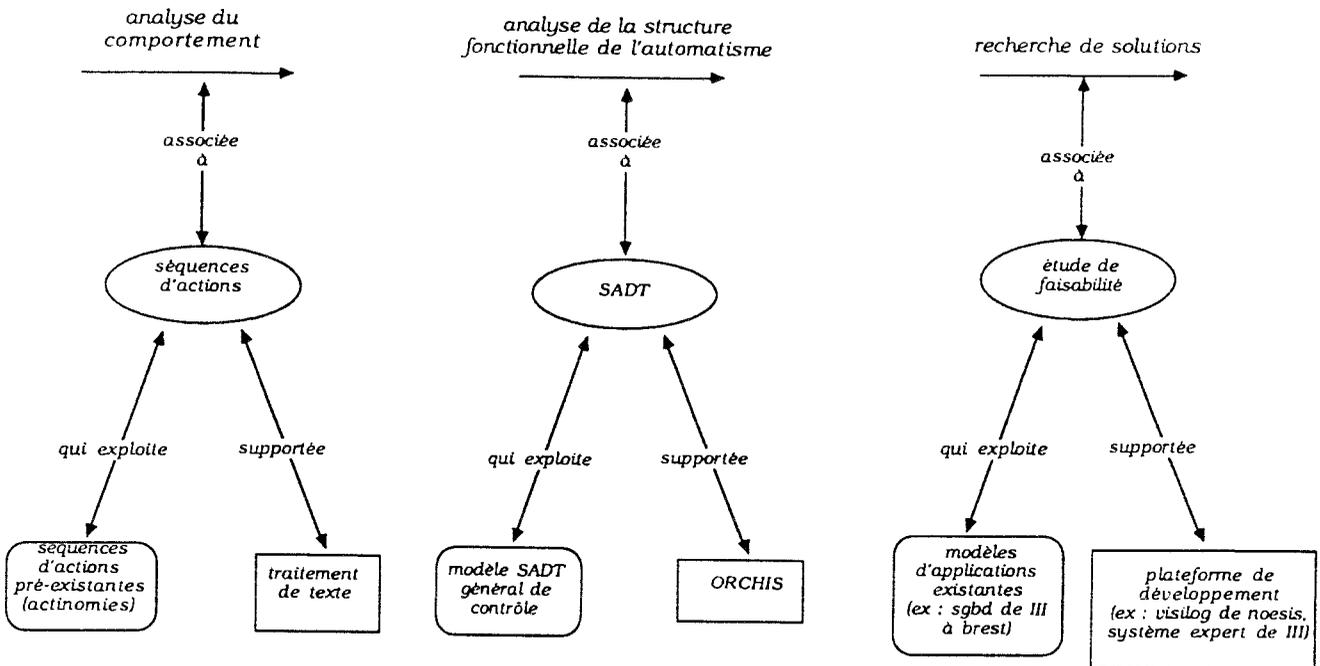


figure 11: Analyse

3.2.3.1) Etude fonctionnelle du capteur

Il nous semble intéressant d'aborder l'étude fonctionnelle du processus de contrôle en formalisant son comportement, c'est à dire la façon dont il devrait marcher. Ce préalable à l'analyse SADT se justifie par le fait que le choix et la structuration des activités sont de première importance pour la décomposition. Le choix des activités pour le modèle SADT, souvent fait d'une façon plus ou moins arbitraire, est contraint par la description du comportement. D'autre part, cette approche étend la notion de réutilisabilité de fonctions pré-existantes à celle de réutilisabilité de comportements pré-existants.

Nous proposons donc deux phases:

- **analyse du comportement de l'automatisme** -> formalisation du comportement que l'on souhaite conférer à l'automatisme (modèle exprimant la dynamique du système),
- **analyse de la structure fonctionnelle de l'automatisme** -> structuration des activités par la méthode SADT (modèle statique organisant les fonctions pour assurer le comportement précédemment défini);

Analyse du comportement conféré aux différents constituants de l'automatisme

L'étude du comportement débute par une décomposition hiérarchique du processus à réaliser en un ensemble de sous-processus, et ce jusqu'à un niveau de décomposition satisfaisant. La figure 12 en présente une application pour le contrôle de l'usure d'une plaquette de tournage; le niveau de détail de cette décomposition anticipe la phase recherche de solutions.

A partir de cette décomposition, le comportement que l'on veut conférer au système est décrit sous forme de séquences d'actions (structurées par des tests et des boucles de répétition), s'exécutant de façon séquentielles ou parallèles (figure 13). L'expression du comportement, par une décomposition hiérarchique du problème de plus en plus fine, conduit à des séquences d'activités qui ont pu être formalisées dans d'autres problèmes. Nous abordons ici le problème de la réutilisabilité des fonctions pré-existantes, évoqué précédemment, sous l'angle de la description des comportements.

Ces activités sont ensuite (après l'analyse fonctionnelle) réorganisées (figure 14) de façon à prendre en compte les contraintes dues à l'existant (on décide par exemple qu'il est plus judicieux de déporter la commande de l'éclairage sur l'API du tour). Le fait de distribuer les traitements fait apparaître des besoins en échanges d'informations entre les différents matériels.

La notion d'actinomie

L'intérêt de la notion d'actinomie (VOGEL 88) pour la structuration de la partie commande d'un automatisme (MOR 89) (AIP 89) est la représentation formelle de toute séquence d'actions élémentaires indissociables selon :

"on appelle actinomie une représentation orientant et organisant l'action autour d'enchaînements, d'enchâssements ou de parallélismes de séquences. Ces structures sous-tendant la représentation et le contrôle de l'action peuvent être énoncées à priori et servir de cadre à leur mise en forme, leur critique".

Une séquence élémentaire comprend trois actèmes :

- l'ouverture,
- le noyau,
- la clôture

l'ouverture et la clôture formant un couple **antinomique**.

Par exemple, l'actinomie *"identifier un objet dans une scène"* formalise une suite d'actions élémentaires selon le critère d'opposition des bornes de séquences, et structure l'information sous la forme d'enchâssement de séquences (figure 15).

La structuration des comportements sous la forme d'actinomies présente, de notre point de vue, les avantages suivants :

- elle assure **une approche exhaustive de l'ensemble des activités "secondaires"** indispensables à la mise en oeuvre de l'objectif; ainsi l'activité *identifier un objet dans une scène* implique un certain nombre de pré-activités (*préparer l'acquisition d'images, préparer le prétraitement d'images...*) et de post-activités (*clôre l'acquisition d'image, clore le prétraitement d'image...*), ces pré et post-activités étant elles-mêmes décomposables (figure 16)

- **la notion de réutilisabilité prend ainsi tout son sens** : elle ne se limite plus à la réutilisation de composants logiciels ou de modules de commande (cf boîtes fonctionnelles) pré-écrits, mais **permet de réitérer un comportement, c'est à dire une manière de faire**. : "*Construite dans la pratique, elle devient peu à peu - au fur et à mesure des observations - un mode de réponse stable et reproductible correspondant à un type de situation identifiée. L'actinomie est avant tout une représentation, une combinaison d'images mentales orientant et organisant l'action*" (VOGEL 88).

Considérons le problème de contrôle de l'usure d'un outil par vision. Cette tâche nécessite l'identification de l'objet, qui elle-même implique un certain nombre d'activités de préparation et de clôture, indissociables de la méthode de reconnaissance que nous utilisons. Le seul fait de mentionner l'activité *identifier* permet par exemple la mise à jour de façon quasi-automatique des dossiers de mise en service destinés aux préparateurs. Ainsi, si l'étalonnage du système nécessite une procédure particulière, le descriptif de cette procédure (un fichier texte illustré de dessins) ainsi que les références de l'utilitaire d'étalonnage, liés tous deux à l'activité étalonner, seront inclus au document de préparation.

remarque : les notions de décomposition hiérarchique et d'actinomie peuvent paraître redondantes; elles se différencient de la façon suivante :

- une décomposition fonctionnelle permet d'appréhender un problème complexe par l'étude de sous-problèmes. Par exemple, le contrôle de l'usure de la plaquette de tournage comprend trois sous-problèmes : qualifier la plaquette, évaluer les résultats de qualification dans le contexte du procédé de coupe, et réagir sur ce procédé;

- une actinomie exprime une séquence d'activités de même niveau permettant d'atteindre un objectif déterminé. La formalisation d'une actinomie suppose une bonne connaissance du processus que l'on représente. L'ordonnement figé des activités et leur caractère actinomique assurent la prise en compte non seulement des activités nécessaires à la préparation de l'objectif, mais également des activités

**Décomposition de l'activité
contrôler l'usure d'un outil
en sous-activités
(instance)**

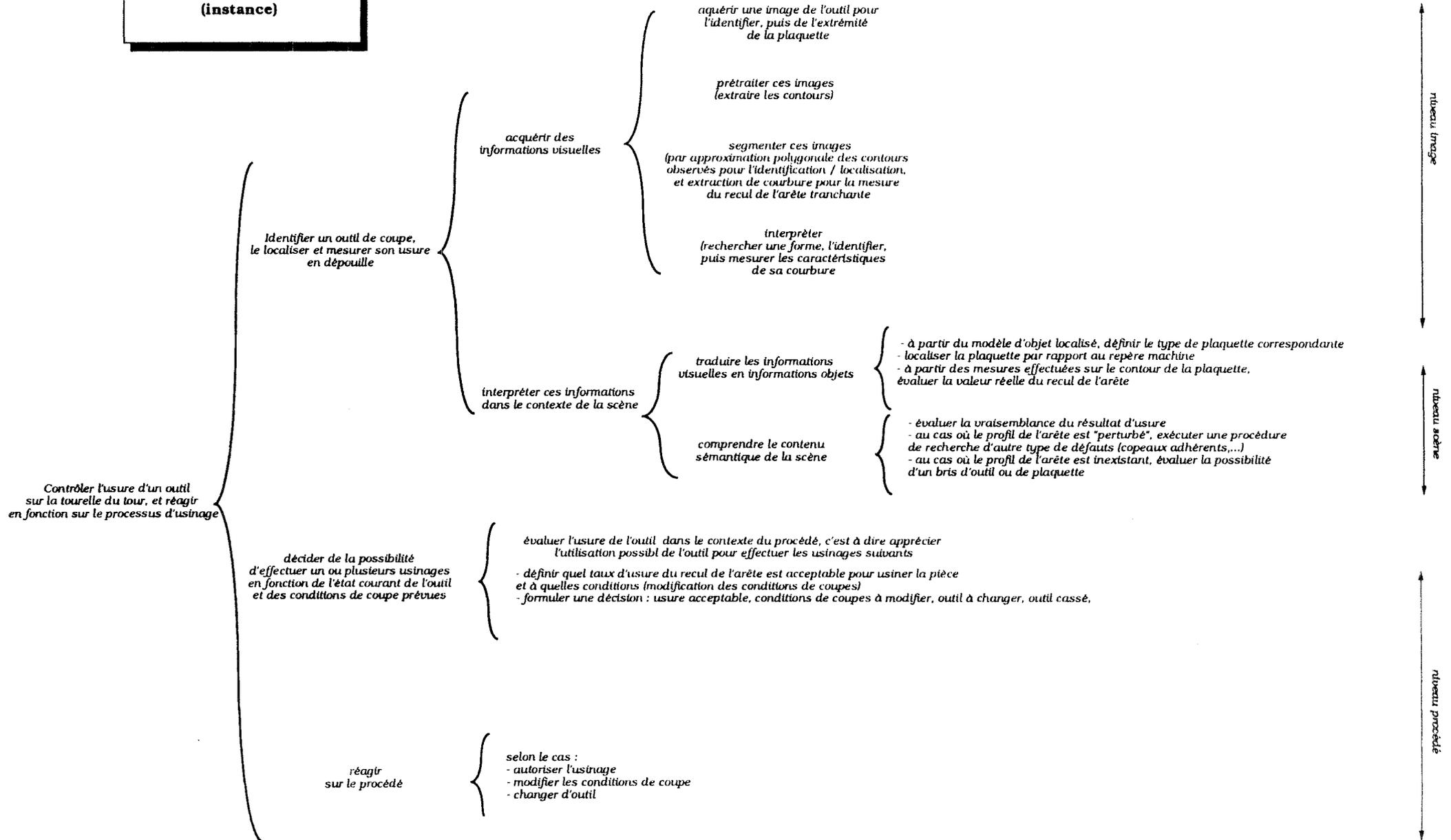


figure 12 : Décomposition hiérarchique du processus de contrôle

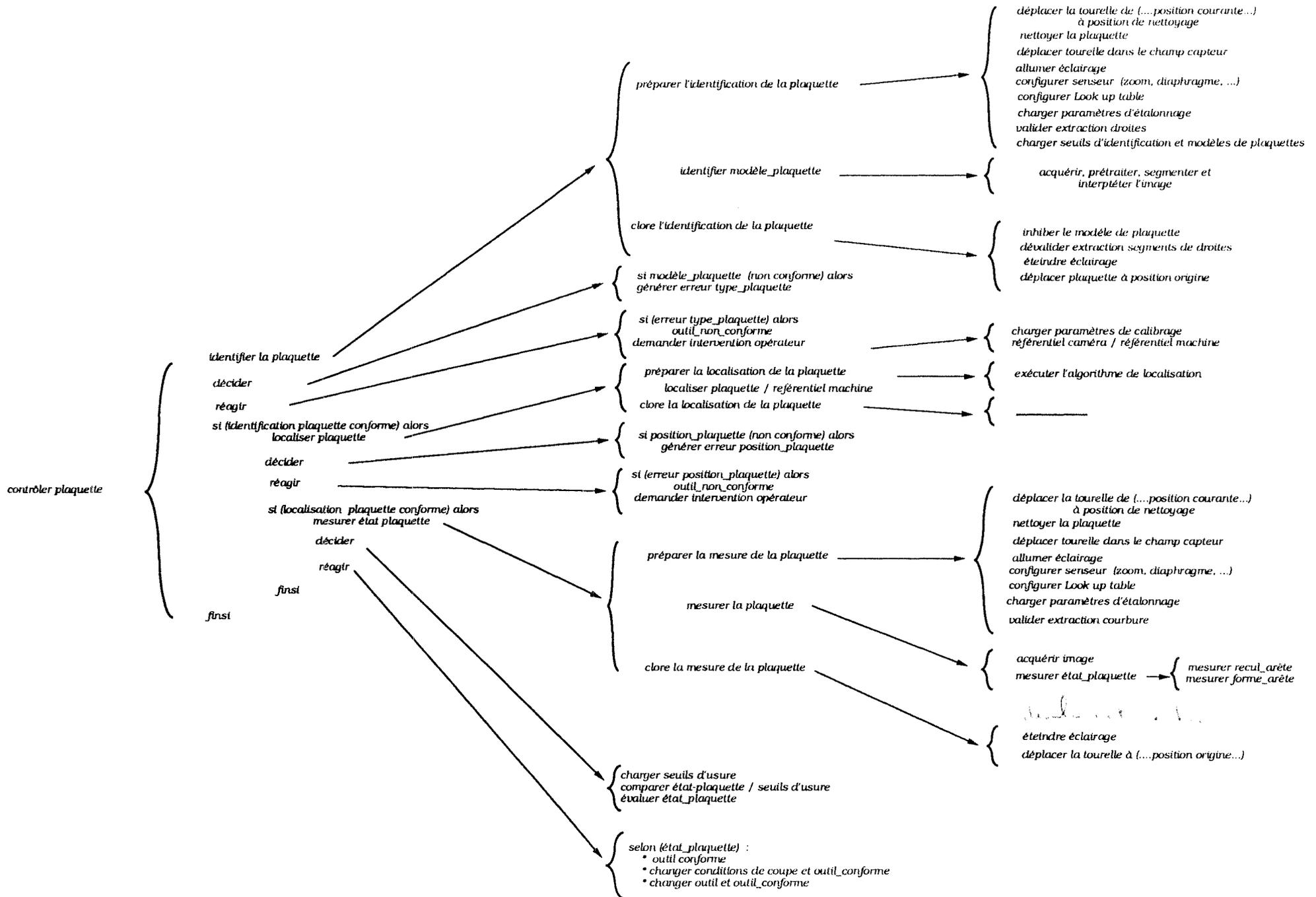


figure 13 : Structuration des opérations afin de formaliser le comportement

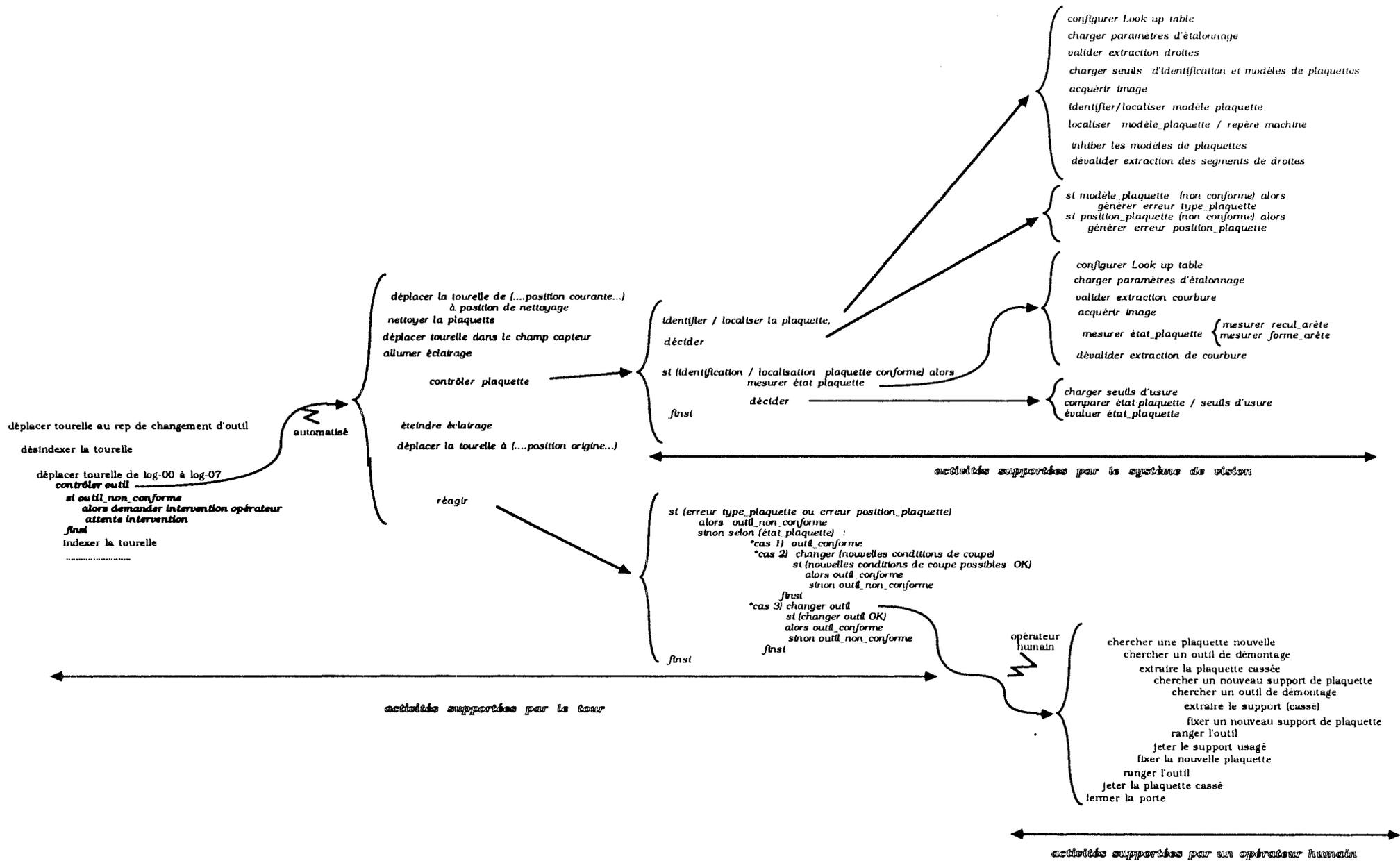


figure 14 : Formalisation du comportement -> prise en compte de l'existant

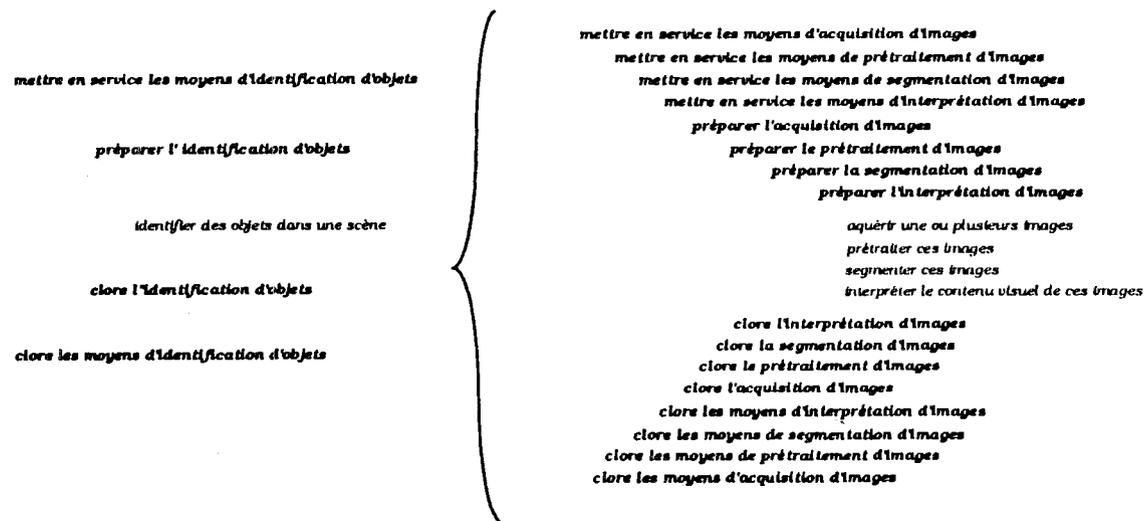


figure 15 : Actinomie "identifier des objets dans une scène"

mettre en service les moyens d'acquisition d'images

- installer un système de nettoyage de l'objet
- installer le senseur, l'éclairage, les systèmes de protection (vitre devant la caméra,...) et éventuellement un support pour l'objet à mesurer
- régler les conditions de prise de vue : zoom, ouverture, mise au point, gain, offset
- pour le cas d'une acquisition d'images en mode mono coup, synchronisée par ex sur la détection de présence de l'objet par une cellule photo sensible, installer l'ensemble de ce dispositif
- installer le processeur d'analyse d'images et connecter l'ensemble des périphériques (caméras, commande éclairage)
- tester le module d'acquisition d'images

préparer l'acquisition d'images

- positionner et heilozer l'objet
- positionner et configurer le senseur (zoom, diaphragme, mise au point objectif, numéro caméra, taille des images, temps d'exposition caméra,...)
- positionner et allumer l'éclairage

déclencher la saisie d'image

- acquérir, (choix du mode d'acquisition caméra : en continu ou déclenché par le processeur image),
- numériser (choix de la fenêtre d'acquisition pour une caméra linéaire)
- et transférer l'image dans un plan mémoire (choix du plan mémoire)

clure l'acquisition d'images :

- éteindre et débrayer l'éclairage
- dégager et déconnecter le senseur (zoom, diaphragme, mise au point objectif)
- dégager l'objet

clure les moyens d'acquisition d'images

démonter et nettoyer l'ensemble des matériels

mettre en service les moyens de prétraitement

- installer les cartes de prétraitement d'images (ex : gradient temps réel pour l'extraction des contours)
- apprendre les valeurs de seuillage, définir les LUTs
- étalonner les caméras, apprendre les coefficients de correction pour la distorsion géométriques de images
- ajuster la fenêtre de travail pour chaque type d'image analysée
- tester les modules de prétraitement

préparer le prétraitement d'images

- initialiser le module prétraitement (initialiser les algorithmes de prétraitements)
- charger les paramètres d'étalonnage (correspondance unité pixel > unité réelle, coefficients de correction des défauts géométriques de l'image)
- charger les Look up table
- charger les coefficients de filtrage

exécuter les opérations de prétraitement d'images

- enchaîner d'images opérations de prétraitement d'images par des opérateurs matériels ou logiciels
- Seuillage, filtrage spatial ou fréquentiel, morphologie mathématique,
- définition d'une fenêtre de travail,
 - soustraction d'image,
 - égalisation d'histogramme,

clure le prétraitement d'images

.....

clure les moyens de prétraitement d'images

- démonter et nettoyer les cartes de prétraitement
- effacer les fichiers utiles au prétraitement (fichier étalonnage, fichier de LUTs,...)

mettre en service les moyens de segmentation d'images

- ajuster l'évaluation des consommateurs (longueur min des segments de droite extraits,...)
- installer et tester les algorithmes de segmentation

préparer la segmentation d'image :

- initialiser le module segmentation (dévulder l'ensemble des consommateurs, initialiser les algorithmes)
- configurer les algorithmes de segmentation (taille des discontinuités permises sur un contour, longueur minimale des éléments de contours,...)
- valider les consommateurs (périmètre, surface, segments de droites, trous,...)
- configurer les consommateurs (taille minimale des segments de droite)

exécuter les opérations de segmentation d'images

- segmentation par région ou par contour à partir d'image à niveau de gris, d'image binaire, d'image couleur, analyse de texture, puis évaluation des consommateurs globaux (aire, périmètre), locaux (droites, arcs de cercle) ou de voisinage (trous)

clure la segmentation d'images

.....

clure les moyens de segmentation d'images

- démonter et nettoyer les cartes utiles à la segmentation
- effacer les fichiers utiles à la segmentation

mettre en service les moyens d'interprétation d'images

- ajuster les coefficients d'interprétation (seuils de reconnaissance,)
- apprendre les modèles d'objets
- installer et tester les algorithmes d'interprétation

préparer l'interprétation d'image :

- configurer les algorithmes d'interprétation (seuils de reconnaissance)
- charger les paramètres d'interprétation (modèles d'objets, coefficients de calibrage référentiel machine / vision)

exécuter les algorithmes d'interprétation d'images

- analyser la taille des attributs géométriques ou consommateurs (distance entre 2 droites //, entre deux barycentres, identification / localisation de modèles d'objets dans l'image)

clure l'interprétation d'image

formuler les résultats de l'interprétation

clure les moyens d'interprétation d'images :

- démonter et nettoyer les cartes utiles à l'interprétation (processeur de calcul, ...)
- effacer les fichiers utiles à l'interprétation (fichier modèles d'objets,...)

figure 16 : Actinomie "Identifier des objets dans une scène" (suite)

de cloture, souvent oubliées (ces activités correspondent couramment à la remise en état du système après réalisation de l'objectif).

Analyse de la structure fonctionnelle de l'automatisme

"L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à recenser, ordonner, hiérarchiser et traiter les fonctions d'automatismes à réaliser" (ref les automatismes programmables).

Le modèle fonctionnel *"intégrer un processus de contrôle dans le système physique de production"*, (figure 15 chapitre 2) précise dans le formalisme SADT les principales activités intervenant dans le cycle de vie d'un processus de contrôle, selon deux points de vue.:

- *services*, à travers les activités préparer, exploiter, maintenir et clore le processus de contrôle;
- *procédé*, par les activités qualifier, évaluer et réagir.

Ce modèle nous sert de référence pour l'analyse fonctionnelle. Les activités de type service, étant relativement indépendantes de l'application, ne sont pas modifiées. Par contre, les activités de type procédé sont structurées et affinées à partir de l'étude du comportement effectuée à l'étape précédente.

L'étude de la commande nous amène, selon la méthode de (LHO 85), à décomposer chaque activité SADT en plusieurs sous-activités coordonnées par une activité de contrôle, le processus étant réitérable pour chaque activité de niveau inférieur. Cette organisation *hiérarchique (ou coordonnée)* de la commande, où l'exécution de plusieurs activités est coordonnée par un "chef d'orchestre", est la plus courante dans les systèmes automatisés et reste la plus simple à mettre en oeuvre.

Application

La figure 17 présente une instanciation du modèle générique, nommé *"Qualifier un objet ou un processus par vision"* (figure 17 chapitre 2) au processus de contrôle *"qualifier un outil de tournage par vision"*. Ce modèle est affiné pour prendre en compte les spécificités de l'application; par exemple, l'activité *mesurer l'outil* se décompose en trois sous-activité : *identifier l'outil, localiser l'outil et mesurer la plaquette...*

L'étude des services à implanter, précisée figure 18 , nous conduit à distinguer :

- des *services locaux*, correspondant à l'exploitation d'utilitaires de calibration, d'apprentissage, de test en mode local, c'est à dire sur le processeur vision;

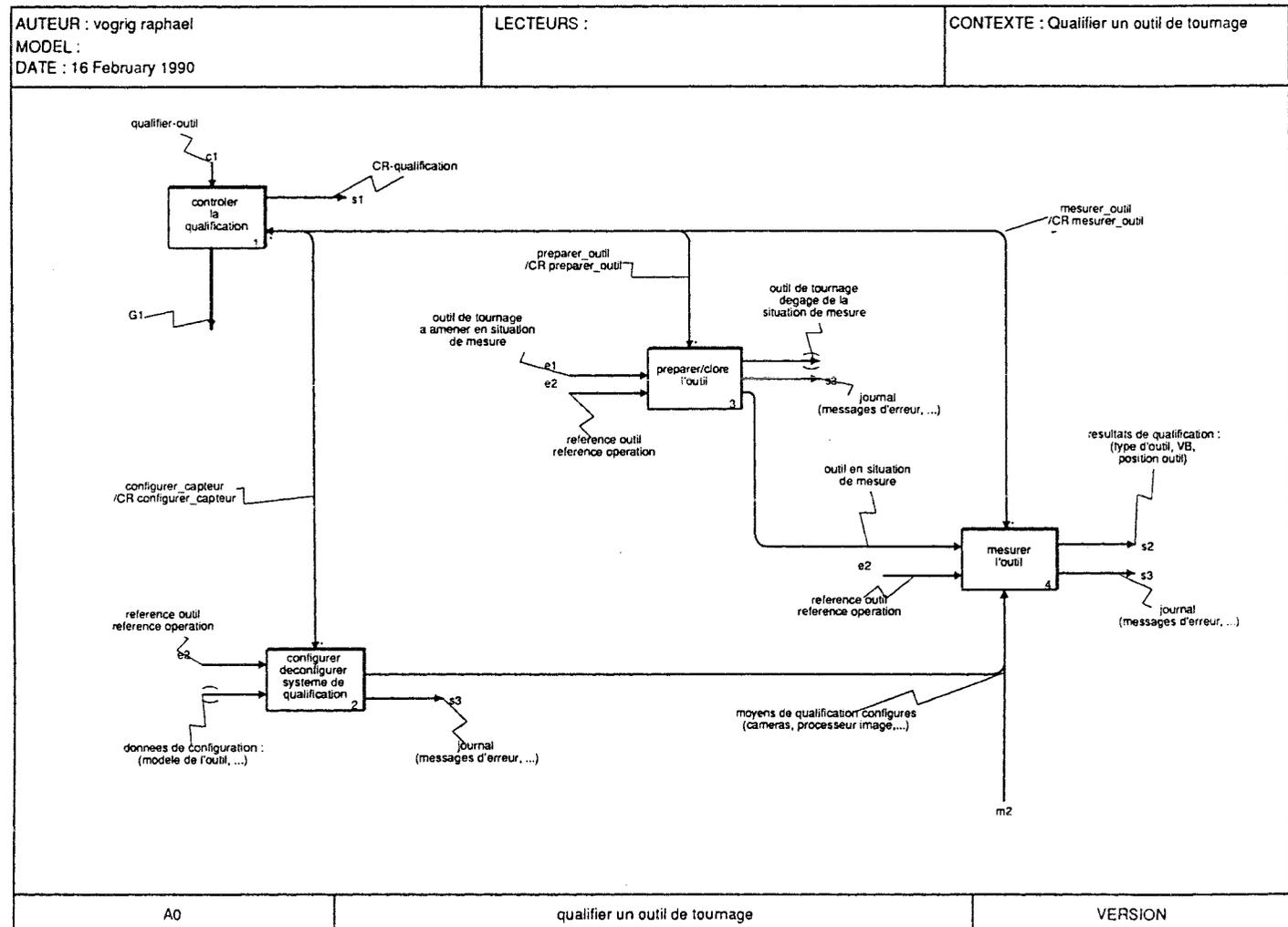
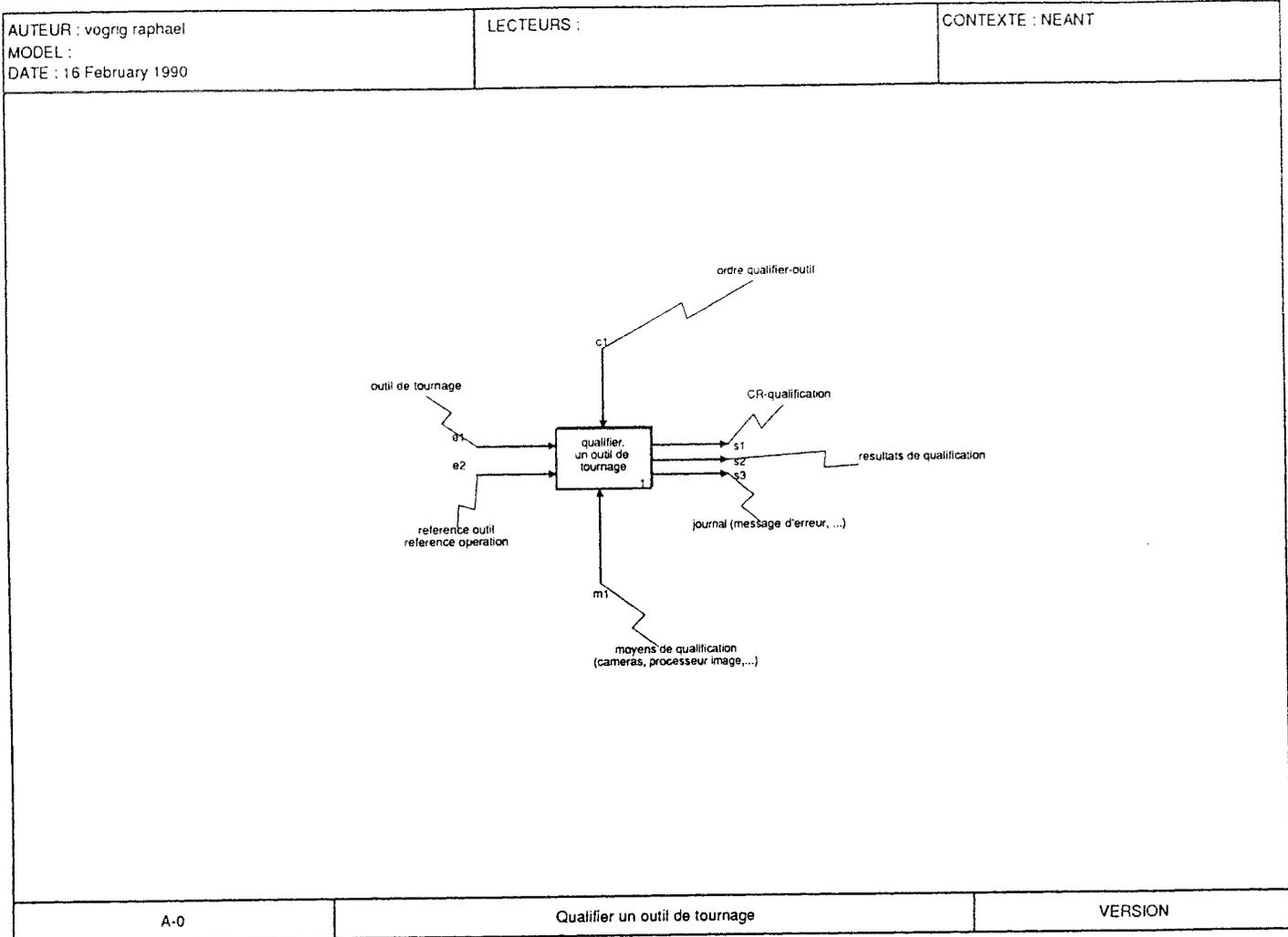


figure 17 : Instanciation du modèle générique "qualifier un objet ou un processus par vision" au processus de contrôle "qualifier un outil de tournage par vision"

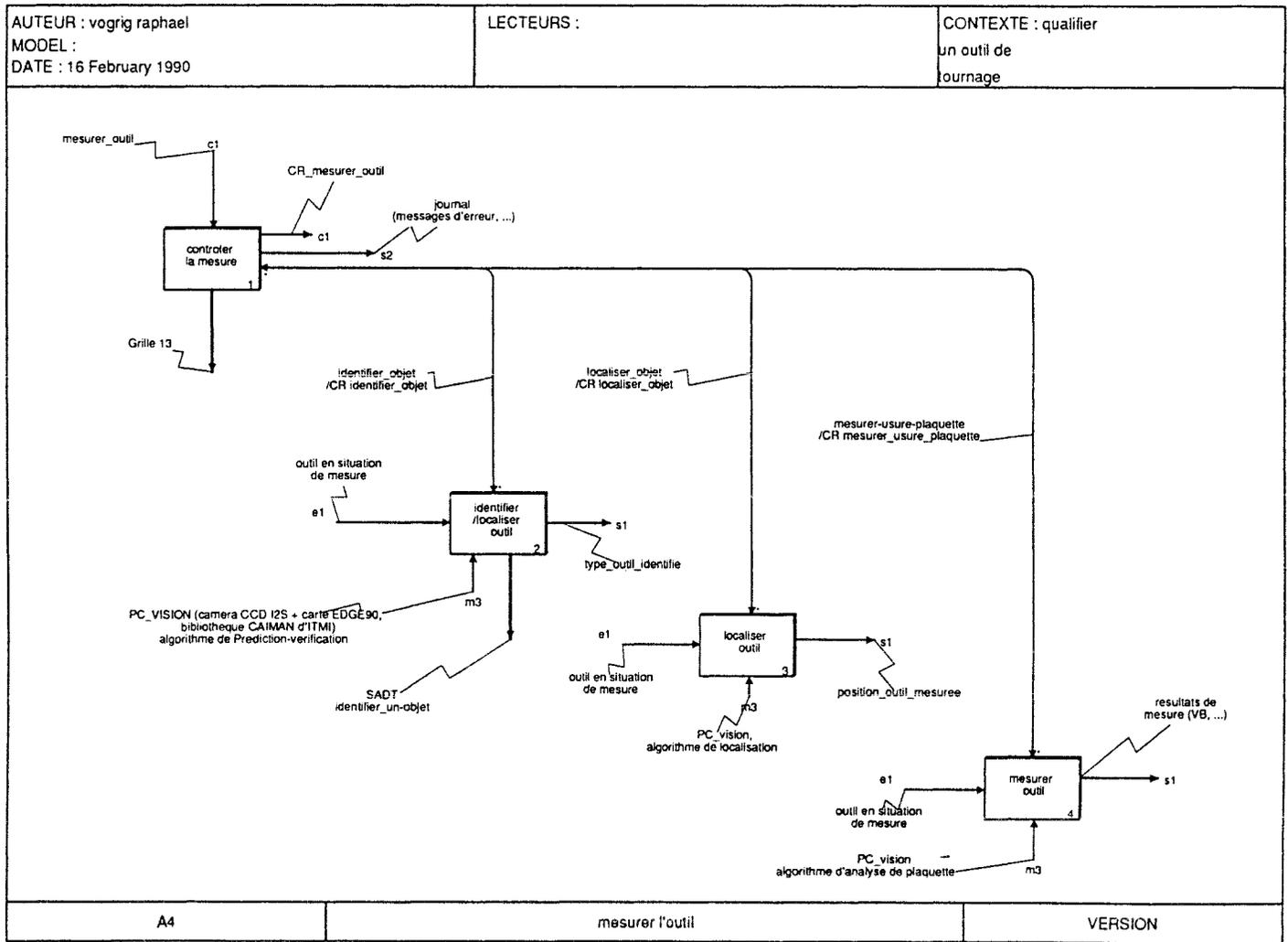
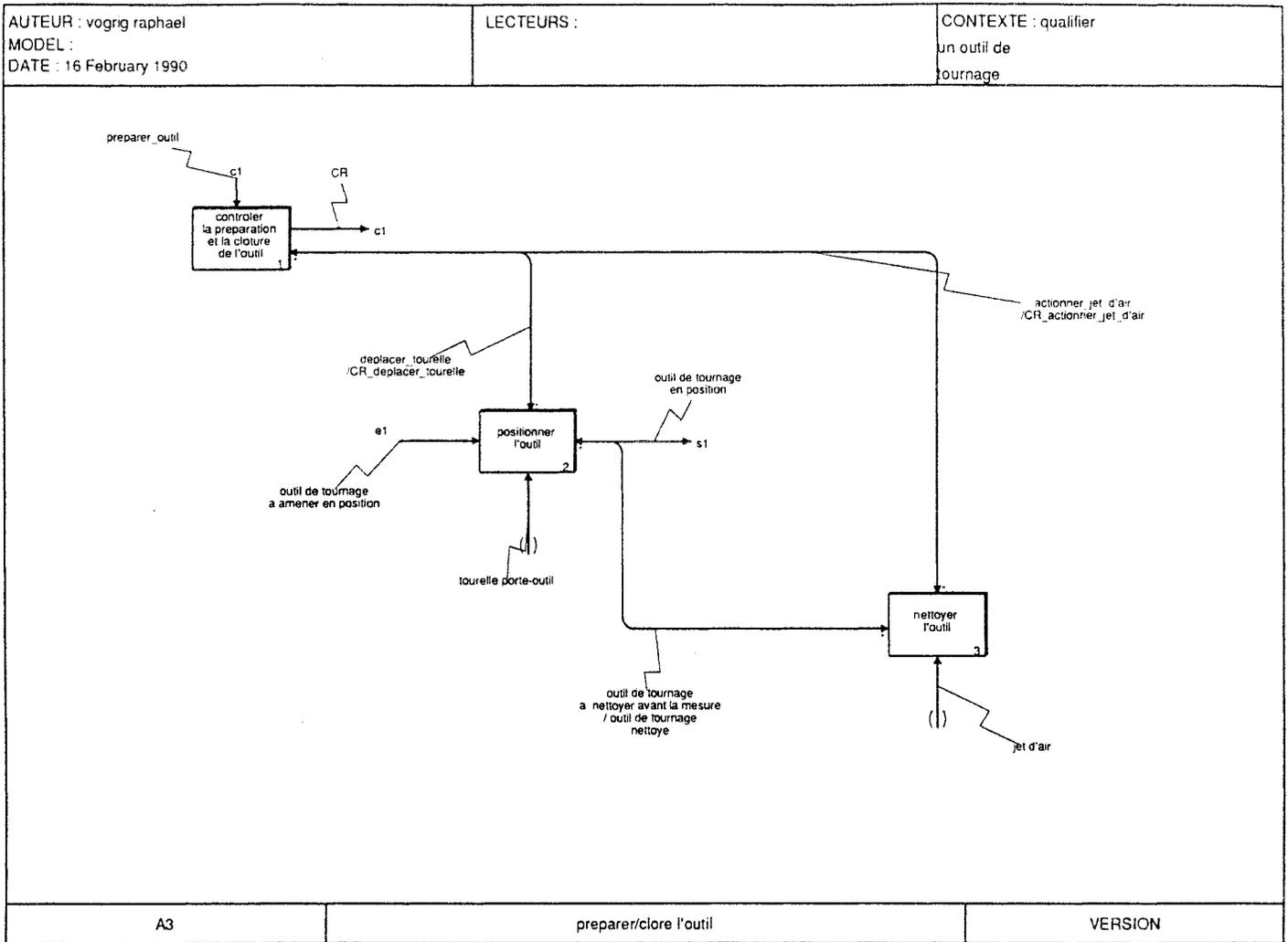


figure 17 (suite)

Identification

Un fichier "identité", résident sur le PC-vision (ou sur le serveur c'est à dire le SGBD cellule), contient un descriptif du capteur :

- configuration matérielle du ordinateur hôte
 - * références du ordinateur (marque, type)
 - * configuration (nombre de cartes, type, adresses d'implantation, ...)
 - constituants du processeur vision
 - * références de la carte de numérisation (marque, type)
 - * références des caméras connectées (marque, type, numéro connecteur, site d'implantation (montage, tour,...-))
 - * référence système d'éclairage
 - liste des fonctions assurées par le capteur (contrôle plaquette de tournage,...)
- Ce fichier doit être accessible en mode local et en mode déporté (c'est à dire à partir de la console de conduite ou d'une console de maintenance).

Mise en service

La mise en service correspond à la mise sous tension des différents éléments et à l'exécution du programme vision. Le capteur devient ainsi réceptif à des demandes de travail des différents clients (tour, montage, robot). Cette mise en service a lieu au début de chaque session de travail, et les opérations de maintenance nécessitant la mise hors service du PC.

Configuration, étalonnage

Les utilitaires destinés à faciliter la configuration du capteur sont les suivants :

- utilitaire d'apprentissage des modèles de plaquette de tournage
- utilitaire d'étalonnage
- utilitaire de réglage des seuils de prétraitement.

Configuration et contrôle à distance

L'opérateur de conduite (ou de maintenance) doit pouvoir lire ou modifier:

- l'état des différentes fonctions vision; à chaque fonction vision disponible est associée une variable d'état (la fonction peut être non opérationnelle, opérationnelle, en cours d'utilisation, ...),
 - la liste des fonctions vision disponibles,
 - la liste des clients autorisés,
 - l'état des ressources (caméra, alimentations,...)
- et lancer l'exécution
- d'une tâche vision, au même titre qu'un équipement,
 - d'une procédure de diagnostic,
 - d'une vérification d'étalonnage.

Auto-adaptabilité

Les algorithmes développés pour contrôler l'usure de l'arête tranchante de l'outil pourront différer selon la forme de la plaquette. Selon le type de plaquette à vérifier, le capteur devra choisir la stratégie la plus adaptée.

Communication

Le capteur doit s'interfacer d'une part avec les équipements clients et le poste de conduite en mode DNC2, d'autre part avec le SGBD en mode DNC1. Les fonctions à implanter sont les suivantes :

- en mode DNC1 :
 - * téléchargement des gammes de contrôle, des modèles de plaquettes à partir du SGBD;
 - * exploitation des outils de développement (compilateur, ...) résidents sur le serveur;
 - * lecture ou modification de fichiers (gammes de contrôle, fichiers de configuration)
 - * éventuellement, fonctionnement en mode console déportée, de façon à pouvoir exploiter un utilitaire (par exemple, l'utilitaire de mise au point des seuils de binarisation) sans pénétrer dans l'enceinte de la cellule; ce ne sera pas nécessaire si les interfaces utilisateurs (clavier, écran) du processeur vision sont hors de l'enceinte de travail;
- en mode DNC2 :
 - * gestion des communications du partage du capteur entre les équipements

Auto-surveillance

Les tâches d'identification, de localisation et de mesure de la courbure devront s'effectuer dans un délai prévu. La crédibilité des résultats sera évaluée par comparaison à des seuils pré-établis.

Auto-diagnostic

L'étude d'une seule procédure d'autodiagnostic sera privilégiée dans un premier temps; elle concerne l'échec lors de "l'identification d'une plaquette".

Aide à la maintenance prédictive

Une dérive des mesures peut être significative d'une modification progressive des conditions de fonctionnement de certains composants. La chaîne d'acquisition (caméras, système d'éclairage) présente le plus de sensibilité : usure des sources de lumière, évolution de la sensibilité du capteur (en fait du composant CCD), manque de propreté des optiques, bridage des caméras ou des sources de lumière défectueux,...

Aide à la maintenance curative

Différents utilitaires seront résidents au niveau du capteur : test des fonctions de communication, réglage et test de la carte de numérisation et des caméras. Des images de référence permettront de valider le fonctionnement de la chaîne de mesure (hormis la partie acquisition). On peut également envisager, si besoin, l'archivage des traitements au fil de l'eau dans un fichier de façon à connaître le contexte du dysfonctionnement si le défaut est bloquant (le processeur est "planté").

- des services type DNC1, exploitant l'infra-structure du système d'informations (en l'occurrence un serveur + un réseau NOVELL); ces services correspondent essentiellement à des opérations de visualisation, de modification et de transfert d'informations, entre notamment le processeur vision et la base de données atelier.
- des *services type DNC2*, associés à des fonctions de contrôle-commande.

Les services locaux

Quelques utilitaires, indépendants de cette application particulière, permettent :

- la mise au point des réglages liés à l'acquisition d'image et aux prétraitements,
- l'étalonnage du capteur,
- l'apprentissage des modèles de plaquette pour la reconnaissance et le réglage des seuils d'identification.

Il reste à développer un utilitaire facilitant l'apprentissage des seuils d'usure de la plaquette.

Les services de type DNC1

Sur le site de L'AIP Lorrain, les communications de type DNC1 sont actuellement supportées par :

- un réseau Novell, qui assure le partage des ressources tant matérielles (imprimantes, mémoire de masse) que logicielles (compilateurs, CAO grafacet, utilitaires divers...), entre les calculateurs de type PC et les stations de travail (SUN);
- un réseau LAC, qui permet notamment le téléchargement des programmes-pièces sur les commandes numériques.

Il est prévu de disposer prochainement d'une base de données relationnelle répartie pour améliorer la gestion des informations. Les solutions que nous proposons sont établies dans cette perspective. Le schéma entité-relation d'une base de données vision intègre les données concernant l'identification du capteur, l'état des ressources, les modèles d'objets, les composants logiciels, etc. Par exemple, les informations associées à l'identification du capteur sont des attributs d'une occurrence d'un individu capteur-vision de la base de données, en relation avec des occurrences d'individus caméras, carte de numérisation,.... Ce schéma fait l'objet des travaux de (ROC 91) à partir de la spécification des données par les traitements présentée dans ce mémoire.

Les services de type DNC2

Il faut en premier lieu développer les supports de communication entre :

- d'une part le PC-vision et l'automate de commande du tour,
- et d'autre part le PC-vision et le PC-conduite.

Les fonctions de communication de base sont les suivantes :

- initialiser un port de communication,
- émettre un message,
- recevoir un message,
- clore un port de communication,
- diagnostiquer un port de communication (consulter / modifier variables d'états (type de protocole, vitesse de transmission,...) et de défauts (message incomplet, défaut sur le médium,...)).

Les fonctions de contrôle-commande sont les suivantes :

- partage du capteur entre les équipements :
 - * affecter ressource vision
 - * libérer ressource vision
- fonctions liées à l'exécution d'un travail :
 - * initialiser tâche vision
 - * exécuter tâche vision
 - * abandonner tâche vision
 - * clore tâche vision.
- diagnostic , aide à la maintenance, contrôle à distance
 - * exécuter procédure d'auto-diagnostic
 - * abandonner procédure d'auto-diagnostic
 - * consulter / modifier variables d'états (état des tâches, liste des tâches opérationnelles) et de défauts.

3.2.3.2) Recherche de solutions et études de faisabilité

Un automatisme "classique", intégrant la commande d'actionneurs (vérin, moteur) et l'exploitation de capteurs (fin de course, codeurs,...) dont les comportements sont relativement bien définis, ne nécessite pas forcément la réalisation d'un prototype. Par contre, un capteur de vision est particulièrement sensible à son environnement et aux caractéristiques (de réflexion de lumière, morphologiques,...) des objets qu'il est censé qualifier; ceci implique de façon quasi-systématique une étude de faisabilité avec la mise en situation réelle du capteur (sur le site d'exploitation, ou sur une maquette reconstituant les conditions d'exploitation).

La fonction d'un capteur de vision est de se substituer à la perception visuelle humaine. Les difficultés sont nombreuses, ainsi que le souligne (MIC 88) :

"il faut saisir la difficulté de transférer un jugement subjectif, "impressionniste", de l'expert à la machine. La plupart des machines actuelles reposent sur une modélisation mathématique du réel : on fait correspondre au jugement humain un certain nombre de paramètres, géométriques en général, auxquels on assigne des valeurs - seuils déterminant acceptation ou rejet. Ce travail repose sur une analyse de données et l'habileté, l'intuition des experts..... Une autre difficulté est la langue, le jargon : chaque profession a le sien qu'il faut rendre intelligible à tous les partenaires de la création d'un système."

E. MORIN ("Connaissance de la connaissance") insiste sur les qualités de la perception visuelle humaine:

"l'important, c'est qu'à conditions égales, les transformations / codages opérées par l'opérateur humain de référence et celles que nous avons choisies d'opérer artificiellement aboutissent à un résultat identique reproductible; or la "boucle" perceptive humaine est :

- sélective : écarte les bruits,*
- additive : complète à partir de schémas préétablis,*
- corrective : rectifie e.g distance, forme apparente,*
- formative : se réfère à des cadres de reconnaissance,*
- constructive : cherche la cohérence,*
- traductrice : combinant des stimuli différents en un cadre cérébral commun".*

La notion de qualité est elle-même discutable (MIC 88) :

"il faut définir ce qu'est un défaut : c'est une lapalissade, mais on oublie que cette définition n'est pas évidente. Il ne faut d'ailleurs pas confondre "zéro-défauts" avec

*absence totale de défauts; ce serait plutôt "absence totale d'insatisfaction". c'est à dire zéro retour et zéro panne....., ce qui correspond à un **juste** niveau de qualité".*

Il n'est d'ailleurs pas possible d'apprécier la qualité dans l'absolu, il n'y a qualité que par rapport à des besoins et à des utilisateurs à satisfaire :

"la qualité est l'aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire les besoins des utilisateurs" (AFNOR NF X 50-120).

En résumé, ces réflexions nous mettent en garde envers :

- les difficultés de transcrire des "impressions humaines" en un formalisme compatible avec le rationalisme des machines informatiques actuelles,
- la facilité apparente de certains problèmes, résolus très facilement par l'être humain grâce à la qualité de sa perception visuelle,
- les difficultés à établir le juste niveau de qualité lors de la conception d'une machine de contrôle.

Lorsque l'étude de faisabilité est concluante, il se pose le problème de l'intégration du capteur dans l'automatisme.

Application

Les solutions technologiques et techniques proposées pour le contrôle d'usure d'une plaquette de tournage sont détaillées au chapitre 4. A ce stade de l'étude, nous nous sommes intéressés uniquement à la recherche d'une technologie susceptible de répondre besoin / procédé (c'est à dire au problème de mesure), sans nous préoccuper des besoins par rapport aux services, qui sont plus du ressort de la conception fonctionnelle de partie commande et donc traités à l'étape suivante. La recherche de solutions s'est déroulée chronologiquement de la manière suivante :

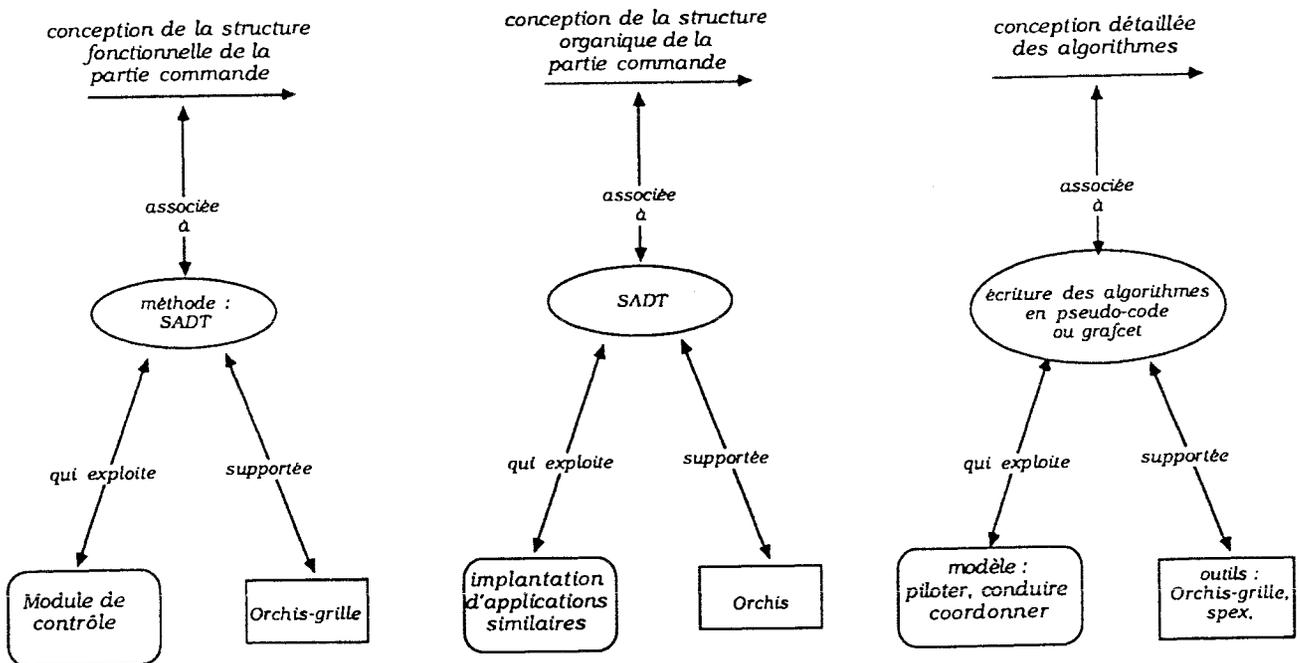
- la première idée fut d'utiliser une caméra linéaire fixée sur le bâti du tour et de déplacer la plaquette d'usinage sous le capteur; ce choix se justifiait par la grande résolution de ce type de capteur (notre caméra linéaire possède près de 3500 pixels). Le désavantage de cette solution était liée au principe d'acquisition d'images : plusieurs acquisitions sont nécessaires avec un repositionnement de la plaquette par rapport à la caméra entre chaque acquisition, d'où des problèmes de synchronisation entre le tour et le système de vision;
- des essais de faisabilité avec une caméra matricielle équipée d'un zoom macro furent concluants, sans toutefois nous permettre d'atteindre la précision requise (la largeur du champs observé était de l'ordre de 4mm et l'image présentait des déformations relativement importantes);
- une étude bibliographique sur le sujet nous fit découvrir une approche similaire effectuée par une équipe de recherche liée au CETIM. Une solution vision 2D fut donc retenue;

- nous avons sous-traité la réalisation d'une optique adaptée à des spécialistes du domaine.

3.2.4) Phase de Conception

La conception de la partie commande consiste à l'analyse complète et détaillée des tâches à programmer, en tenant compte des spécifications technologiques (quels moyens pour supporter les fonctions ?). L'analyse descendante rejoint à ce niveau l'analyse ascendante, afin d'intégrer des fonctions existantes, justifiant la notion de réutilisabilité évoquée au §1. La conception comprend donc trois étapes :

- **conception de la structure fonctionnelle de la partie commande** -> chaque activité de contrôle issue du SADT élaboré lors de la phase d'analyse donne naissance à une entité de contrôle, nommée "module de contrôle";
- **conception de la structure organique de la partie commande** -> restructuration des activités par la méthode SADT, en tenant compte des contraintes d'implantation (découpage en tâches et répartition sur différents processeurs), et intégration des fonctions pré-existantes (logiciel de reconnaissance de forme,...)
- **conception détaillée des algorithmes** (en pseudo-code, grafcet, ...);



3.2.4.1) Conception de la structure fonctionnelle de la partie commande

Afin d'homogénéiser la structure de la commande, chaque activité de contrôle s'organise selon trois sous-activités (piloter, conduire, coordonner), constituant ainsi un module de contrôle. La partie commande d'un système est assimilable à une association

hiérarchique de modules de contrôle, structurés de façon identique, quelque soit les ressources qui les supportent (calculateur, API, Commande numérique) (figure 19)

Un module de contrôle s'intègre dans son environnement de la façon suivante :

- *Piloter* joue le rôle d'interface avec le niveau supérieur,
- *Conduire* permet l'interface entre l'opérateur et l'activité, au niveau de contrôle considéré,
- *Coordonner* assure la commande des activités opératives, c'est à dire l'interface avec le niveau inférieur.

Le module Piloter

Afin de conférer à chaque module de commande une certaine autonomie, nous associons à l'activité piloter les rôles suivants :

- ***filtrage des échanges d'informations*** : les demandes et comptes-rendus échangés avec le ou les modules "clients", qui requièrent les services de l'activité ne sont pas forcément cohérents tant d'un point de vue syntaxique que sémantique; il est à noter que ces demandes appartiennent à l'une des classes suivantes :

- * demandes d'affectation ou de libération d'une ressource,
- * demandes associées à une tâche à effectuer : demande d'initialisation ou de clôture, d'exécution ou d'abandon, de suspension ou de reprise d'une tâche,
- * demandes associées à une acquisition d'informations ou à un forçage de variable;

D'autre part, les résultats des travaux effectués par l'activité ne sont pas forcément significatifs notamment en cas de défaillance. Piloter joue donc un rôle de filtre de façon à :

- * détecter des demandes incohérentes,
- * détecter des résultats non significatifs.

- ***optimisation des moyens (ou choix d'une stratégie de réalisation de la mission)*** : les demandes, notamment celles associées à la gestion des tâches, sont considérées comme des missions à accomplir par le module de commande. Celui-ci choisi parmi les différentes stratégies possibles et en fonction des moyens disponibles la plus adaptée à répondre à l'objectif. Il est possible qu'aucune stratégie ne soit applicable si les moyens requis ne sont pas en état de fonctionnement (hors-service). L'état courant des moyens (ressources) est tenu à jour en permanence; une demande d'initialisation d'un module de contrôle pour une tâche donnée permet au module demandeur de savoir si le système est en mesure de l'effectuer.

- ***appel au module Coordonner*** : l'exécution de l'algorithme associé à la stratégie de commande est effectuée par le module *Coordonner*.

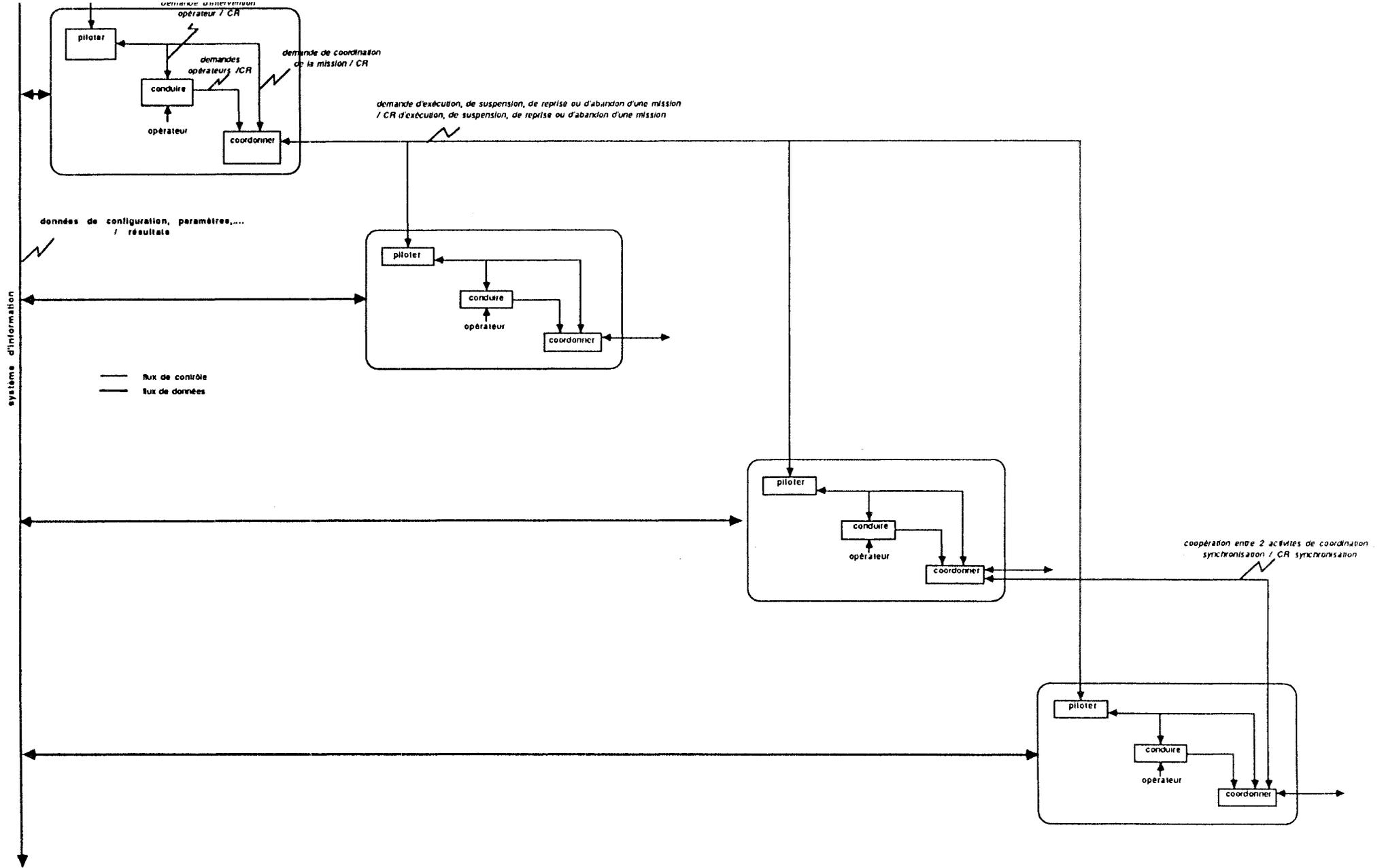


figure 19 : D'un point de vue fonctionnel, la partie commande est assimilable à une association hiérarchique de modules de contrôle

- **traitement des exceptions** : si le déroulement génère une défaillance ou si les résultats de l'activité ne répondent pas aux objectifs initiaux, un algorithme de traitement des exceptions, supporté par le module Piloter, recherche alors l'origine de la défaillance (diagnostic), puis tente d'y remédier (correction);

Le module Conduire

Le module conduire offre à l'opérateur de conduite un accès à chaque niveau de commande. Les opérations de conduite, effectuées à l'initiative de l'opérateur ou à l'initiative du système, sont de trois types : **informer, consulter et solliciter une intervention** (figure 20).

Par exemple, en cas de difficultés (problèmes d'interprétation des résultats,...), le module piloter peut solliciter et éventuellement guider une intervention opérateur en émettant un certain nombre de propositions de conduite. Il est alors possible :

- d'effectuer un diagnostic sur l'état du système,
- de corriger le défaut (téléchargement d'un fichier manquant à partir du SGBD, réglage d'un seuil,...),
- de se substituer au capteur pour boucler le contrôle du procédé. (c'est à dire au module coordonner) par un fonctionnement en mode semi-automatique (par des choix opérateurs en réponse aux propositions du module *piloter*, ou en contrôlant directement le module *coordonner*).

opération à l'initiative du système	<p>le système informe l'opérateur</p> <p>ex : émission d'un message indiquant la détection d'une dérive</p>	<p>le système consulte l'opérateur</p> <p>ex : aide à la décision (lors d'une opération de diagnostic, demande d'informations observables par l'opérateur)</p>	<p>le système sollicite une intervention opérateur</p> <p>ex : par une procédure d'auto-diagnostic, le système a détecté un défaut d'éclairage; il émet une demande à l'opérateur pour remédier au défaut</p>
opération à l'initiative de l'opérateur de conduite	<p>l'opérateur informe le système</p> <p>ex : modification de la configuration</p>	<p>l'opérateur consulte l'état du système</p> <p>ex : visualisation d'un mot de défaut</p>	<p>l'opérateur sollicite un travail de la part du système</p> <p>ex : exécution d'une tâche vision, lancement d'une procédure d'auto-diagnostic</p>

figure 20 : Les opérations de conduite

Le module Coordonner

Le module coordonner séquence les traitements associées à la stratégie retenue en émettant des ordres aux modules "opérer"; il effectue une surveillance du comportement des modules opératifs par :

- l'analyse du déroulement de chaque opération : analyse des comptes-rendu et du temps d'exécution (détection de dépassement d'un "time-out"),
- l'évaluation des résultats.

En cas de problème, un traitement d'exception interrompt l'exécution des traitements, et exécute éventuellement une procédure d'urgence surtout si le défaut met en jeu la sécurité des personnes ou des matériels.

Coordination entre modules

Peu d'ordres sont nécessaires à la coordination des différents modules de contrôle. Nous présentons (figure ..) les principaux :

- partage de ressources communes :
 - * affecter_ressource_à (référence_client)
 - * libérer_ressource_de (référence_client)
- exécution d'une tâche :
 - * initialiser_tâche (référence_client, référence_tâche, liste_paramètres)
 - * clore_tâche (référence_client, référence_tâche)
 - * exécuter_tâche (référence_client, référence_tâche, liste_paramètres)
 - * abandonner_tâche (référence_client, référence_tâche)
 - * suspendre_tâche (référence_client, référence_tâche)
 - * reprendre_tâche (référence_client, référence_tâche)
- acquisition ou forçage d'informations :
 - * lire_etat_tache (référence-client, référence-tache)
 - * lire_valeur-variable (référence-client, référence-tache)
 - * modifier-valeur_variable (référence-client, référence-tache)

et leur compte-rendus associés :

- CR_demande_incorrecte
- CR_acquitement_demande
- CR_module_affecte
- CR_module_indisponible
- CR_defaut_affectation
- CR_module_libéré
- CR_defaut_libération
- etc...

3.2.4.2) Conception de la structure organique de l'automatisme : *Architecture coordonnée ou coopérante ?*

Le modèle fonctionnel SADT (figure 17) est dérivé pour prendre en compte les contraintes d'implémentation. La structuration *coordonnée*, issue de l'analyse fonctionnelle, ne suffit pas à répondre à l'ensemble des besoins en contrôle-commande. Dans le cas d'une organisation *iso-archique (ou coopérante)*, plusieurs processus coopèrent sans le contrôle direct d'un module de coordination. C'est par exemple le cas lorsqu'un driver de communication (sous interruption) collabore avec une tâche application; ces deux processus évoluent de façon asynchrone et se synchronisent uniquement par l'échange de messages via des boîtes aux lettres. Une architecture coopérante est également bien adaptée à la gestion des ressources partagées. C'est ainsi qu'un capteur de vision partagé par un robot et une MOCN est vue comme une entité propre, intégrant son comportement et ses données, et coopérant à un instant donné avec le client auquel il est affecté.

En d'autres termes, nous préconisons d'un point de vue fonctionnel une organisation *hiérarchique ou coordonnée* de la commande pour des raisons de simplicité, susceptible d'un point de vue organique, de donner lieu à une architecture *coopérante*.

application

Le processus de contrôle "*qualifier un outil de tournage*" met en jeu l'architecture présentée figure 21. Les activités de contrôle sont implantées de la façon suivante :

- les activités *contrôler le contrôle de l'outil, contrôler la préparation / clôture de l'outil* sont supportées par le tour;
- les activités *contrôler la qualification (TACHE 1), contrôler la communication (DRIVER DE COMMUNICATION) et contrôler la mesure (TACHE 2)* et les activités de niveau inférieur telles que *contrôler l'identification et contrôler la mesure de l'usure plaquette* sont supportées par le PC-vision.

Le DRIVER DE COMMUNICATION et la TACHE 1 restent actifs, tandis que l'exécution de la TACHE 2 est coordonnée par la tâche 1 en fonction des demandes.

L'implantation sous formes de tâches facilite l'exploitation du capteur, les fonctionnalités de mesure (intégration / au procédé) et de services (intégration / à l'exploitation) évoquées précédemment étant découplées :

- la tâche *mesurer* traite de la mesure
- la tâche *contrôler la qualification* supporte l'ensemble des services (contrôle à distance par l'opérateur de conduite, ...)

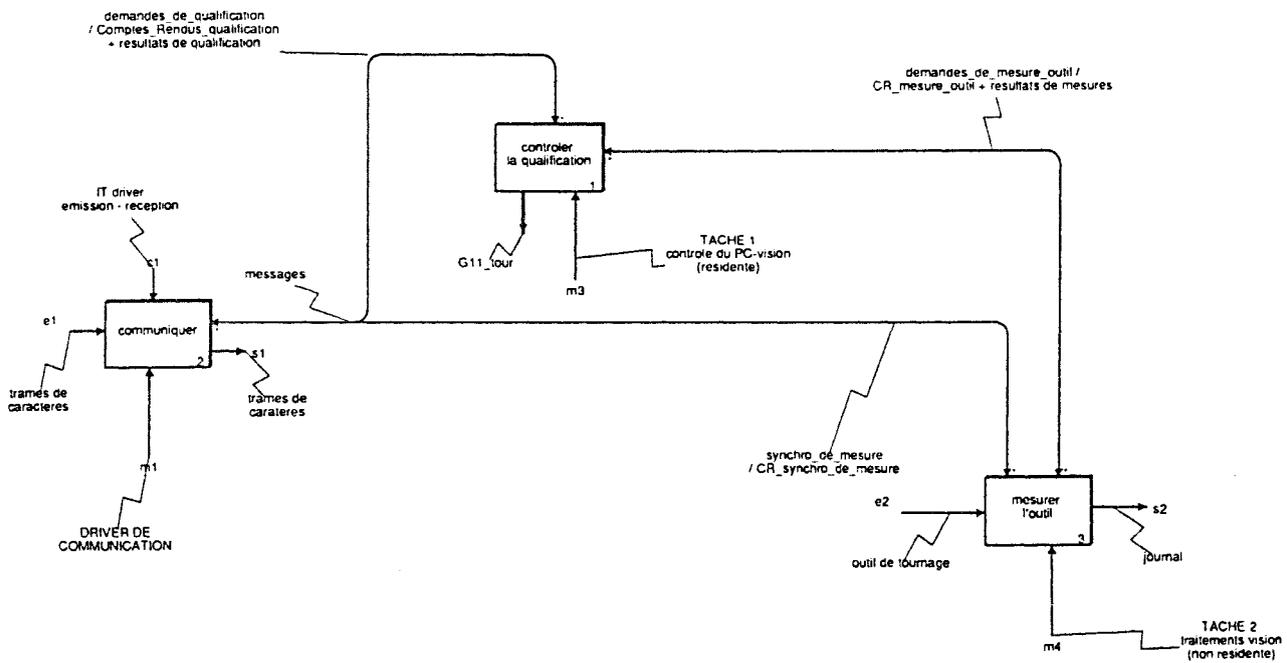
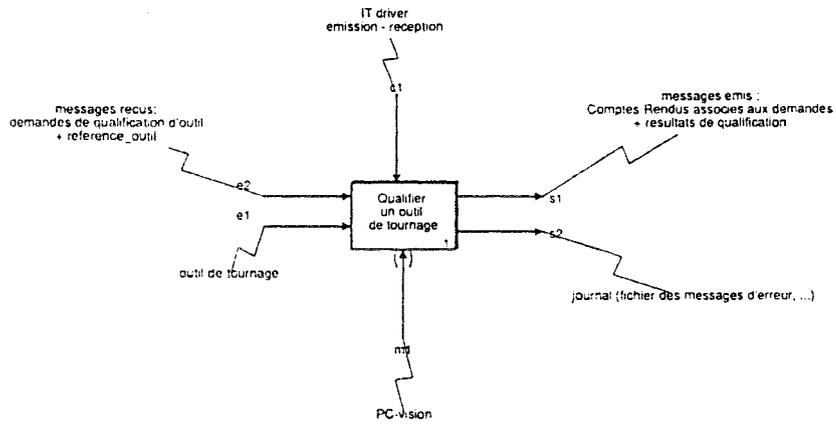


figure 21 : Structuration organique des tâches sur le PC_vision

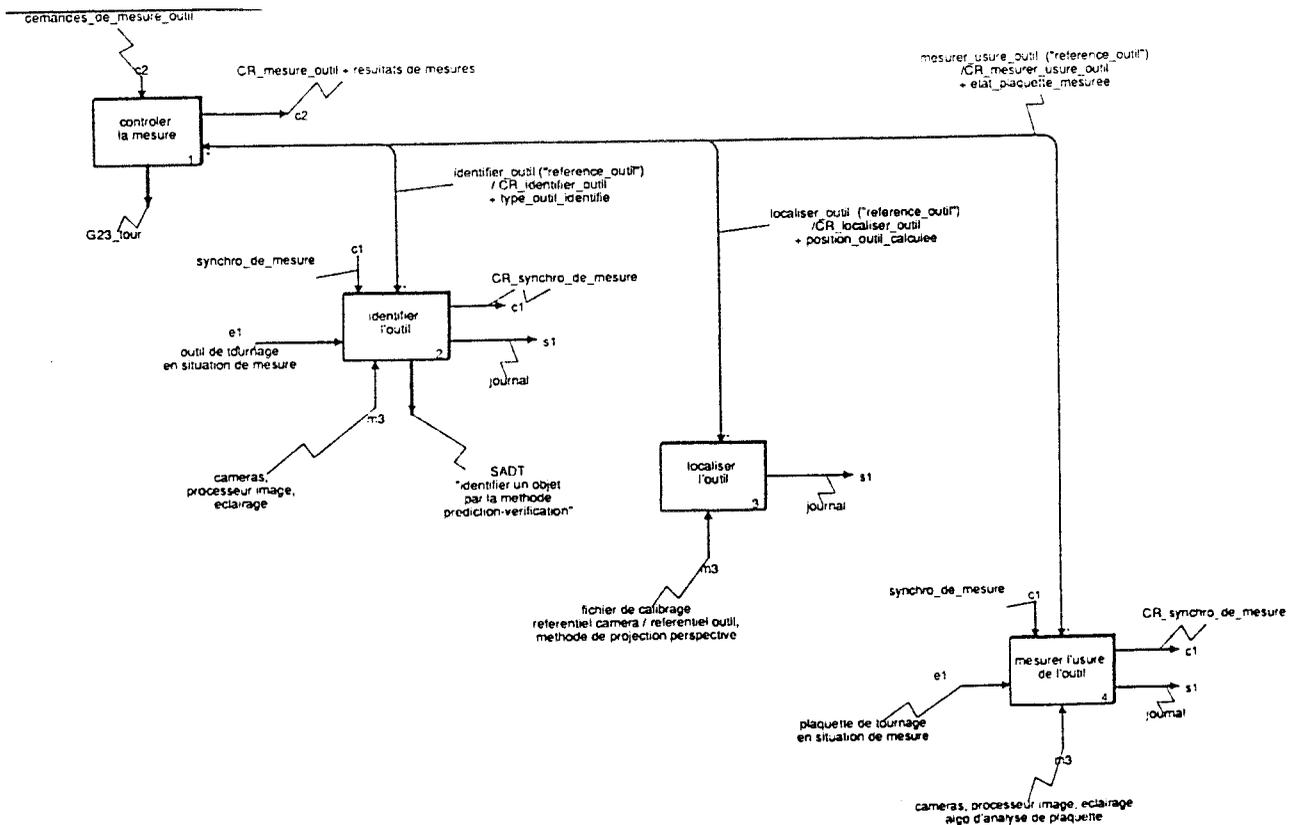


figure 21 : Structuration organique des tâches sur le PC-vision (suite)

3.2.4.3) Conception détaillée des algorithmes

La figure 22 synthétise l'organisation que nous proposons pour les modules de contrôle. Cette architecture répond aux besoins exprimés, dans la mesure où elle intègre les notions :

- d'auto-surveillance (modules surveiller et réagir, évaluation des résultats)
- d'auto-diagnostic (module de traitement des exceptions)
- d'auto-adaptativité (choix d'une stratégie et optimisation de ses conditions d'application)
- d'aide à la maintenance prédictive (surveillance des dérives des mesures au cours du temps).

Application

La figure 23 présente un extrait des algorithmes associés au module "contrôler la qualification". Pour chaque module, on explicite les demandes reçues et les comptes-rendus émis aux niveaux (fonctionnellement) supérieurs et inférieurs. La conception des algorithmes est réalisée en pseudo-code pour les langages évolués, et en grafset pour les programmes automate.

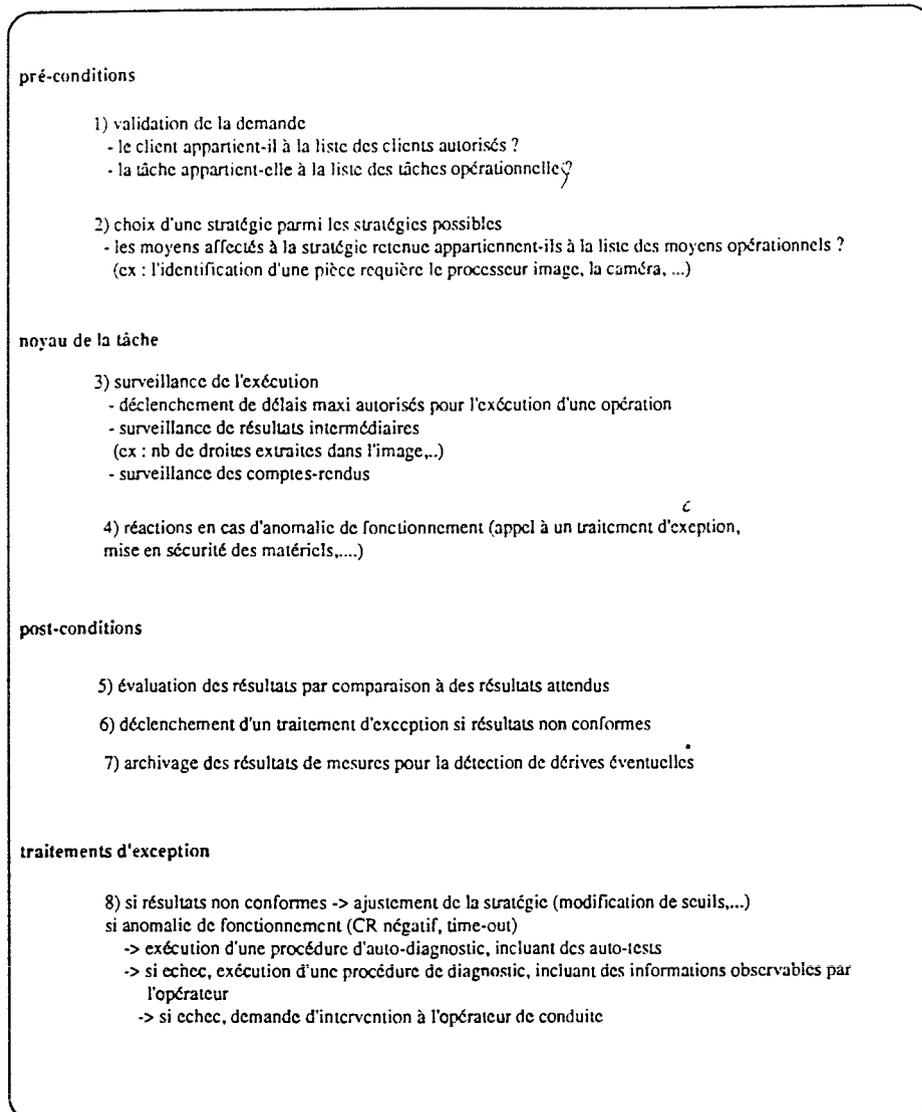


figure 22: Fonctionnement global d'un module de contrôle

```

module "CONTROLLER LA QUALIFICATION"

..... ACTIVITE PILOTER LA QUALIFICATION .....

Demandes admissibles :
1) affecter_ressource_a (reference_client) avec reference_client possibles : "TOUR_V100N", "MONTAGE_USINAGE", "ROBOT-INDUSTRIA"
2) liberer_ressource_de (reference_client)
3) initialiser_tache (reference_client, reference_tache, liste_parametres) /* non en service actuellement */
4) clore_tache (reference_client, reference_tache) /* non en service actuellement */
5) executer_tache (reference_client, reference_tache, liste_parametres) avec reference_tache possibles : "QUALIFIER_OUTIL_TOURNAGE".
6) abandonner_tache (reference_client, reference_tache)

.....

algorithme principal associe a piloter_la_qualification

tant que (vrai) /* attente de reception de message */
{
  si (CR = recevoir_message_TOUR_V100N (message) == ok) traiter_message (message);
  si (CR = recevoir_message_MONTAGE_USINAGE (message) == ok) traiter_message (message);
  si (CR = recevoir_message_ROBOT_INDUSTRIA (message) == ok) traiter_message (message);
}

.....

algorithme associe a recevoir_message_TOUR_V100N (message);

reference_client = TOUR_V100N;
..... a completer selon le type de liaison .....

.....

algorithme associe a traiter_message (message);

/* on traite le message reçu */
/* un message d'un client se compose d'une commande tel que "AFFECTER_RESSOURCES_A", "EXECUTER_TACHE" et de parametres
tel que "MESURER_OUTIL_TOURNAGE"
selon (message.commande) faire

cas ("AFFECTER_RESSOURCES_A")
{
  reference_client = message.liste_parametre[1];
  si (appartient(reference_client, liste_des_clients_possibles) == ok) alors affecter_ressource_a (reference_client);
}

cas ("LIBERER_RESSOURCE_DE")
{
  reference_client = message.liste_parametre[1];
  si (appartient(reference_client, liste_des_clients_possibles) == ok) alors liberer_ressource_de (reference_client);
}

cas ("EXECUTER_TACHE")
{
  reference_client = message.liste_parametre[1];
  reference_tache = message.liste_parametre[2];
  si (ressource_affectee_a != reference_client) alors { emettre(reference_client, CR_demande_incoherente); exit; } fin;
  si (appartient(reference_tache, liste_des_taches_possibles) != ok) alors { emettre (reference_client, CR_tache_hors-service); exit; } fin;
  executer_tache (reference_tache);
}

cas ("ABANDONNER_TACHE")
{
  reference_client = message.liste_parametre[1];
  reference_tache = message.liste_parametre[2];
  si (ressource_affectee_a != reference_client) alors { emettre(reference_client, CR_demande_incoherente); exit; } fin;
  si (appartient(reference_tache, liste_des_taches_possibles) != ok) alors { emettre (reference_client, CR_tache_hors-service); exit; } fin;
  abandonner_tache (reference_tache);
}

```

figure 23 : Extrait des algorithmes de commande en pseudo-code

```

..... ACTIVITE COORDONNER LA QUALIFICATION .....
-----
algorithme associe a demande : affecter_ressource_a (reference_client);
si (etat_module == libre) alors etat_module = affecte;
    ressource affectee a = reference_client;
    emettre CR_module_affecte;
sinon emettre CR_module_indisponible;
finsi;
CR_coordonner_la_qualification = ok;

-----
liberer_module_de (reference_client);
si (etat_module == affecte) alors
    si (emetteur_demande == client) alors
        etat_module = libre;
        client = nul;
        emettre CR_module_libre;
        sinon
            emettre CR_demande_incoherente;
finsi;
    sinon
        emettre CR_demande_incoherente;
finsi;
CR_coordonner_la_qualification = ok;

-----
algorithme associe a demande : executer (reference_tache)

/* cette activite arme la tache vision en fonction de reference_tache */
/* si l'activation de la tache se passe correctement, on emet un CR_coordonner_la_qualification = ok, ce qui ne signifie pas que la tache est terminee mais
qu'elle est seulement activee correctement ;
la fin d'execution de la tache provoque l'emission d'un signal (equivalent a une IT soft) qui permet d'emettre un CR de fin de tache ok */

si (reference_tache == "MESURER_OUTIL") alors /* filtrage de la demande */
    { reference_outil = message.liste_parametres[3]; /* acquisition de la reference_outil */
    si (CR = armer_tache (reference_tache, reference_outil) == ok) alors /* execution de la mesure */
        CR_coordonner_la_qualification = ok;
        sinon
            { emettre_message( journal, "impossible d'executer la tache " reference_tache);
              CR_coordonner_la_qualification = /ok;
            }
    }
finsi;
}
finsi;
;

-----
algorithme associe a demande : abandonner (reference_tache)

si ( reference_tache == tache_en_cours) alors
    si( CR = abandon_coordonner_mesure_outil == ok) alors
        emettre CR_abandon_ok (reference_tache);
        sinon
            emettre CR_default_abandon (reference_tache);

finsi;
    sinon
        emettre CR_demande_incoherente;
finsi;
CR_coordonner_la_qualification = ok;

-----
algorithme associe au signal actif lors d'une fin de tache vision

/* la tache vision s'est desactivee; en fonction du parametre de fin de tache (CR_fin_tache_vision) */

si ( CR_fin_tache_vision == ok ) alors emettre CR_execution_ok (reference_client, reference_tache) /* il faut egalement emettre les resultats */
sinon emettre CR_default_execution (reference_client, reference_tache);
-----

```

figure 22 : Extrait des algorithmes de commande en pseudo-code (suite)

3.2.5) Phase de codage

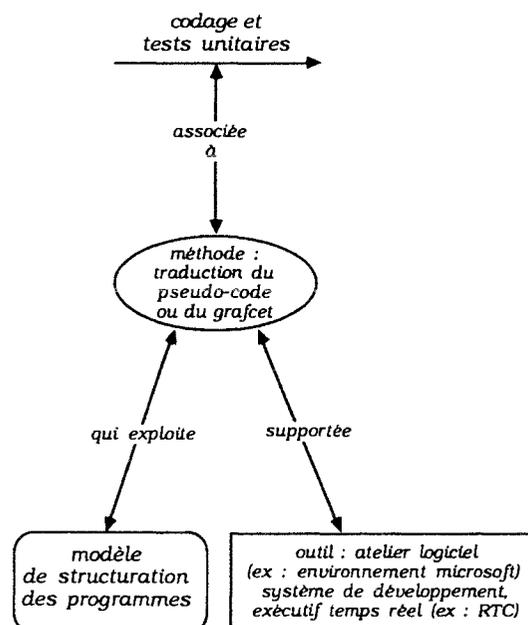
Pour la génération de code automate, nous utilisons la CAO grafcet CADEPA. Les programmes vision ont été développés sur HP1000 et IBM-PC selon les applications, en langage FORTRAN dans un premier temps, puis en langage C. Sur IBM-PC, nous exploitons l'environnement de développement MICROSOFT.

Les problèmes rencontrés furent les suivants :

- difficultés de porter les applications d'un ordinateur à l'autre, liées à des différences d'implantation des langages (surtout au niveau des extensions) et de gestion des entrées-sorties;
- difficultés de mettre au point les programmes (CODEVIEW, le debugger symbolique est très convivial mais ne permet pas le débogage de programmes importants du fait de la limite des 640Ko imposée par MS-DOS);
- difficultés de gérer les différentes versions de programme.

Nous formulons donc les recommandations suivantes :

- si le PC est une machine intéressante pour la visionique (prix peu élevé, grande variété de cartes de numérisation,...), il ne faut pas oublier que le système d'exploitation MS-DOS est peu adéquat (taille mémoire limitée, système mono-tâche);
- il importe de disposer d'outils de développements performants (debugger, gestionnaire de versions (surtout dans une perspective de réutilisation de modules logiciels));
- il est capital de respecter une bonne structuration des traitements vision (confère la structuration en couches proposée par (AZA 87));
- il est souhaitable de relayer les fonctions d'entrées-sortie du langage (du type printf, scanf, setpix,...) par des fonctions d'entrée-sortie utilisateur (du type lire, écrire, afficher-pixel,...), de façon à être indépendant du système.



4) Le traitement des dysfonctionnements

4.1) Détection de dysfonctionnements et réaction sur le procédé

4.1.1) Principe

(SVA 89) définit les notions de défaut, faute, panne et erreur :

- un **défaut** est une anomalie liée à la structure du système, indépendamment de son utilisation; le système passe ainsi d'un état normal à un état anormal, ce qui remet en cause l'exécution de certaines missions;
- une **faute** est une anomalie liée à l'utilisation du système;
- une **panne** est le résultat d'un défaut ou d'une faute critique qui interdit l'utilisation du système;
- une **erreur** est liée à l'utilisation d'une information éronée, suite à un défaut ou une faute non détectée.

La surveillance a pour objet la détection d'anomalies (défauts ou fautes) en vue d'éviter des erreurs.

(LHO 85) décompose l'activité **Coordonner** en trois fonctions principales :

- **Surveiller** : qui détecte et localise des anomalies (défauts ou fautes) sur les opérations de fabrication et sur certaines décisions non compatibles avec l'état des opérations en cours;
- **Réagir** : qui permet la sélection de tel ou tel mode de fonctionnement pour le système automatisé (ou une partie du système) en fonction de décisions opérateurs ou de défauts graves détectés. Cette activité réalise le calcul, à partir de demandes opérateurs et/ou d'états de surveillance et de l'état courant du système, d'un mode de fonctionnement à appliquer à l'installation, ce fonctionnement étant traduit par l'activité *Commander*;
- **Commander** : qui réalise l'enchaînement effectif des opérations dans le mode de fonctionnement courant par envoi de demandes d'opérations et acquisition de données (comptes-rendus et résultats).

La surveillance du comportement des modules opératifs par l'activité *Coordonner* revêt diverses formes, fonction du ou des processeurs cibles qui supportent l'activité.

4.1.2) implantation de l'activité *coordonner* sur un Automate Programmable industriel (API)

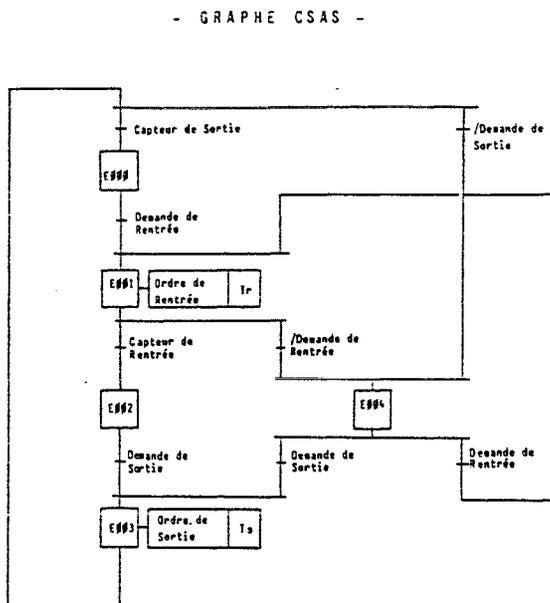
application à un actionneur de type vérin bistable

La figure 24 présente l'application de ces méthodes de structuration à la commande d'un actionneur de type vérin bistable. Le processeur cible étant un API, les modèles **commander** et **réagir** sont présentés sous forme de grafcet, tandis que la fonction **surveiller** s'exprime sous forme d'un combinatoire. Les anomalies détectées sont de trois types :

- *anomalies de comportement* (fautes) par rapport au mode d'utilisation (le sas n'est pas fermé alors que le tour est utilisé en mode "libre", ce qui correspond à une utilisation en mode local par un opérateur)
- *anomalies statiques* (défauts), correspondant à une incohérence de l'état observé (présence simultanée du capteur de rentrée et du capteur de sortie)
- *anomalies dynamiques* (fautes), correspondant à une incohérence d'évolution décelée par un dépassement de temporisation (time-out).

Le module réagir assure :

- d'une part, une réaction locale par l'inhibition du pupitre de commande en cas de défaut,
- d'autre part, l'initialisation du graphe associé à l'activité commander et la remise à zéro des défauts.



* ETAPES :

E000 : sas en position fermée
 E001 : sas en cours d'ouverture
 E002 : sas en position ouverte
 E003 : sas en cours de fermeture
 E004 : sas en position semi-ouverte

Remarque : Le distributeur étant en configuration "Point Milieu Libre", lorsque les étapes E000, E002 ou E004 sont actives, le vérin sas n'est plus maintenu en pression.

* TRANSITIONS :

-Capteur de sortie : information venant du capteur de fin de course M213
 -Capteur de rentrée : information venant du capteur de fin de course M214
 -Demande de sortie : information pouvant provenir du MIP (ordre de fermeture du sas) ou du Pupitre de conduite (BP fermeture) suivant l'état de "Inhibition Conduite"
 -Demande de rentrée : information pouvant provenir du MIP (ordre d'ouverture du sas) ou du Pupitre de conduite (BP ouverture) suivant l'état de "Inhibition Conduite"

* AFFECTATIONS :

-Ordre de rentrée : Sortie de l'automate vers le distributeur M211
 -Ordre de sortie : Sortie de l'automate vers le distributeur M211

* TEMPORISATIONS :

- Ts : Durée maximale entre l'instant initial d'activation et l'enclenchement du capteur de sortie
 - Tr : Durée maximale entre l'instant initial d'activation et l'enclenchement du capteur de rentrée

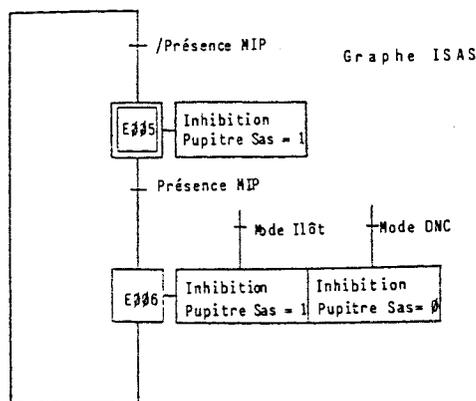
- 1 EQUATIONS DE DETECTION DE DEFAUTS SUR L'UNITE SAS :
- DEF0 = XE005 ./XE000
 DEF1 = XE000 ./Capteur de Sortie
 DEF2 = XE002 ./Capteur de Rentrée
 DEF3 = XE000 . Capteur de Sortie . Capteur de Rentrée
 DEF4 = XE002 . Capteur de Rentrée . Capteur de Sortie
 DEF5 = Tr . /Capteur de Sortie
 DEF6 = Ts . /Capteur de Rentrée
 DEF7 = Tr . Capteur de Sortie
 DEF8 = Ts . Capteur de Rentrée
- DEFAULT GENERAL UNITE SAS :
- DEFSAS = DEF0+DEF1+DEF2+DEF3+DEF4+DEF5+DEF6+DEF7+DEF8
- 2 CALCUL DE "APPEL MIP" :
- Appel MIP = \uparrow XE000 + \uparrow XE002 + \uparrow DEFSAS
- 3 SIGNALISATION PUPITRE :
- Voyant Sas Ouvert = XE002
 Voyant Sas Fermé = XE000
 Voyant Défaut Tour = DEFSAS

Le sas n'est pas fermé alors que le tour utilisé en mode "LIBRE" (MIP déconnecté) Déclenchement intempestif du Capteur de Sortie (=0)
 Déclenchement intempestif du Capteur de Rentrée (=0)
 Enclenchement intempestif du Capteur de Rentrée (=1)
 Enclenchement intempestif du Capteur de Sortie (=1)
 Capteur de Rentrée défaillant (=0)
 Capteur de Sortie défaillant (=0)
 Action de Rentrée défaillante
 Action de Sortie défaillante

Défaut Unité SAS

Appel MIP pour Compte-Rendu ou Défaut

1 CALCUL DE L'INHIBITION CONDUITE (Pupitre Sas) :



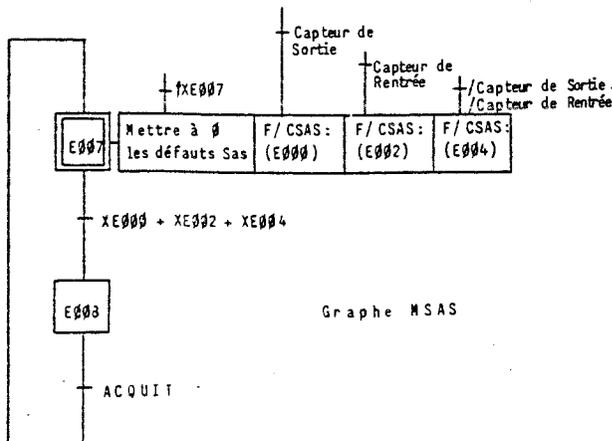
* ETAPES :

E005 : le MIP est déconnecté; l'inhibition du pupitre sas est active (l'accès aux BP n'est pas autorisé)
 E006 : le MIP est connecté à l'API; l'inhibition du pupitre sas est déterminée par le mode d'utilisation (Ilôt ou DNC)

* TRANSITIONS :

Présence MIP : la présence MIP est déterminée par lecture d'un mot mémoire API rafraîchi régulièrement par le MIP (toutes les 2 s)

2 MODES DE COMPORTEMENT DU MODELE DE COMMANDE :



* ETAPES :

E007 : Initialisation du modèle de commande et Remise à Zéro des défauts
 E008 : Modèle de commande du sas "actif"

* TRANSITIONS :

XE000+XE002+XE004 : Modèle sas initialisé
 ACQUIT : information venant du MIP, Demande d'acquiescement des défauts sas (nécessité de réinitialisation du modèle)

* AFFECTATIONS : (**)

F/CSAS:(E000) : Forçage de l'étape E000 du graphe CSAS
 F/CSAS:(E002) : Forçage de l'étape E002 du graphe CSAS
 F/CSAS:(E004) : Forçage de l'étape E004 du graphe CSAS

(**) La notation "F/CSAS:(Exxx)", ordre de forçage de situation d'un graphe, est introduite dans le projet d'évolution de la norme GRAFCET en /ADE-85/

figure 24 : Les fonctions commander, surveiller et réagir dans une implantation API

4.1.3) implantation de l'activité *coordonner* sur un ordinateur

cas d'une implantation "mono-tâche"

La figure 25 présente la fonction *coordonner la mesure*. Les fonctions *surveiller*, *réagir* et *commander* appartiennent à une même procédure :

- **commander** séquence les appels aux fonctions opératives identifier, localiser et mesurer l'outil; il s'agit de simples appels de procédures;
- **surveiller** consiste d'une part à tester systématiquement les Comptes-rendus renvoyés par ces opérations, et d'autre part à évaluer les résultats (test du seuil de probabilité d'identification de l'outil...)
- en cas de défaut, **réagir** sauvegarde le contexte dans un fichier journal, accessible pour une opération de diagnostic, et abandonne la procédure en cours en émettant un CR négatif à la procédure appelante.

```

..... ACTIVITE COORDONNER LA MESURE .....
.....
algorithme associe a demande : coordonner_mesure_outil ("reference_outil");

si (CR = identifier_outil (reference_outil, type_outil_identifie, probalibite_identification) /= ok) alors /* identification de la piece avec surveillance du
compte-rendu */
    emettre_message (journal, "defaut lors de l'identification de la plaquette");
    CR_coordonner_mesure_outil = default_identification;
    exit;
finsi;
si ((type_outil_identifie == reference_outil) et (probalibite_identification >= seuil_identification (reference_outil)) alors /* evaluation des resultats d'identification
*/
    si (CR = localiser_outil (reference_outil, position_mesuree) /= ok) alors /* localisation de la piece avec surveillance du compte-rendu */
        emettre_message (journal, "defaut lors de la localisation de la plaquette");
        CR_coordonner_mesure_outil = default_localisation;
        exit;
    finsi;
    si ((position_outil_mesuree - position_outil_attendue) <= ecart_tolere) alors /* evaluation des resultats de localisation */
        si (CR = mesurer_plaquette (reference_outil, liste_resultats_mesures_plaquette) /= ok) alors /* mesure de la plaquette avec surveillance du
compte-rendu */
            emettre_message (journal, "defaut lors de la mesure de la plaquette");
            CR_coordonner_mesure_outil = default_localisation;
            exit;
        finsi;
        CR_coordonner_mesure = ok; /* il faudrait egalement verifier les resultats de mesure de l'usure de la plaquette */
        sinon
            CR_coordonner_mesure_outil = default_resultats_localisation; /* le resultat de la localisation de l'outil est incorrect */
        finsi;
        sinon
            CR_coordonner_mesure_outil = default_resultats_identification; /* le resultat de l'identification de l'outil est incorrect */
        finsi;
.....

```

figure 25 : Les fonctions *commander*, *surveiller* et *réagir* dans une implantation mono-tâche

cas d'une implantation "multi-tâches"

La tâche *contrôler la qualification* exploite les services de la tâche *contrôler la mesure*.

Coordonner la qualification se décompose selon :

- **commander**, qui active ou désactive la tâche contrôler la mesure selon les demandes *exécuter(référence_tâche)* ou *abandonner(référence_tâche)*, ;

- **surveiller**, qui consiste à :

* tester systématiquement les Comptes-rendus renvoyés par la tâche 2,

* évaluer les résultats en fonction de l'objectif initial,

* détecter un temps d'exécution de la tâche supérieur à un seuil pré-déterminé;

- **réagir**, qui, en cas de *fautes*, sauvegarde le contexte dans un fichier journal, éventuellement désactive la tâche de mesure (en cas de time-out), et interrompt l'exécution de l'algorithme de coordination en cours en emettant un CR négatif à la procédure appelante.

Cette surveillance concerne la détection de **fautes**, c'est à dire d'anomalies suite à une requête d'utilisation. Il serait souhaitable de déceler également l'apparition de **défauts** (hors utilisation). Dans la mesure où le PC-vision risque de ne pas être sollicité en permanence, il est possible d'effectuer de manière cyclique des traitements vision non sollicités, afin de vérifier son bon fonctionnement. Par exemple, une acquisition d'image valide la disponibilité du senseur.

4.2) Diagnostic et correction de dysfonctionnements

4.2.1) Notre approche du problème de diagnostic

Les systèmes experts de diagnostic

Quelques générateurs de systèmes experts, tel DIAGNEX de la société ITMI, sont destinés à la réalisation d'applications d'aide au diagnostic. Ils ont pour objectif *"d'assister le personnel exploitant dans l'interprétation de symptômes de dysfonctionnement, et d'aider les agents de maintenance dans la recherche des causes de ces dysfonctionnements"* (DIA 89).

Ces systèmes exploitent une stratégie fortement déductive et ensembliste (l'application est considérée dans son ensemble) ce qui présente un réel intérêt si les symptômes d'un dysfonctionnement sont très "éloignés" des causes premières, le terme "éloignés" étant pris sous deux sens :

- le symptôme a pour origine une défaillance non détectée, qui s'est "propagée" à travers le système de fabrication, entraînant une série de "faux" dysfonctionnements rendant le diagnostic plus complexe,

- le symptôme a pour origine une combinaison simultanées de défaillances non directement liées.

Un système en mesure de résoudre ce genre de problèmes joue vraiment son rôle d'expert, et présente un intérêt indiscutable pour les opérateurs d'exploitation ou de maintenance.

En contre-partie, la mise au point des modèles et de la stratégie de diagnostic reste très délicate et requière une réelle expertise de l'installation. Une cellule flexible présente à ce sujet une réelle complexité, dans la mesure où elle a pour particularités :

- d'être souvent reconfigurée, d'où de fréquentes modifications du modèle de diagnostic,
- d'intégrer des matériels très hétérogènes, ce qui nécessite des règles de causalité (confère diagramme causes-effets) spécifiques aux différents métiers.

De plus, des défaillances élémentaires (tel un capteur de fin de course "collé" à 1) ne nécessitent pas l'utilisation de méthodes déductives sophistiquées si elles sont détectées "au plus tôt". (LHO 85) a montré qu'une simple structure arborescente de recherche de pannes offre une aide efficace à un opérateur de maintenance.

Notre approche

En conséquence, notre approche du problème de diagnostic est complémentaire de l'approche type système expert évoquée précédemment; nous proposons :

- la surveillance des fonctions les plus élémentaires par l'adjonction de *filtres de comportement* (tels que ceux présentés au paragraphe précédent), afin de déceler "au plus tôt" des anomalies de fonctionnement; il est à noter que ceci ne permet en principe qu'une localisation grossière du défaut;
- l'intégration à l'architecture de commande de *procédures d'auto-diagnostic*, afin d'accroître l'autonomie de notre système, d'en faciliter l'exploitation, et de réduire les temps de maintenance.

4.2.3) Conception d'une procédure de diagnostic

Les dysfonctionnements d'un système automatisé ont pour origine :

- soit des pannes matérielles,
- soit des actions opérateurs,
- soit des événements liés à l'environnement de l'installation.

(COR 84) remarque que la répartition géographique des pannes survenant dans une installation automatisée met en évidence que le taux de défaillance relatif à un automate programmable industriel est très faible par rapport à celui de la partie opérative commandée. Nous ne possédons pas de données statistiques concernant la fiabilité des systèmes de VO, mais il est raisonnable de penser que les dysfonctionnements sont plus liés à l'environnement du capteur (variations des conditions d'éclairage, présence de copeaux d'usinage, projections de lubrifiant,...) et au senseur lui-même (dérive de la caméra, obstruction de l'objectif, vibrations, parasites,...) qu'au processeur image.

Un dysfonctionnement se traduit par des symptômes externes (sonores, visuels,...) et / ou internes (informations mesurables sur l'installation).

Le diagnostic d'un dysfonctionnement consiste à la recherche de sa ou de ses causes premières. Nous proposons la démarche suivante (cf annexe 2) :

- recherche des dysfonctionnements possibles du système par un arbre de défaillance (ou arbre des causes), puis synthèse par des diagrammes causes - effets
- élaboration d'une ou de plusieurs stratégies de diagnostic selon que l'on souhaite intégrer ou non l'opérateur, et implémentation sous la forme d'enchaînement de tests.

Nous hiérarchisons la procédure de diagnostic de la façon suivante :

- dans un premier temps, tentative d'auto-diagnostic en accédant uniquement aux informations mesurées directement sur l'installation, en incluant éventuellement des procédures d'auto-test;
- dans un deuxième temps, si le premier niveau de diagnostic n'est pas satisfaisant, exploitation des informations non mesurées mais observables par l'opérateur de conduite;
- dans un troisième temps, si la seconde phase a échoué, abandon de la procédure d'auto-diagnostic et émission d'une demande d'intervention à l'opérateur de conduite.

5) Applications

5.1) Implémentation "monotâche" sous MS-DOS

Nous avons réalisé une première implémentation des algorithmes de traitement sous MS-DOS, système d'exploitation mono-tâche, selon la figure 26 Le fonctionnement est le suivant :

- la tâche vision exécute une boucle infinie, dans l'attente d'un message, correspondant à une demande de travail d'un équipement; les demandes sont traitées dans leur ordre d'apparition;
- les drivers de communication, implantés sous interruption, fonctionnent de façon transparentes à la tâche vision. Quatre commandes de base sont utilisées dans la tâche vision pour exploiter ces drivers, indépendamment de leur type: initialiser et clore un port de communication, émettre et recevoir un message. Des buffers cycliques jouent le rôle de tampons entre la tâche vision et les drivers.

Nous avons validé cette architecture en utilisant les ports série du PC (COM1 et COM2) pour assurer les communications. Une telle organisation n'a d'intérêt que de par la simplicité des concepts qu'elle met en oeuvre, et les coûts peu élevés des moyens qu'elle nécessite. Toutefois, elle ne permet pas d'implémenter l'ensemble des services évoqués au § 3.2.2.2.

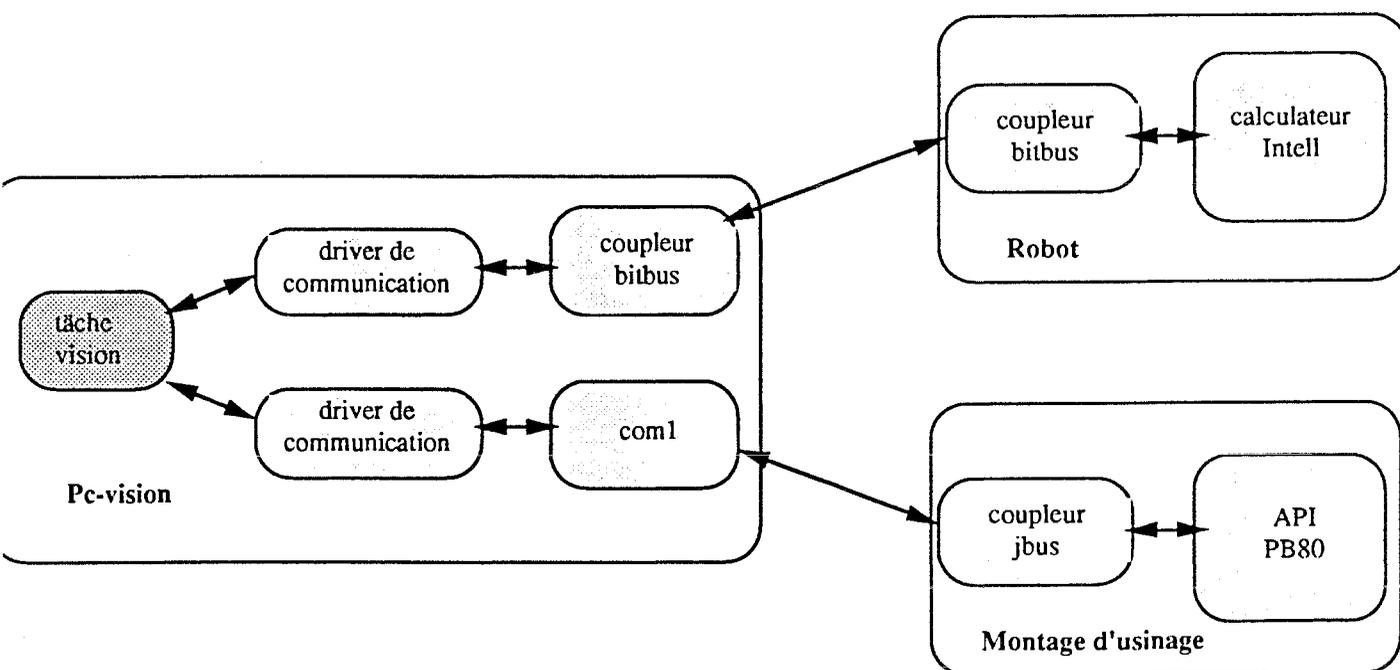


figure 26 : Implémentation d'une tâche vision sous MS-DOS

5.2) Implémentation "temps réel multitâches" sous RTC

C'est pourquoi nous avons réalisé une seconde implémentation sous un système d'exploitation temps réel. D'autres travaux menés au laboratoire ont conduit à l'utilisation du système REALTIME CRAFT (RTC) proposé par la société TECSI.

RTC respecte les recommandations élaborées par le groupe de réflexions SCEPTRE (Standardisation du Coeur des Exécutifs des Produits Temps Réel Européen) du BNI (Bureau de Normalisation en Informatique), et portant sur la définition des mécanismes de base d'un moniteur temps réel. Ces mécanismes concernent principalement la gestion multitâche, la protection, la communication et la synchronisation entre tâches, le partage des ressources, la gestion d'évènements, la prise en compte de temporisation et la liaison avec les interruptions.

L'originalité de ce produit réside dans la portabilité qu'il procure, dans la mesure où il est capable de fonctionner sur des microprocesseurs d'origine différente. RTC a été conçu pour être indépendant du système de développement utilisé et de l'application visée. "Composant logiciel" implanté en PROM ou en RAM à n'importe quelle adresse mémoire, il ne nécessite pas d'édition de lien entre l'application et le système, l'application accédant aux services du système par le mécanisme des interruptions logicielles. Il se compose de trois modules principaux :

- XEC qui est le moniteur,
- IOS qui est le superviseur d'entrée-sortie,
- FMS, qui est le gestionnaire de fichiers.

N'ayant utilisé que le moniteur temps réel XEC, nous nous limiterons à ne présenter que ses caractéristiques. Ses fonctionnalités reposent sur un ensemble de 27 commandes, correspondant à moins de 3 Ko de code laissant ainsi le maximum de place aux applications. Les services rendus par ces primitives concernent (figure 27) :

- *la gestion multitâche (figure 28)* : initialisation, démarrage, arrêt et terminaison d'une tâche, consultation et changement de priorité d'une tâche, consultation de l'état d'une tâche et consultation de l'identificateur de la tâche en cours, déroutement vers un traitement d'exception;
- *la protection entre tâches et le partage des ressources*, réalisés grâce aux opérations sur régions critiques et aux opérations sur sémaphores : initialiser un sémaphore, prendre une unité de sémaphore (avec ou sans priorité, Vendre une unité de sémaphore, tester et prendre éventuellement;
- *la synchronisation entre tâches*, qui exploite les opérations sur événements : signal et attente d'un événement, réinitialisation d'une liste d'évènements, test de l'occurrence d'un événement (qui rend possible la synchronisation d'une tâche sur plusieurs évènements)

- *la communication entre tâches*, obtenue grâce aux primitives de gestion de boîtes aux lettres : initialisation d'une boîte aux lettres, envoi d'un message avec ou sans priorité, attente d'un message et test de disponibilité et obtention d'un message;
- *les temporisations* : déclenchement d'une procédure à la fin d'un délai cyclique ou non.

1 - InitTask	15 - V
2 - StartTask	16 - TestP
3 - StopTask	17 - SignalEvent
4 - Terminate	18 - WaitEvents
5 - TaskPriority	19 - ClearEvents
6 - ChangePriority	20 - EventsOccured
7 - TaskState	21 - InitMailBox
8 - CurrentTask	22 - Send WithPrio
9 - ForceExceptionHandler	23 - Send
10 - EnterRegion	24 - Receive
11 - LeaveRegion	25 - TestReceive
12 - InitSemaphore	26 - StartDelay
13 - P	27 - StopDelay
14 - PWithPrio	

figure 27 : Liste des primitives du moniteur XEC

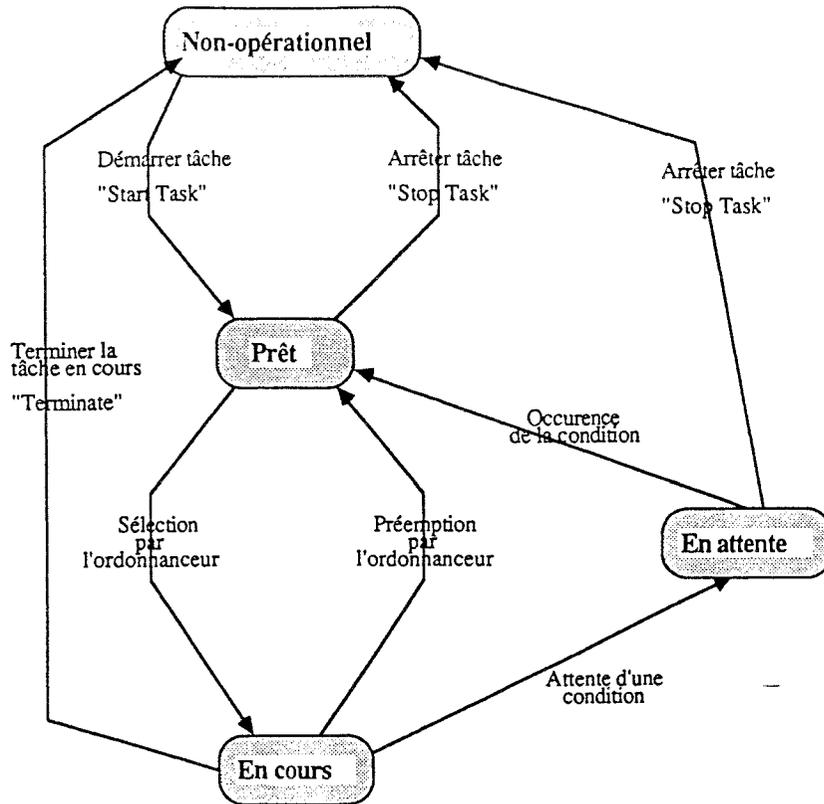


figure 28 : Etats des tâches dans une application RealTime Craft

L'application temps réel est perçue comme un ensemble de modules autonomes abrités dans des tâches, et de routines d'interruption qui coopèrent par l'entremise des primitives du moniteur.

L'implémentation résultant de l'utilisation de ce moniteur répond aux spécifications issues de la phase de conception (confère SADT figure 21) :

- l'activité **communiquer** est supportée par deux tâches (l'une en émission, l'autre en réception), exploitant les drivers de communication. Lorsqu'une tâche application veut émettre un message à une tâche destinataire située sur un autre calculateur (API, robot), elle transfère simplement ce message à la tâche émission via une boîte au lettre. La tâche émission place le message dans un buffer associé au driver de communication concerné, ce qui déclenche l'activation de ce dernier. La transmission est alors effectuée selon un protocole propre au type de driver, de façon transparente à la tâche émission. En réception le processus est similaire.

Lorsqu'un driver a reçu un message (complet), il en informe la tâche réception par le déclenchement d'un évènement. Cette dernière "récupère" le message dans le buffer tampon, identifie le destinataire et l'émet à la boîte au lettre associée la tâche destinataire;

- l'activité **qualifier** est associée à une tâche de priorité moyenne. Elle supporte les services concernant:

- * le partage de la ressource PC-vision entre les différents clients (Montage d'usinage, Robot, Tour...),
- * le traitement des demandes de contrôle : initialiser, exécuter, abandonner et clore une tâche de contrôle par vision,
- * des demandes de diagnostic : état d'une tâche ou d'un paramètre, état des moyens vision (caméra, éclairage,...),
- * et des demandes de forçage : modifier l'état d'un paramètre, réinitialiser une tâche,....

- l'activité **mesurer** est supportée par une tâche de plus faible priorité, dont l'exécution est contrôlée par la tâche qualifier; par le terme "contrôlée", nous entendons initialiser, démarrer et éventuellement stopper la tâche mesurer suite à un dépassement de temporisation ou suite à une demande d'abandon de tâche de la part du client ou de l'opérateur de conduite. L'opérateur de conduite est prioritaire par rapport aux équipements, c'est à dire qu'il peut s'affecter la ressource vision, exécuter ou abandonner des tâches, etc. à n'importe quel moment.

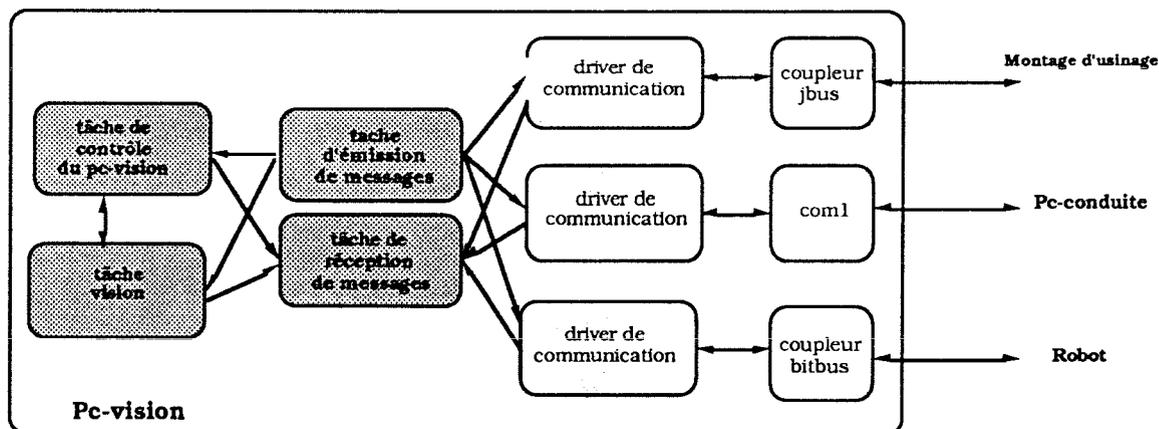


figure 29 : Implémentation des tâches sous RTC

6) Conclusions

6.1) Un capteur flexible

6.1.1) Un capteur multi-fonctions

Le coût encore relativement élevé d'une "machine vision" performante peut être compensé par une utilisation partagée entre plusieurs postes de travail, d'autant que son temps d'utilisation moyen par poste devrait être assez faible, comparé aux temps d'usinage et de manutention.

La structure retenue pour notre système de vision différencie les fonctions vision proprement-dites des fonctions d'interface avec les équipements d'usinage ou de manutention (contrôle-commande, communication); d'un point de vue organique, ces fonctions donnent lieu à différentes tâches, supportées par un moniteur temps réel. Ceci permet une utilisation partagée de la ressource vision, qui devient ainsi un système multi-fonctions.

6.1.2) Un capteur évolutif

En formalisant d'une façon ordonnée les pré et post-conditions pour une activité donnée (notions de préparation et de clôture), le concept d'actinomie donne tout son sens à la notion de réutilisabilité des composants existants (algorithme, module de commande,...). Une actinomie, par la modélisation d'un comportement élémentaire, permet d'archiver une manière de faire, autrement dit une certaine connaissance.

Ainsi, lorsqu'une activité est assurée par un composant logiciel, l'actinomie précise ses conditions d'exploitation et facilite ainsi sa réutilisation.

6.2) Un capteur auto-contrôlé

Les résultats du LACN dans le domaine de l'auto-contrôle nous ont incités à appliquer le concept de filtre de comportement proposé antérieurement pour le pilotage de la cellule (VOG 86), à la commande de capteurs complexes de type vision, afin de leurs conférer un degré d'autonomie comparable.

Un processus de contrôle complexe tel que la vision met en collaboration différentes parties opératives (senseur, zoom programmable, carte de numérisation, communication, support de l'objet à contrôler) pour satisfaire un objectif commun : l'opération de contrôle. Les sources de dysfonctionnement sont nombreuses, d'autant qu'un traitement vision reste sophistiqué et fournit souvent des résultats de mesure de nature probabiliste.

Ces remarques justifient nos réflexions sur l'élaboration de structures de commande auto-contrôlées. Nos efforts ont portés sur les points suivants :

- analyse de la cohérence des demandes par rapport à l'état du capteur,
- gestion de la disponibilité des moyens ,
- surveillance du déroulement de l'opération de contrôle,
- analyse de la pertinence des résultats,
- intégration de procédures d'auto-diagnostic,
- surveillance des dérives au cours du temps,....

6.3) Un capteur ouvert

6.3.1) Aspect communication

L'intégration d'un capteur passe en premier lieu par son interfaçage physique, d'où le choix d'un système hôte capable d'accepter des cartes réseaux, ou pour le moins des cartes de communication série asynchrone, type RS232.

De par la variété des traitements qu'il peut assurer, des fonctions de communication évoluées sont indispensables. L'implantation de drivers de communication sous interruption et l'utilisation d'un moniteur temps réel permettent aux tâches applications l'émission et la réception de messages de façon "quasi-transparente", par des requêtes d'accès à des boîtes aux lettres.

6.3.2) Aspect contrôle-commande

Les principes de structuration développés dans ce chapitre (structuration selon la trilogie *piloter, conduire, coordonner*) offrent à l'équipement une vue homogène des ressources auxquelles il a accès. Les requêtes, d'un niveau sémantique adapté à la nature de l'opération de contrôle envisagée, sont interprétées par le capteur en tant qu'objectifs. En fonction des moyens disponibles, le capteur a ainsi la possibilité d'associer à la demande une stratégie adéquate.

L'architecture de commande, fonctionnellement hiérarchique (ou coordonnée), est implémentée sous forme de processus coopérants, synchronisés par des échanges de messages. Cette conception de la commande rejoint globalement les critères d'une architecture distribuée : modularité, flexibilité et autonomie.

La transparence du système aux opérateurs d'exploitation est assurée par des activités de conduite qu'il est possible de dériver à chaque niveau de contrôle-commande.

6.3.3) Aspect exploitation

Les différentes technologies inhérentes au processus de contrôle sont destinées à être exploitées par des non-spécialistes de la vision artificielle.

Sauf durant la phase de mise au point d'une application nouvelle, la nature des problèmes rencontrés sur site (calibrage, réglage de seuils,...) ne se distingue pas des travaux courants assurés par les opérateurs de production pour d'autres procédés (usinage, manutention des pièces).

Ceci suppose un système ergonomique (qui exploite un langage compréhensible), flexible (reconfiguration aisée du capteur pour des applications proches), auto-contrôlé (accès à des messages d'erreurs "en clair").

un mode interprété pour la mise au point des gammes de contrôle

Plûtôt que de développer un langage orienté vision, contribuant à accroître l'hétérogénéité multi-produits multi-langages inhérente à ce type d'application, nous avons implanté un interpréteur de commande vision, qui offre simplicité et souplesse d'utilisation, en exploitant au mieux un environnement informatique courant.

Le paramétrage du système de vision s'effectue donc de la façon suivante :

- * l'opérateur décrit à l'aide d'un éditeur la succession des traitements qu'il veut effectuer; l'ensemble des traitements disponibles à ce jour sont répertoriés en annexe ...;

- * un interpréteur de commande peut alors exécuter ce programme vision (référencé comme un programme pièce pour une MOCN) en enchainant les modules vision correspondant.

L'utilisation possible de l'interpréteur en mode interactif facilite la phase de mise au point.

un mode compilé pour accélérer les traitements

L'opérateur a ensuite la possibilité de coder la gamme de contrôle sous la forme d'une fonction C (à chaque commande de l'interpréteur correspond une fonction écrite en langage C), qu'il doit compiler et linker aux modules existants pour générer une nouvelle application vision.

chap4 : Applications

1) L'îlot automatisé de production

- 1.1) Ressources matérielles
- 1.2) Structuration de la commande de L'îlot automatisé
 - 1.2.1) Les idées premières
 - 1.2.2) Spécification d'une architecture de contrôle-commande
 - 1.2.2.1) La démarche d'analyse
 - 1.2.2.2) Le niveau équipement
 - 1.2.2.2.1) L'existant
 - 1.2.2.2.2) Des fonctionnalités supplémentaires (péri-équipements)
 - 1.2.2.3) Le niveau cellule
 - 1.2.2.3.1) Le contexte d'intégration : l'atelier
 - 1.2.2.3.2) Prise en compte des contraintes d'intégration
 - 1.2.2.4) Structuration de la commande (TIX 87)
 - 1.2.2.4.1) Structuration de la commande de niveau cellule
 - 1.2.2.4.2) Structuration de la commande d'un équipement
 - 1.2.2.4.3) Architecture proposée
 - 1.2.2.4.4) La gamme de fabrication confère une dynamique à l'architecture de commande
 - 1.2.2.4.5) Principe de fonctionnement
 - 1.2.3) Réalisations

2) Les développements menés en visionique

- 2.1) Nos moyens matériels en visionique
- 2.2) Identification d'objets
 - 2.2.1) Position du problème
 - 2.2.2) Le choix d'une méthode
 - 2.2.3) Les méthodes *discriminantes*
 - 2.2.3.1) Introduction
 - 2.2.3.2) La méthode de bayes
 - 2.2.4) Les méthodes *analytiques*
 - 2.2.4.1) Introduction
 - 2.2.4.2) La méthode de prédiction-vérification
- 2.3) Le couplage robot / vision
 - 2.3.1) La méthode de projection-perspective
 - 2.3.2) Applications

3) Applications : intégration des développements vision dans l'îlot automatisé de production

- 3.1) Intégration du système de vision d'un point de vue *services*
- 3.2) Intégration du système de vision d'un point de vue *procédé*
 - 3.2.1) Détection de présence, identification et localisation des pièces sur le poste d'entrée
 - 3.2.1.1) Le problème
 - 3.2.1.2) Les solutions
 - 3.2.1.3) Les résultats
 - 3.2.2) Inspection : surveillance de l'état d'un outil de coupe
 - 3.2.2.1) Le problème
 - 3.2.2.2) Les solutions
 - 3.2.2.3) Les résultats
 - 3.2.3) Contrôle visuel des opérations de prise-pose d'une pièce par le robot sur un montage d'usinage
 - 3.2.3.1) Le problème
 - 3.2.3.2) Les solutions
 - 3.2.3.3) Les résultats

chap4 : Applications

1) L'îlot automatisé de production

1.1) Ressources matérielles

Le LACN a travaillé, depuis 1982, à un projet d'îlot Automatisé de Production (I.A.P) de pièces mécaniques, composée d'éléments hétérogènes. Notre I.A.P est constitué de machines outils à commande numérique, desservies en pièces par un équipement de manutention robotisé. Une machine à mesurer est intégrée pour assurer le contrôle de la qualité dimensionnelle de la production. Les machines, interconnectées par un réseau local, sont coordonnées par un ordinateur central. L'îlot regroupe actuellement les unités suivantes (figure 1) :

- un tour à commande numérique (V100N-HES)
- un centre d'usinage (CU 60 Graffenstaden)
- une machine à mesurer tridimensionnelle (MMT 130806 de Seiv)
- un système robotisé de manutention (robot portique INDUSTRIA), utilisant le langage de programmation LM (MAZ 84)
- un système de vision décrit ci-après.

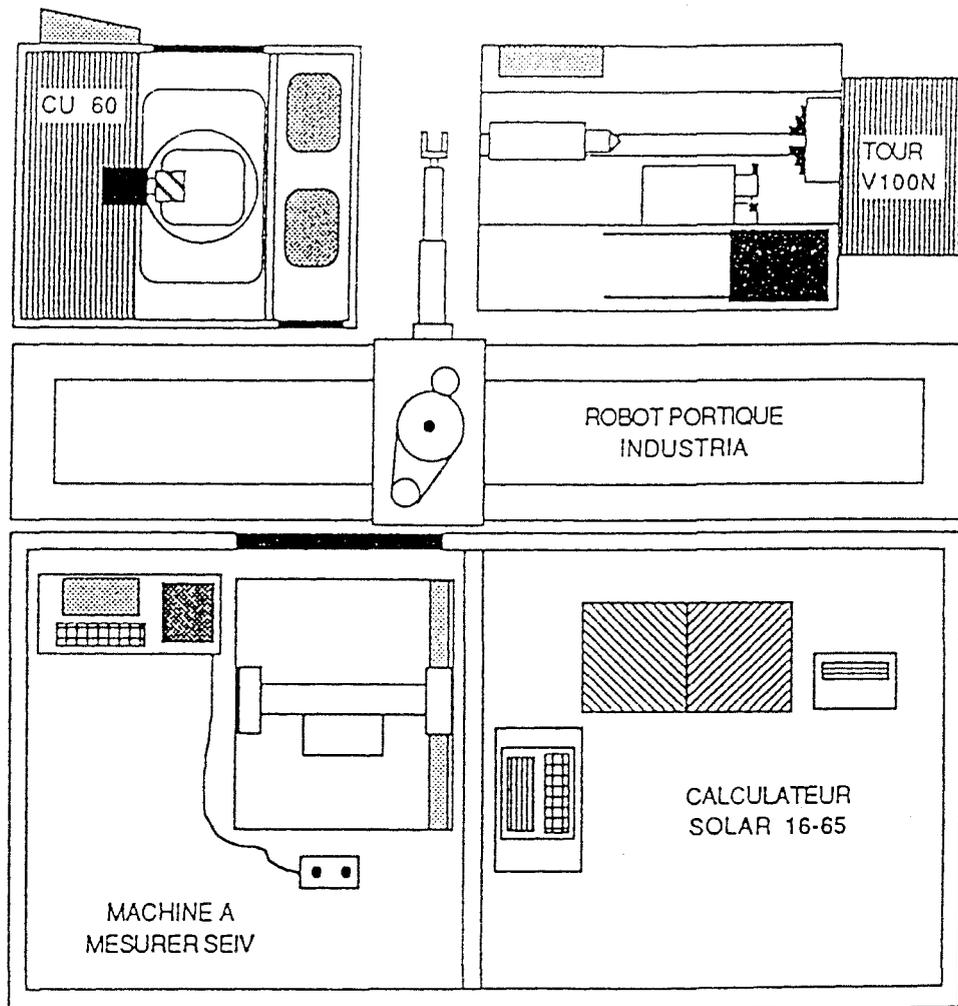


figure 1 : L'ilot automatisé de production de pièces mécaniques

1.2) Structuration de la commande de L'îlot automatisé

1.2.1) Les idées premières

Les idées premières qui prévalaient à cette étude étaient les suivantes :

- pouvoir *répondre aux objectifs de production élaborés au niveau atelier*, en fonctionnant selon diverses règles de gestion (privilégier un type de pièce, maintenir un flux de produit,...)
- *assurer une reconfiguration rapide de la cellule* :
 - * soit pour pallier à la défaillance d'un matériel (par exemple, élimination temporaire d'un poste de travail) ou à une variation des conditions de production (par exemple, modification du flux des pièces en entrée,...)
 - * soit en vue d'une nouvelle fabrication;
- *exploiter les matériels existants sur le site d'intégration*, sachant que les machines constituant la cellule sont hétérogènes, tant par leurs fonctionnalités que par leur commande ou leurs possibilités d'interfaçage;
- utiliser au maximum la puissance de calcul et d'archivage des calculateurs locaux (*décentralisation de l'intelligence*) en traitant localement tout ce qui peut être fait tant d'un point de vue commande que diagnostic;
- permettre *l'intégration d'un contrôle en ligne* de la production, et une réaction sur les paramètres d'usinage.

Au fur et à mesure des développements, ce "cahier des charges" s'est affiné autour de trois thèmes de recherche:

- (1) communication entre matériels hétérogènes,
- (2) intégration du contrôle-qualité dans la cellule,
- (3) structuration de la commande, pilotage de la cellule, et gestion de la manutention des produits.

Ayant participé aux travaux concernant le thème (3), nous en présentons quelques résultats.

1.2.2) Spécification d'une architecture de contrôle-commande

1.2.2.1) La démarche d'analyse

L'intégration de machines autonomes en une cellule revient à proposer une modélisation de ces équipements, de façon à permettre leur coordination en respectant au mieux les contraintes retenues dans le cahier des charges. Le problème de coordonner des machines en vue d'obtenir un comportement prédéterminé de la cellule admet un nombre important de solutions.

Ainsi, une solution basée sur un pilotage centralisé supervisant des machines "sans initiatives" pourra s'avérer facilement implémentable, mais extrêmement sensible aux perturbations : la moindre défaillance d'un matériel risque d'entraîner la cellule vers un mode de fonctionnement dégradé et parfois irréaliste.

C'est pourquoi la solution retenue (ADI 86) (VOG 86) tend à conférer plus d'intelligence et donc d'autonomie aux équipements. Cette orientation admet elle-même différentes interprétations.

Notre démarche s'est effectuée avec une analyse tenant compte de l'existant :

pour le niveau équipement

- 1) analyse de l'existant, c'est à dire des machines de base;
- 2) mise en relief de fonctionnalités supplémentaires, fournies notamment par les péri-équipements;

pour le niveau cellule

- 1) analyse de l'existant, c'est à dire du contexte d'intégration dans l'atelier
- 2) prise en compte de contraintes d'intégration, telles que :
 - * programmation de la cellule à partir de la définition des produits à usiner
 - * flexibilité de transformation des produits

ce qui nous amène à proposer une structuration de la commande pour les niveaux cellule et équipements.

1.2.2.2) Le niveau équipement

1.2.2.2.1) L'existant

La fabrication d'une pièce résulte du séquençement de trois types d'activités :

- transformation de la matière : usinage de la pièce;
- modification de la situation de la pièce (position et/ou orientation) : manutention, transfert de la pièce;
- acquisition d'informations sur l'état réel de la pièce : identification d'un brut, contrôle qualité, localisation,....;

ceci justifiant la nature des équipements susceptibles d'être intégrés dans une cellule :

- des machines d'usinage (centre d'usinage, tour, perceuse,...), de lavage,....;
- des systèmes de transport : robots, chariots filo-guidés, convoyeur,....;
- des systèmes "d'acquisition d'informations" : contrôle avec ou sans contact, système d'identification de pièce, etc.

Ainsi, à l'origine, la cellule n'est composée que de machines indépendantes de la fabrication, tels que les MOCN, robots, convoyeurs, machines de contrôle.... Ces équipements sont exploitables à travers leur architecture de commande, qui offre un certain nombre de services à l'utilisateur, qu'il convient ou non de modifier selon les besoins.

1.2.2.2) Des fonctionnalités supplémentaires (péri-équipements)

L'intégration de ces équipements dans la cellule implique :

- de leur adjoindre un certain nombre de péri-équipements dépendant de la fabrication, tels que montages d'usinage, préhenseurs, outils..., destinés
 - * à assurer le transfert automatique des pièces entre équipements et leur ablocage aux emplacements de travail,
 - * ou à accroître leur capacité d'usinage ou de contrôle....;
- de leur permettre d'acquérir des informations sur leur environnement en les dotant de capteurs supplémentaires, notamment extéroceptifs, afin de leur conférer plus d'autonomie.

L'équipement résultant de ces transformations peut donc être perçu tel un assemblage de ressources (montages d'usinage, palette, porte-outil, renishaw,...) capable :

- d'actions individuelles de bas niveau, comme la préhension (montage ou pince), l'amenée au travail (palettes), la fermeture d'un sas, ...
- ou d'actions coordonnées comme l'usinage d'une pièce, par la coordination des mouvements de l'outil et de la pièce (en fait du porte-outil et du porte-pièce);

1.2.2.3) Le niveau cellule

1.2.2.3.1) Le contexte d'intégration : l'atelier

Une cellule flexible est une entité intégrée dans un environnement plus important de production : l'atelier de production. La gestion de production s'intéresse à ce niveau et n'a donc qu'une vue macroscopique de la cellule. Les méthodes les plus classiques de gestion de production (MRP, OPT, KANBAN,...) au niveau atelier font l'objet d'une étude menée au laboratoire. Ne tenant pas à privilégier l'une ou l'autre de ces méthodes dans la réalisation de notre cellule, nous proposons une architecture de commande paramétrable par des règles de gestion évaluées au niveau atelier.

1.2.2.3.2) Prise en compte des contraintes d'intégration

Programmation orientée produit (ORT 88) (MOR 88) (MOR 89)

Ce concept traduit l'importance que nous attachons au produit pour la configuration de notre cellule. A partir de la connaissance du procédé de transformation d'un produit brut en produit fini et des capacités de transformation des ressources composant la cellule, notre but, à long terme, serait de paramétrer automatiquement toutes les entités de cette cellule.

Nous montrons figure 2 comment le processus d'élaboration des gammes permet de dimensionner directement le nombre optimum d'emplacements de travail.

La spécification de la gamme de fabrication s'effectue de la façon suivante :

1) génération des gammes d'usinages

- décomposition de la transformation morphologique de la pièce en opérations élémentaires d'usinage (usinage associé à une trace d'outil);
- regroupement de ces opérations élémentaires en sous-phases (usinages consécutifs sans changement de référence), puis en phase (usinages consécutifs sans changement d'emplacement de travail) en fonction des types de ressources disponibles (machines outil, systèmes de transport,...).

2) génération des gammes détaillées

- détermination, pour chaque sous-phase, des postes (emplacements de travail) pouvant les accueillir;
- insertion des opérations de contrôle de la morphologie du produit, avec si besoin création de nouvelles sous-phases et affectation de postes;
- spécification des opérations de manutention, consistant à évaluer l'ensemble des associations possibles de type (sous-phase i, poste émetteur j, poste de transport k, poste destinataire l) avec j,k,l tel que :
 $1 < j,k,l < \text{nombre de postes}$
 et i tel que $1 < i < \text{nombre de sous-phases}$
- insertion des opérations de manipulation intermédiaires (dans le cas où le référentiel de prise d'une pièce sur un poste est incompatible avec le référentiel de pose sur le poste destinataire), avec si besoin création de nouvelles sous-phases et affectation de postes;

L'ensemble des sous-phases étant déterminé, il reste un certain nombre de degré de liberté quant à leur enchaînement; on ne conserve que les enchaînements réalistes, ce qui donne naissance à n gammes détaillées par type de pièce;

3) génération de la gamme de fabrication

- si plusieurs types de pièces sont transformés simultanément par la cellule, il reste à détecter des conflits possible: entre sous-phases et préciser des règles (de niveau cellule ou de niveau équipement) permettant de les éviter.

figure 2 : Détermination du nombre d'emplacements de travail (poste) à partir du processus d'élaboration de la gamme de fabrication

Flexibilité de transformation des produits

Ce concept exprime notre interprétation de la notion de flexibilité (pour l'aspect contrôle-commande) par un certain nombre de décisions que l'on se propose de prendre en ligne.

Afin de pouvoir prendre en compte des aléas de fabrication (matériel défaillant, variation du flux des pièces en entrée,...), l'architecture de commande évalue en ligne :

- la détermination de l'ordre d'exécution des sous-phases d'une gamme;
- la détermination pour chacune des pièces, de leur cheminement dans la cellule;
- le choix des ressources pour effectuer une transformation (e.g., choix d'une localisation de pièce par vision ou par palpage selon les disponibilités des outils correspondants).

En d'autres termes, on détermine en ligne :

- l'ordre dans lequel on exécute les transformations,
- le lieu où est effectuée chaque transformation,
- les acteurs de la transformation.

1.2.2.4) Structuration de la commande (TIX 87)

1.2.2.4.1) Structuration de la commande de niveau cellule

Dématérialisation de machines

En soulignant le fait que le parcours d'une pièce dans la cellule n'est pas figé a priori, le concept de flexibilité de transformation tend à optimiser l'utilisation des ressources. L'évaluation en ligne de l'évolution des pièces est grandement simplifiée si l'on assimile la cellule à un ensemble d'emplacements de travail, capables d'effectuer, à un instant donné, certaines transformations.

Or, justement, le concept de programmation orientée produit nous amène à considérer la cellule telle une machine virtuelle à n emplacements de travail ou *postes*, chacun étant capable d'effectuer un certain nombre de transformations sur le produit (usinage, transfert, contrôle).

(MUN 88) illustre ce concept de dématérialisation des machines par la notion de bus fonctionnel. L'installation n'est pas vue comme une entité unique dont les acteurs ne sont pas les moyens (fraiseuses, tours, convoyeurs, montages, outils,...) mais les emplacements où pourront s'effectuer les opérations sur les produits (transformations physiques, spatiales, extraction d'informations,...). Le problème est donc pour une configuration de fabrication, de trouver le nombre et le type d'acteurs (cf concept de programmation orienté produit). Chaque acteur est considéré, aussi bien par le niveau décisionnel que par le niveau opérant, comme un objet informationnel concrétisé par un modèle de poste pièce. L'ensemble des modèles

représente alors le comportement de la cellule et constitue un bus fonctionnel (figure 3).

Chaque poste-pièce est caractérisé par son état (vide, chargé, au travail.....,hors service....) et ses attributs (liste des sous-phases que le poste est capable de transformer,...). Ainsi, un centre d'usinage qui dispose de deux palettes, supportant chacune un montage d'usinage, ne représente au niveau cellule que deux postes susceptibles d'effectuer des opérations d'usinages ou de contrôle-qualité. Un préhenseur à deux pinces équipant un bras de robot est perçu comme deux postes de travail, dont les fonctions sont la manutention et le transfert des pièces.

La prise en compte des contraintes technologiques (postes appartenant à une même machine) est assurée par le niveau équipement.

L'architecture de commande comprend donc deux niveaux :

- le pilotage de niveau *cellule*, dont le rôle est de *régler les flux de pièces dans la cellule*, en optimisant l'utilisation de ses ressources (postes-pièces),
- le pilotage de niveau *équipement*, dont le rôle est d'*assurer la transformation des produits.*, en optimisant l'utilisation de ses ressources (outils, porte-pièces, capteurs,...).

Le pilotage de niveau cellule

L'objet de la commande au niveau atelier est de régler les flux de produits entre cellules, ce qui revient à planifier à court terme le comportement externe de celles-ci. De façon similaire, le pilotage de niveau cellule gère les flux de produits entre postes, en fonction :

- de règles de gestion déterminant le fonctionnement externe de la cellule,
- des gammes d'usinages spécifiant les transformations à effectuer sur les pièces (usinage, contrôle, opérations de manutention),
- de l'état de la cellule (capacité des pièces à évoluer, disponibilité des postes susceptibles de les recevoir ou de les transporter).

Le poste-pièce

Les fonctions essentielles d'un poste-pièce sont les suivantes :

- gérer la fonction préhension du porte-pièce qui lui est associé;
- synchroniser l'échange de pièce avec d'autres postes;
- exploiter les gammes d'usinages et émettre des demandes de transformations du produit au niveau équipement (interprétation des sous-phases);
- effectuer des traitements informationnels (consultation et mise à jour des cartes d'identité des pièces, modification des numéros de phases pouvant être acceptées par le poste,...).

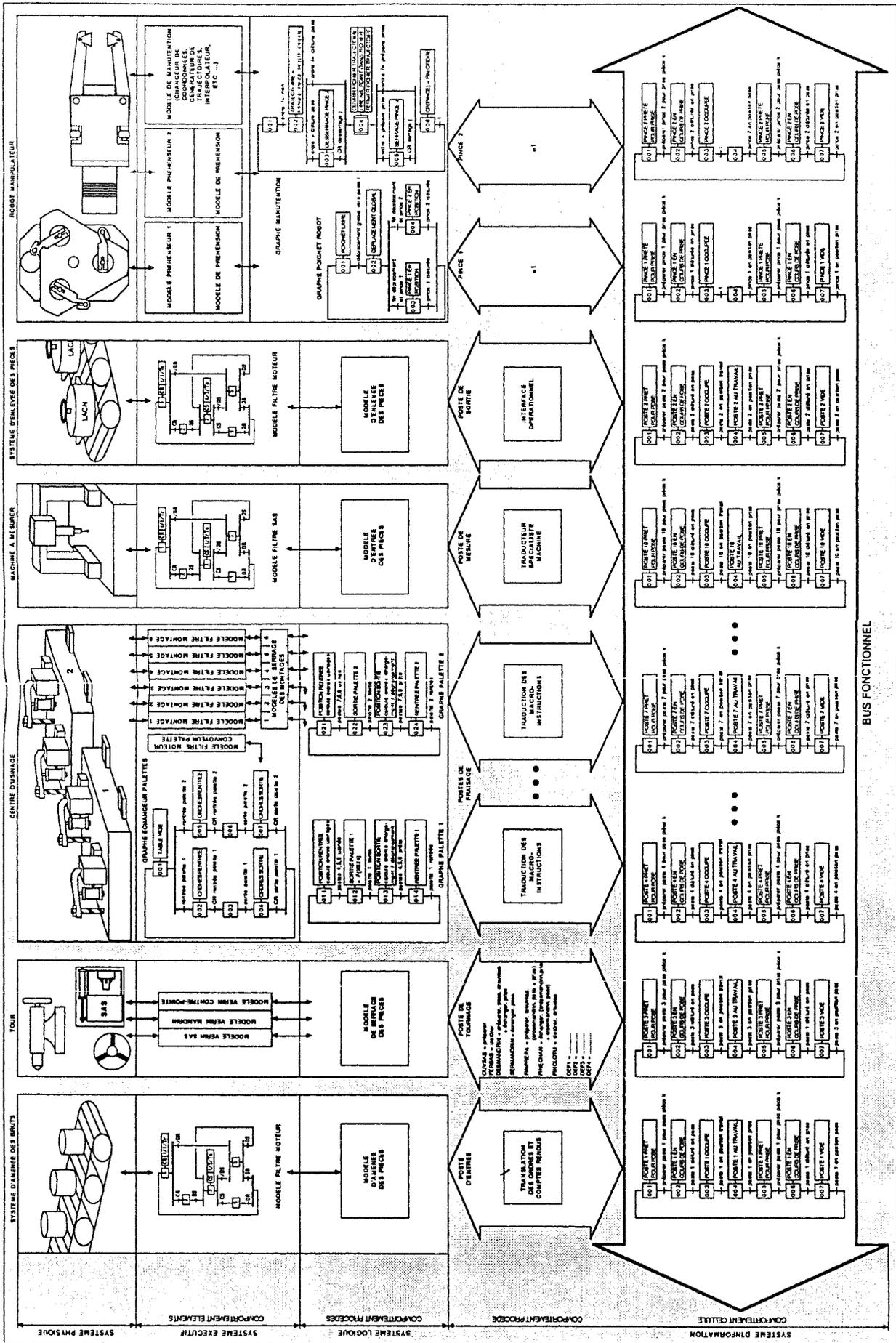


figure 3 : Dématérialisation des machines par le concept de Bus fonctionnel

Le porte-pièce

Un porte-pièce est une entité physique associée au poste-pièce : préhenseur, montage d'usinage, mandrin (tour).

1.2.2.4.2) Structuration de la commande d'un équipement

Un équipement se compose de notre point de vue :

- d'une machine de base, telle que centre-d'usinage, robot, tour,...
- de péri-équipements ou ressources, tels que porte-pièce (montage), outils ou capteurs (caméra + système d'éclairage, palpeur RENISHAW,...)

Les péri-équipements sont synchronisés par un module de pilotage machine, responsable des transformations (usinages, contrôle) à effectuer sur les pièces chargées sur l'équipement.

1.2.2.4.3) Architecture proposée

Il résulte des faits énoncés préalablement un pilotage structuré en deux couches (figure 4) :

- une couche de niveau cellule, elle-même structurée en :
 - * une sous-couche pilotage, dont le seul rôle est de régler les flux de produits entre les postes de travail, à l'image de la gestion de niveau atelier qui règle les flux de produits entre cellules. En fonction de règles de gestion, des gammes d'usinages et de l'état de la cellule, ce module privilégie un travail (en fait, une séquence d'opérations à effectuer sur un produit) et déclenche son transfert vers le poste de travail concerné.;
 - * une sous-couche poste, chargée de gérer la préhension et l'échange des pièces, de séquencer la transformation du produit et de traitements informationnels.

- une couche équipement ou "machine", elle-même structurée en :
 - * une sous-couche station chargée en premier lieu de gérer les relations entre porte-pièce liés par leur appartenance à un même support (palette, machine); d'autre part, elle séquence l'appel aux différentes ressources nécessaires aux transformations à exécuter sur le produit (décrites par la gamme) et ce par les services de la couche transformation;
 - * une sous-couche "ressources", correspondant aux parties commandes associées aux différents systèmes opérants (ex: système de vision).

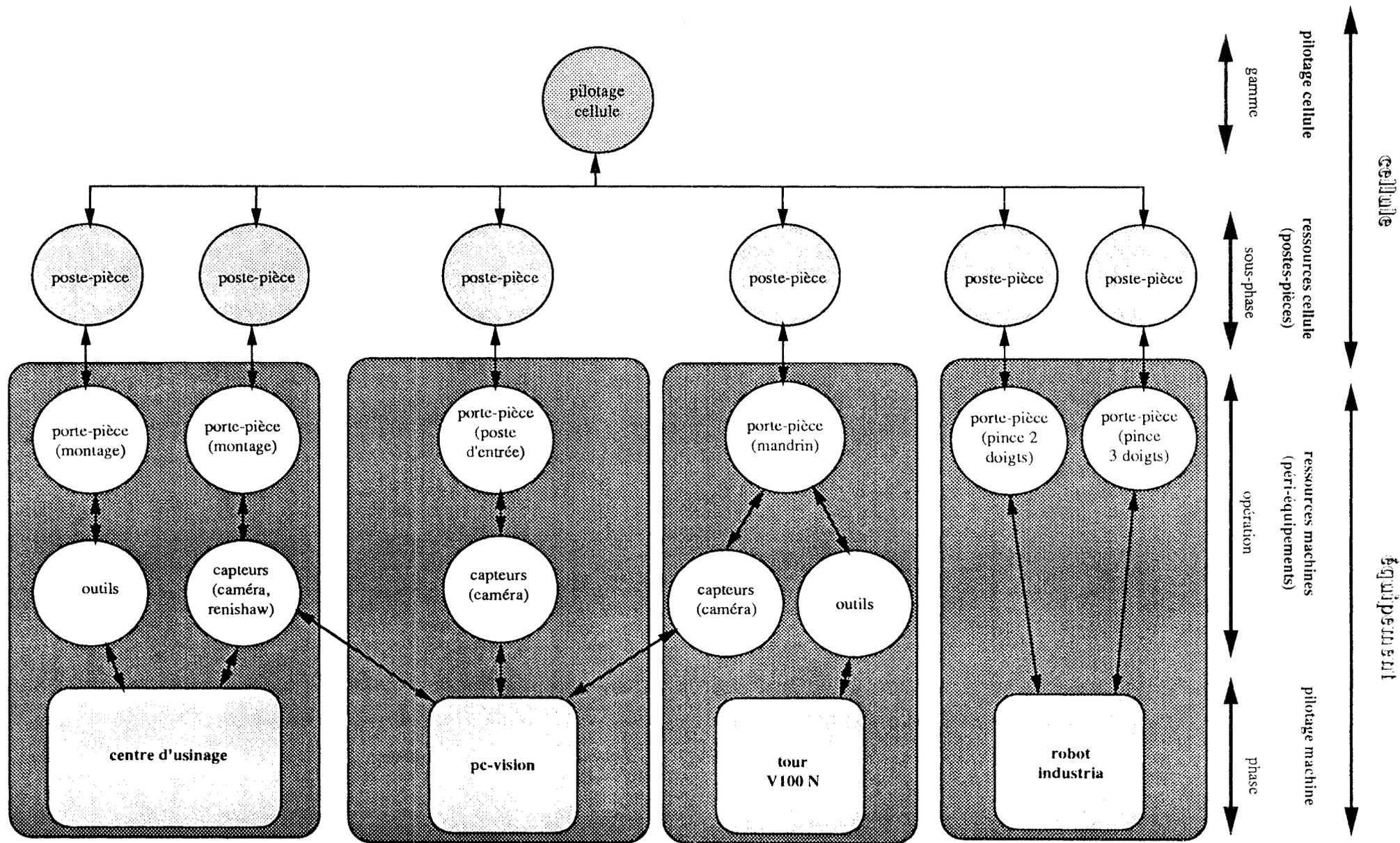


figure : Architecture de commande de la cellule structurée en 4 niveaux :
(pilotage cellule, poste-pièce, pilotage machine, péri-equipements)

1.2.2.4.4) La gamme de fabrication confère une dynamique à l'architecture de commande

Les transformations à effectuer sur un produit sont décrites par une ou plusieurs gammes de fabrication, élaborées à partir des gammes d'usinage. Une gamme de fabrication se compose d'une double structure :

- d'un point de vue pilotage cellule, elle correspond à un enchaînement de sous-phases,
- d'un point de vue pilotage équipement, elle correspond à un enchaînement de phases, chaque phase se composant d'une liste d'opérations.

Cette gamme de fabrication "se projette" sur l'architecture de commande, lui conférant ainsi une certaine dynamique :

- la structure de la gamme, c'est à dire l'enchaînement des sous-phases, est exploitée par le logiciel de pilotage pour déterminer l'évolution des pièces dans la cellule;
- la description des sous-phases est utilisée par le niveau poste-pièce; chaque poste-pièce est caractérisé notamment par sa capacité d'accueil (concrètement, la liste des sous-phases qu'il est en mesure de transformer), elle-même fonction de la disponibilité des ressources machines (outils,...);
- chaque opération coordonne les ressources équipement (outils, montage) pour assurer la transformation des produits;
- l'enchaînement des opérations composant une sous-phase n'est pas forcément figé, surtout si plusieurs pièces sont présentes simultanément au travail; c'est par exemple le cas lorsqu'une palette du centre d'usinage supporte plusieurs montages, chargés avec des sous-phases identiques. Il est alors souhaitable d'usiner les pièces en parallèle afin d'optimiser les changements d'outils. Cet enchaînement est décrit par la phase.

1.2.2.4.5) Principe de fonctionnement

La couche supérieure du pilotage détermine un travail à réaliser en fonction de règles du type :

règle 1

si la sous-phase *i* est en attente de prise,

et si un des postes *j,k,l* capables d'accepter la sous- phase *i* est libre pour une pose,

et si le poste *m* capable de transporter la sous-phase *i* est libre pour une pose

alors

l'évolution de la sous-phase *i* est un travail possible;

finsi;

règle 2

parmi tous les travaux possibles,

si le travail i satisfait le mieux aux critères établis par les règles de gestion et n'est pas bloquant,
 alors
 le travail i est exécuté.
 ainsi;

Ce travail peut, par exemple, s'exprimer sous une des formes suivantes :

cas d'un transfert simple

- 1) transfert du préhenseur pr au poste $p1$,
- 2) échange de la pièce pi entre le poste $p1$ et le préhenseur pr ,
- 3) transfert du préhenseur pr au poste $p2$,
- 4) échange de la pièce pi entre le préhenseur pr et le poste $p2$;

cas d'un transfert avec travail

- 1) transfert du préhenseur pr au poste $p1$,
- 2) échange de la pièce pi entre le poste $p1$ et le préhenseur pr ,
- 3) transfert du préhenseur pr au poste $p2$,
- 4) exécution d'un travail sur la pièce pi ,
- 5) transfert du préhenseur pr au poste $p3$,
- 6) échange de la pièce pi entre le préhenseur pr et le poste $p3$;

cas d'un retournement

- 1) transfert du préhenseur pr au poste $p1$,
- 2) échange de la pièce pi entre le poste $p1$ et le préhenseur pr ,
- 3) retournement de la pièce pi ,
- 4) échange de la pièce pi entre le préhenseur pr et le poste $p1$

Les postes concernés (émetteur, transfert et destinataire) se synchronisent pour effectuer le transfert de la pièce vers le poste destinataire. Ce dernier "extrait" du système d'information la carte d'identité de la pièce, d'où il en déduit son état et la sous-phase à exécuter. Il informe alors l'équipement de la présence de la sous-phase.

L'équipement effectue la transformation du produit selon l'enchaînement des opérations décrit par la phase. Chaque opération active les fonctions concernées (usinage, acquisition d'information, amenée au travail) avec les paramètres caractéristiques des transformations (références programmes-pièces,...).

1.2.3) Réalisations

Au fur et à mesure des travaux, les concepts se sont affinés, validés par diverses implantations :

- une première réalisation sur un mini-calculateur de type SOLAR 16-40, intégrant des développements effectués au laboratoire dans le cadre des réseaux locaux industriels, fut en mesure de coordonner le flux des pièces (de gammes différentes) entre plusieurs équipements. Pour cause de problèmes de "connectique", une seule machine était effectivement commandée par le pilotage central, tandis que les autres étaient émulées. Des fonctions de conduite furent également testées, validant quelques réflexions sur les modes de marche/arrêt de la cellule. Toutefois, le manque de convivialité des outils de développement disponibles sur ce calculateur nous a conduit à son abandon, d'autant que le progiciel initialement retenu pour faciliter cette intégration (MASC16, disposant d'un interpréteur grafset temps réel) était peu inadapté.

- une seconde implémentation, dans un environnement LM (langage de programmation du robot), valida l'utilisation de l'armoire de commande du robot en tant que contrôleur de la cellule; ceci se justifiait par le rôle particulier de cet équipement, responsable du transport des pièces dans la cellule.

- en parallèle à ces réalisations, un configurateur d'application basé sur un simulateur de cellule flexible fut développé sur un micro de type IBM-PC; il permit une intégration beaucoup plus complète, caractérisée par une recherche de flexibilité maximale. Ce logiciel se structurait en trois outils :

- * un outil de configuration de la cellule (choix -des machines, du nombre de postes de travail par machine, choix des règles de gestion,...) et de préparation de la fabrication (description des gammes, affectation des outils aux opérations,...)
- * un outil de simulation graphique, avec suivi de chaque pièce usinée;
- * un outil d'analyse de la production (calculs statistiques sur le temps d'occupation des différents postes de travail, trajet des pièces,...).

Ce configurateur de cellule fut validé par le paramétrage du noyau de pilotage implémenté dans l'armoire de commande du robot.

Les réalisations pré-citées ont en commun un défaut majeur : leur programmation "*trop organique*"; les programmes écrits pour ces solutions sont devenus rapidement conséquents, rendant toute modification par un tiers quelque peu hasardeuse, sans compter le manque de documentation classique dans ce genre de développements. C'est pourquoi l'équipe s'oriente désormais vers un prototypage plus performant, basé sur un outil (SPEX) permettant une évaluation rapide des spécifications.

2) Les développements menés en visionique

Au vu des besoins énoncés au chapitre 2, de la complexité des problèmes (due en grande partie aux contraintes d'environnement), et des moyens dont nous disposons actuellement, nous nous sommes intéressés aux problèmes suivants:

- identification,
- localisation et saisie de pièces par le robot,
- contrôle visuel des opérations de prise / pose d'une pièce par le robot sur un montage d'usinage,
- contrôle visuel de l'usure de plaquettes de tournage.

L'ensemble des développements ont été réalisés avec la collaboration de B.Rochotte, chercheur au LACN.

2.1) Nos moyens matériels en visionique

Pour cette étude, nous disposons de matériels propres au laboratoire :

- une carte de numérisation EDGE90, commercialisée par la société ITMI, implémentée sur un ordinateur IBM pc-at, exploitable par le logiciel CAIMAN développé par le LIFIA de Grenoble,
- une caméra SONY,

mais également de l'infra-structure offerte par l'AIP Lorrain:

- différentes cartes de numérisation : MATROX nvp-at, Electronique lyonnaise, BYTHEC exploitables par le logiciel VISILOG de la société NOESIS,
- caméra vidicon RCA, caméra CCD I2S, micro-caméra MICAM,
- un système de vision linéaire I2S,
- une armoire robot-vision AVICOR de la société ITMI contrôlant un robot Scémi (langage robotique LM, carte de numérisation GTR 2D).

Nous avons exploité l'ensemble de ces matériels à travers l'encadrement de projets d'étudiants du DESS PAI; les applications présentées dans ce rapport sont toutes basées sur la carte EDGE90 et le logiciel CAIMAN. Cette carte de numérisation possède les caractéristiques suivantes :

- un multiplexeur 4 caméras,
- une résolution de 256 * 464 pixels,
- numérisation sur 64 niveaux de gris, conversion de l'image sur 16 niveaux de gris par seuillage automatique ou définition d'une L.U.T (Look Up Table),
- extraction des contours en temps réel selon la méthode du gradient de Sobel.

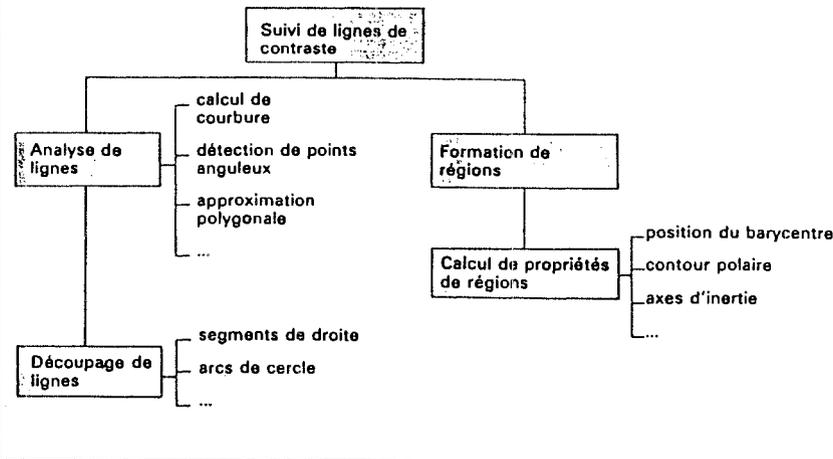
L'image des points de contours est une image binaire dont les pixels à "1" sont soit des points appartenant aux contours extérieurs (silhouette) ou intérieurs (trous débouchants) de l'objet, soit des points parasites résultant de défauts d'éclairage (phénomène d'ombres, etc.). Les opérations de bas niveau, comme l'acquisition d'image, la définition de LUT, etc. sont des fonctions écrites en assembleur ou en langage C.

Caïman est un logiciel hautement modulaire et interactif conçu pour exploiter les données élaborées par GTR. Sa fonction est de construire plusieurs niveaux d'indices visuels (lignes de contraste ouvertes et fermées, segments de droite, arcs de cercles, angles, découpage polygonal,...) utiles aux applications d'Aviso-2D et de caractériser ces indices par des propriétés diverses (courbure, point d'inflexion, longueur, aire, encadrement par un rectangle...). Caïman regroupe un très grand nombre d'algorithmes accessibles à travers un module de dialogue :

- utilisé comme système de développement, il donne la possibilité de conduire rapidement des études de faisabilité et de déterminer interactivement les modules les plus performants sur une application donnée ;
- en tant que bibliothèque de programmes, il permet, à partir du choix des modules nécessaires, de composer sur mesure le programme spécifique répondant de façon optimale aux impératifs d'une application.

Caïman met en œuvre une architecture logicielle entièrement nouvelle :

- les modules sont conçus comme des automates incrémentaux dont l'exécution peut être interrompue et reprise à tout instant ;
 - un superviseur gère l'interaction entre les modules par un mécanisme de « coroutines » et des stratégies de contrôle élaborées.
- Cette architecture évite toute redondance dans les traitements. Elle permet également de guider les traitements en fonction du type de l'information recherchée et des résultats partiels déjà obtenus (stratégie de prédiction-vérification). Par cette caractéristique, cette architecture minimise les temps de réponse d'Aviso-2D.



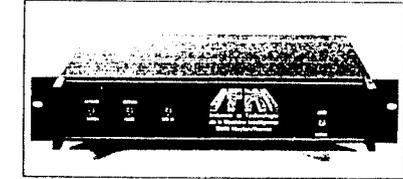
Processeur électronique temps réel, GTR-2D extrait d'une image numérisée (digitalisée) sur 16 niveaux de gris utiles un ensemble réduit d'informations pertinentes : les points de contraste.

Il met en œuvre les méthodes les plus performantes, élaborées par les laboratoires de recherche européens et américains :

- numérisation dynamique du signal vidéo pour bénéficier de toute la sensibilité de la caméra ;
- calcul de gradient par fenêtrage pour s'affranchir des conditions d'éclairage et de mise en scène ;
- recherche du gradient maximum afin de mieux synthétiser l'information utile et préparer les opérations de segmentation ultérieures.

Tous ces traitements sont effectués à la volée sur le signal vidéo de la caméra en 1/50^e de seconde : aucun autre processeur industriel n'atteint ce niveau de performance. Le calcul de gradient par fenêtrage qui élimine le bruit visuel permet d'extraire les informations pertinentes sans mise en scène élaborée.

Un multiplexeur optionnel permet de connecter à un processeur GTR-2D, donc à une armoire Aviso-2D, plusieurs caméras.



GTR-2D

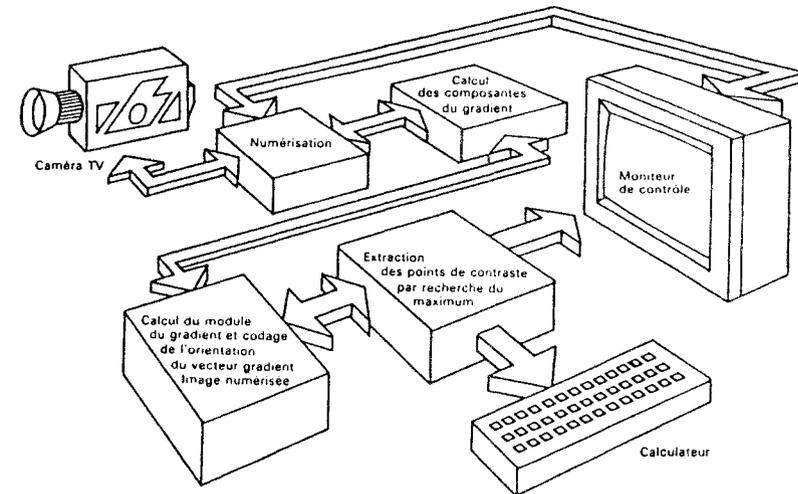


figure 5 : Le logiciel CAÏMAN et le système de numérisation GTR 2D

La bibliothèque de fonctions CAIMAN, écrite en Fortran, permet l'analyse des lignes de contraste dans le but de former des contours. Quelques caractéristiques, telles que périmètre, surface, barycentre, axe d'inertie, segments de droites, sont calculées de façon incrémentale, c'est à dire au fur et à mesure de l'extraction des points de contraste. Ce logiciel est structuré selon un principe de producteur - consommateur (figure 5) :

- le producteur extrait un à un les coordonnées de points de contraste selon un algorithme de suivi, et active au fur et à mesure les différents consommateurs de points validés (calcul de barycentre, extracteur de droites,...)
- les consommateurs de points prennent en compte les coordonnées du dernier point de contraste extrait et réévaluent les paramètres concernés.

Des consommateurs d'un second type, les consommateurs de courbure, exploitent le calcul de la courbure pour détecter des angles ou des arcs de cercle (non implémentés dans notre version) dans un contour.

2.2) Identification d'objets

2.2.1) Position du problème

Selon la qualité de l'éclairage (donc du contraste entre l'objet et son environnement) et les conditions d'observations (pièce isolée, pièce montée dans un montage d'usinage, etc.), l'image des points de contraste est plus ou moins bruitée et contient la totalité ou seulement une partie des contours de l'objet. A partir de cette image, la méthode de caractérisation des formes doit permettre de:

* *identifier un objet* préalablement modélisé sur chacune de ses faces d'équilibre; ceci est principalement destiné à la reconnaissance des pièces brutes. Ne pouvant garantir les conditions de prises de vue et par souci de généralisation, il est préférable de considérer ce problème comme étant la reconnaissance d'objets partiellement visibles.

* *localiser un objet*, c'est à dire déterminer la position de l'objet dans le repère image; il serait intéressant de disposer d'une méthode capable de déterminer approximativement la position de la pièce à partir de "fragments de contours" extérieurs ou intérieurs.

2.2.2) Le choix d'une méthode

"La reconnaissance de forme est un domaine de l'informatique, qui a pour but de percevoir et de reconnaître automatiquement les formes présentes dans les signaux et dans les images. Pratiquement, c'est une science de l'ingénieur, il s'agit de mettre au point des programmes et des logiciels capables de traiter la multitude des cas

concrets : repérage d'objets plans, reconnaissance de défauts, reconnaissance de caractères, de symboles spéciaux,..." (FAB 89).

Les méthodes de reconnaissance de formes adaptées à l'exploitation d'informations de type contours appartiennent essentiellement à deux catégories :

- les méthodes *discriminantes*,
- les méthodes *analytiques*.

Signalons d'autres techniques telles :

- les méthodes de corrélation,
- les méthodes de relaxation,
- les méthodes de grammaire d'arbre.

Cette liste non exhaustive montre combien le domaine est vaste.

2.2.3) Les méthodes *discriminantes*

2.2.3.1) Introduction

La forme est caractérisée par des critères évalués sur la totalité du contour de l'objet, tels que périmètre, surface, moments d'ordre 2, etc.; on ne peut donc pas travailler sur des pièces partiellement cachées. Parmi ces méthodes, on distingue deux classes :

- les méthodes *probabilistes*, dont la méthode de Bayes ou la méthode des sous-ensembles flous (BRE 75),
- les méthodes *déterministes*, dont la méthode des plus proches voisins.

2.2.3.2) La méthode de bayes

2.2.3.2.1) Présentation de la méthode

La méthode de bayes est issue des techniques probabilistes, compte tenu du fait que les connaissances sont modélisées sous forme d'échantillons statistiques, et que la décision se fait par un calcul de probabilité.

"L'apprentissage est l'opération qui associe à chaque silhouette S_j de l'image un vecteur d'attributs X_j . Les couples (S_j, X_j) ou "modèles" qui en résultent sont entachés des imperfections de la segmentation dues aux bruits des systèmes de prise d'image, aux conditions d'éclairage d'objets presque identiques, aux chevauchements, aux parties additionnelles ou manquantes de certaines silhouettes; il en résulte une dispersion des attributs on définit alors une classe comme un ensemble d'objets similaires; les vecteurs correspondants aux objets d'une même classe sont regroupés sous la forme de vecteur de classe Y' " (BES 88).

Les modèles de classes sont définis par l'estimation statistique des densités de probabilité des vecteurs de mesure des paramètres caractéristiques sur chacune des classes : on cherche à estimer les probabilités $P(C_k / X_1, X_2, X_3 \dots X_n)$ où C_k

correspond à une classe particulière (face d'un objet) et X_i à l'observation désignant le résultat de l'acquisition du i ème paramètre (figure 6).

La règle de décision peut se faire en minimisant l'erreur moyenne de classement d'un individu anonyme sur l'ensemble des classes. Une procédure optimale dans ce cas est celle de Bayes et est appelée règle du maximum de vraisemblance.

Un des problèmes importants dans l'approche statistique consiste à choisir un estimateur des densités de probabilités. Dans la grande majorité des cas, on prend pour hypothèse de travail l'indépendance statistique des paramètres. Cette hypothèse s'exprime en écrivant :

$$P(X_i, X_j/C_k) = P(X_i/C_k) \cdot P(X_j/C_k), \text{ quel que soit } i = j.$$

Rigoureusement, il faudrait tenir compte d'un terme de corrélation entre les variables X_i et X_j , mais l'amélioration n'est pas suffisamment sensible dans la plupart des cas.

Considérons 3 classes d'objets sélectionnés dans un espace à 3 attributs; les échantillons appris sont à l'intérieur de volumes construits autour du point de représentation moyenne de la classe : α , β ou γ .

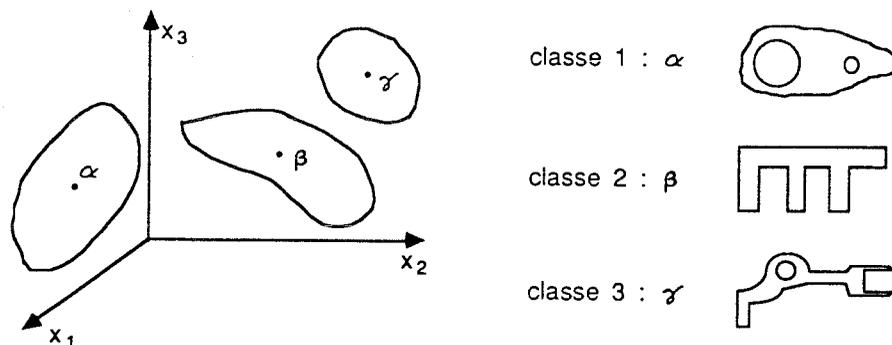


figure 6 : Différentes classes d'objet

2.2.3.2.2) Application

Choix des connaissances

Un modèle d'objet est défini par un certain nombre de critères choisis par le concepteur, tels que surface, périmètre, plus grande longueur, moments,... Il existe une très grande variété de paramètres utilisables sans que l'on puisse apprécier a priori leur intérêt dans le processus de reconnaissance. Le choix des critères est déterminant dans la phase d'identification.

Representation des connaissances

Un critère est une grandeur mesurable, caractérisé par sa moyenne et son écart type, ces deux informations étant suffisantes pour définir l'échantillon des mesures effectuées. L'apprentissage d'un objet correspond à une actualisation du modèle à chaque nouvelle mesure d'un critère. Ce réajustement de la moyenne et de l'écart type peut se faire par récurrence :

- calcul de la moyenne :
 - m+ : nouvelle moyenne
 - m- : ancienne moyenne
 - n : nombre de mesures déjà effectuées
 - x : nouvelle mesure

$$m_{+} = \frac{m_{-} \cdot (n-1) + x}{n}$$

- calcul de l'écart type :
 - s+ : nouvel écart type
 - s- : ancien écart type
 - xn : nouvelle mesure

$$s_{+}^2 = \frac{n-1}{n} \left(\frac{\sum (m_{-} - x_n)^2}{n} + s_{-}^2 \right)$$

La loi de probabilité d'une mesure X sachant que l'on a mesuré l'objet Ck peut être, sous certaines conditions, formalisée par une courbe de Gauss. En supposant que les critères sont indépendants :

$$P(X/C_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} s} e^{-\left(\frac{X - m}{2s}\right)^2}$$

AFFECTATION MODÈLES:

n)	FACE	OBJET
1	1	plaque
2	1	fer
3	1	cle
4	1	rond

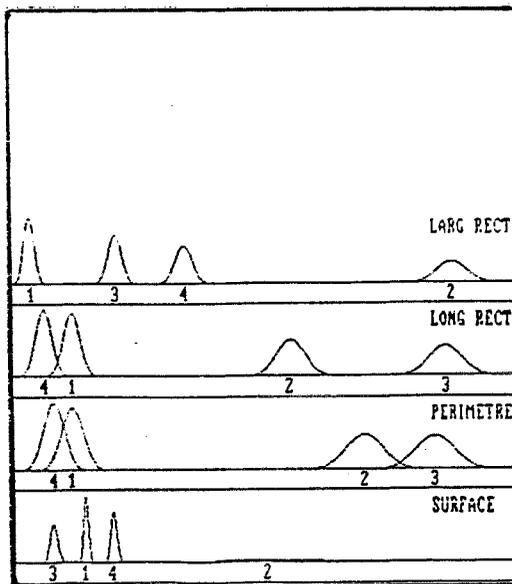
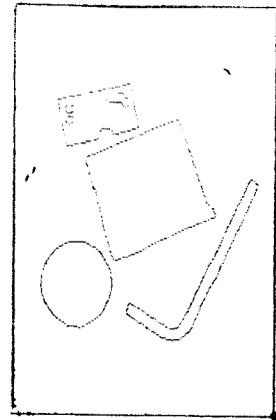
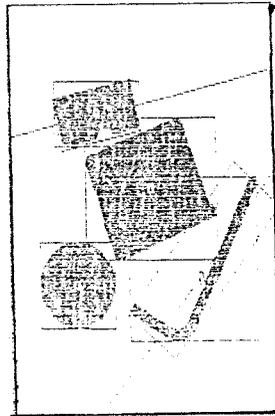


figure 7 : Modèles d'objets représentés par des lois normales

OBJET IDENTIFIE:
 FACE 1 DE L'OBJET plaque
 AVEC UNE PROBABILITE DE : 1.000
 OBJET IDENTIFIE:
 FACE 1 DE L'OBJET fer
 AVEC UNE PROBABILITE DE : 1.000
 OBJET IDENTIFIE:
 FACE 1 DE L'OBJET cle
 AVEC UNE PROBABILITE DE : 1.000
 OBJET IDENTIFIE:
 FACE 1 DE L'OBJET rond
 AVEC UNE PROBABILITE DE : 1.000



FIN DE TRAITEMENT DE L'IMAGE

figure 9 : Application de la méthode de bayes

2.2.3.2.3) Conclusions

Cette méthode nous a permis de différencier jusqu'à 25 objets avec un taux d'erreurs tout à fait acceptable (aucune statistique n'ayant été faite). Son utilisation nous conduit à faire les remarques suivantes :

- il est indispensable d'avoir une image pré-traitée de bonne qualité (contours non bruités, fermés et complets); un éclairage par "ombres chinoises" est tout à fait adapté à ces contraintes.
- le réglage des probabilités a priori, le choix des critères les plus discriminants et la mise au point des seuils de reconnaissance sont relativement délicats; différents travaux ont déjà été effectués sur le sujet.

En résumé, si la méthode est simple en théorie, elle est exigeante en contraintes d'applications. Elle ne peut être efficace que si les objets observés sont isolés, sans quoi les mesures ne sont plus significatives. D'autre part, des critères globaux tels que la surface ou le périmètre ne donnent pas d'indications sur la forme de l'objet; c'est en fait une méthode moins "intelligente" que les techniques dites analytiques. Cependant, la méthode de Bayes a l'avantage d'être rapide (cela dépend du nombre et du type de critères à extraire) et facile à mettre en oeuvre.

2.2.4) Les méthodes *analytiques*

2.2.4.1) Introduction

La forme est caractérisée par des éléments de contours (arc de cercle, segments de droite, angle, courbe,...). Nous avons recensé trois classes de méthodes analytiques, chacune d'entre elles ayant un domaine d'application précis :

- les méthodes *syntaxiques*, basées sur des primitives chaînées,
- les méthodes *syntaxiques à attributs*, basées sur des primitives chaînées et positionnées,
- les méthodes *de prédiction-vérification*, basées sur des primitives positionnées.

(ROC 88) décrit ces méthodes analytiques et précise leur domaine d'application :

"les méthodes syntaxiques ne sont pas à proprement parler des méthodes souples (apprentissage difficile), mais elles offrent des algorithmes rapides capables de résoudre les problèmes les plus fins. Toutefois, elles ne permettent pas de travailler sur des objets partiellement cachés ou des images bruitées où l'extraction de chaînes complètes est impossible; ceci limite leur domaine d'applications".

Nous nous sommes donc naturellement orientés vers les méthodes dites de prédiction-vérification.

2.2.4.2) La méthode de prédiction-vérification

2.2.4.2.1) Description de la méthode

Processus ascendant ou descendant ?

L'objet de cette méthode est l'identification et la localisation d'objets partiellement visibles (ce peut être des objets qui se recouvrent, qui débordent partiellement du champ image, ou dont le contour est discontinu, parasité, etc.). Deux démarches antagonistes s'opposent dans les algorithmes de reconnaissance de formes :

- une analyse *ascendante*, où l'on exploite de manière exhaustive toute l'information contenue dans l'image lors de la génération d'indices visuels (extraction de primitives à partir de l'analyse de contours); le problème majeur est l'explosion combinatoire du nombre de données à traiter, d'où des temps de traitements souvent importants (le nombre de solutions possibles à considérer est élevé) et des problèmes de capacité mémoire;
- une analyse *descendante*, où l'interprétation est "guidée" en fonction de l'objectif à atteindre. On n'extrait alors à partir des contours uniquement l'information nécessaire pour atteindre le but. Cependant, si le caractère descendant devient trop fort, le système risque d'avoir des "hallucinations", c'est

à dire de ne pas interpréter correctement les informations présentes dans l'image.

La méthode de prédiction-vérification réalise un compromis entre analyse ascendante et descendante : l'identification débute par l'extraction d'indices de façon non contrainte (phase ascendante), puis se poursuit par des cycles de génération (ou prédiction) - vérification d'hypothèses qui nécessite la recherche d'informations complémentaires dans l'image (phase descendante).

Le choix des indices visuels

Il faut également souligner le choix des indices visuels utilisés pour l'interprétation. La classification de Bolles et Cain (BOL 82) décrit trois types d'indices :

- les indices *globaux* tels que surface, périmètre qui n'ont d'utilités que pour des objets complètement visibles,
- les indices *locaux* tels que coin, petit trou utiles dans le traitement des scènes contenant des objets partiellement visibles, leur extraction est cependant assez sensible au bruit et ils ne sont pas très fiables du fait de leur petite taille,
- les indices *intermédiaires*, tels que segments de droite ou arcs de cercle, plus fiables que les indices locaux.

Il faut noter les différences fondamentales qui existent entre les indices utilisés par les systèmes de prédiction vérification et les indices utilisés par les modèles syntaxiques : les premiers sont localisés dans le repère image, alors que les seconds n'ont de signification spatiale que par leur juxtaposition les uns par rapport aux autres. Les indices intermédiaires sont plus lourds à traiter, mais plus riches de signification.

Etalonnage

Les indices sont extraits dans un repère image, dont l'unité de base est le pixel. L'algorithme d'interprétation va pour sa part travailler dans un repère objet (ou repère réel), dont l'unité est définie par l'utilisateur. La phase d'étalonnage préalable à toute interprétation établit la transformation entre ces deux repères.

Modélisation

Un modèle d'objet (figure 10) se compose d'un ensemble d'indices visuels, exprimés dans un repère objet, chaque indice étant indépendant. Cette liste d'indice ne contient pas forcément tous les indices qui peuvent être associés à l'objet; elle doit toutefois être suffisante pour que l'objet soit discriminé des autres. Ces indices sont :

- soit déduits d'un modèle CAO ou d'une définition textuelle de l'objet,

- soit appris par présentation de l'objet au capteur.

nom de l'objet		
indice 1	indice 2	indice n
droite	arc de cercle	
centre: x , y orientation: théta mesures : l	centre: x , y orientation: théta mesures : l1 , l2	

figure 10 : Modèle d'objet

Reconnaissance

La reconnaissance comprend trois phases :

- le système extrait à partir de l'image des contours une première série d'indices;
- sur la base de ces indices, le modèle de génération d'hypothèses recherche une liste d'hypothèses cohérentes par rapport à l'objectif initial. Une hypothèse représente l'association d'un modèle d'objet et d'un ensemble d'indices présents dans l'image. Signalons que l'objectif peut être indifféremment l'identification d'une ou de plusieurs occurrences d'un objet particulier ou d'objets différents;
- une hypothèse étant émise, un module de confirmation d'hypothèses apprécie sa vraisemblance. Si la confirmation échoue, le système passe à l'hypothèse suivante.

3.2.4.2.2) Comparaison de deux systèmes existants

N. Ayache (AYA 83) et V.Souvignier (SOU 83) ont proposé deux algorithmes basés sur ce principe de prédiction-vérification. Ces deux systèmes, qui travaillent tous deux sur des indices de type segments de droite, diffèrent sur quelques points :

Segmentation

Chez Ayache : le système utilise des segments de droite de petites tailles, ce qui a pour conséquence de multiplier le nombre d'hypothèses engendrables ainsi que le nombre d'indices par modèle (une quinzaine environ). Du fait de la petite taille des segments, la segmentation est moins stable.

Chez Souvignier : elle utilise des segments de grande taille, permettant une modélisation moins coûteuse (5 à 6 droites par modèle) et une génération d'hypothèses moins explosive. La segmentation est plus stable que chez Ayache.

Modélisation

Chez Ayache : la modélisation est réalisée par présentation de l'objet à la caméra.

Chez Souvignier : la modélisation se fait manuellement, l'opérateur indiquant les segments de droite les plus discriminants.

Génération d'hypothèses

Les hypothèses sont établies par comparaison des longueurs des indices et de leur orientation respective, le problème étant d'éviter une explosion combinatoire du nombre de ces hypothèses.

Chez Ayache : une hypothèse est engendrée à partir d'une seule correspondance image-modèle; le système réduit le nombre d'hypothèses en comparant les segments les plus long,

Chez Souvignier : une hypothèse est engendrée à partir de plusieurs correspondances image-modèle; le processus est plus long mais génère moins d'hypothèses.

Confirmation d'hypothèses

Pour confirmer une hypothèse, le système fait successivement des prédictions qu'il essaie de valider en recherchant des indices à des endroits prédéterminés.

Chez Ayache : le système recalcule la transformation positionnelle modèle - liste d'indices, introduite par chaque nouvel indice, à l'aide d'une application récurrente du filtre de Kalman. Du fait de la petite taille des segments, l'hypothèse de départ donne une position imprécise qu'il faut réévaluer tout au long du cycle de prédiction-vérification.

Chez Souvignier : La transformation n'est pas réévaluée à chaque nouvel indice, car elle varie très peu du fait de la qualité de la première hypothèse. Lorsque l'objet est identifié, elle peut toutefois être affinée en tenant compte de tous les indices par application de la méthode des moindres carrés.

Fin de confirmation

La fin de confirmation est à peu près identique chez les deux auteurs. A chaque itération, un score de qualité est affecté à l'hypothèse en cours; si ce score est supérieur à une borne prédéfinie, l'objet est reconnu, sinon on épuise toutes les hypothèses et le système échoue. Ce score de qualité est inversement proportionnel au degré d'occultation de la pièce; il tient compte également de chaque correspondance indice image - indice modèle.

Localisation

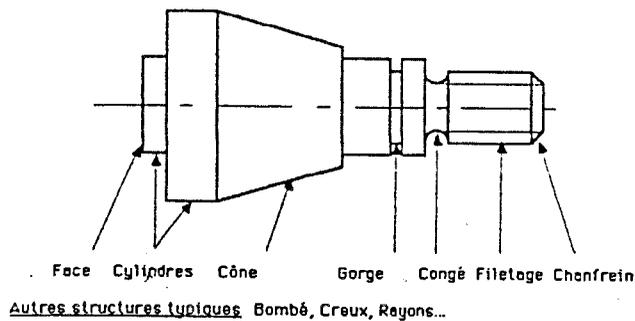
De par la nature de la méthode, la localisation de l'objet dans le repère image se fait parallèlement à sa reconnaissance.

3.2.4.2.3) Notre implémentation

Modélisation

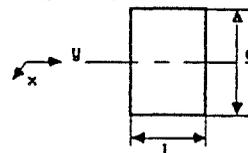
Un modèle d'objet est défini par un ensemble non ordonné d'indices de type segments de droite; nous avons limité de cardinal de cet ensemble à 20. La modélisation est réalisée par apprentissage direct; l'objet est présenté sous toutes ses positions d'équilibre au capteur; on applique alors l'outil de segmentation (extracteur de droites). Dans le cas d'objets de révolution (pièces de tournage par exemple), l'objet est modélisé par une simple description textuelle en terme d'entités élémentaires (cylindre, cône, chanfrein,...). (figure 11).

FIGURE 1 Description d'une pièce de tournage par enchaînement de structures typiques



Caractérisation des structures de tournage utilisées en Vision

a) Le Cylindre :

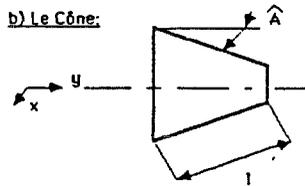


l = Longueur du Cylindre

d = Diamètre du Cylindre
= Espacement entre 2 droites parallèles.

Cylindre = Deux droites parallèles de longueur l , espacées de d .

b) Le Cône :



l = Longueur du Cône.

\hat{A} = Angle entre la génératrice et l'axe du repère.

Cône = Deux droites non parallèles faisant un angle \hat{A} avec un axe du repère et de longueur l .

figure 11 : description d'une pièce de tournage par enchaînement d'entités

Une hypothèse se compose de :

- un nom d'objet,
- la position supposée du modèle d'objet dans le plan image (c'est à dire la similitude permettant de passer du repère modèle au repère image),
- la liste des correspondances d'indice modèle à indice image à la base de l'hypothèse,
- un score de qualité établi sur la base des correspondances estimant la validité de l'hypothèse,
- le nombre d'estimations pour la rotation, la translation et l'homothétie.

Le module de génération d'hypothèses

Le module de génération d'hypothèse doit fournir au module de confirmation les hypothèses selon l'ordre suivant : de la plus probable à la moins probable. Le problème de l'explosion combinatoire s'exprime facilement :

si l'on considère une image où 30 indices ont été extraits; l'objet recherché est susceptible d'appartenir à 1 classe parmi 10, et chaque modèle comporte en moyenne 10 indices. Le nombre d'hypothèses possible est : $30 * 10 * 10 = 3000$ hypothèses.

Nous sommes donc amenés à appliquer des critères de plausibilité :

- les hypothèses construites sur les plus grands indices apparaissent comme les plus plausibles,
- les hypothèses construites sur le plus grand nombre de correspondances sont les plus plausibles.

Pratiquement, on choisit parmi les segments de droite extraits le plus grand et on le compare à tous les segments modèles. Lorsque l'on en trouve un de longueur équivalente, deux hypothèses sont possibles à π près. Bien que cette méthode apparaisse élémentaire, les résultats obtenus sont probants.

Le module de confirmation d'hypothèses

Son but est de confirmer une hypothèse émise. La figure 11 présente l'organigramme associé à ce module. Il s'explique de la façon suivante :

- *test de sortie* : l'objet est considéré comme reconnu si :
 - * nombre de correspondances effectuées \geq nombre nécessaire de correspondances,
 - * pourcentage du contour identifié \geq pourcentage nécessaire du contour.
 amélioration possible : affecter un score de qualité à chaque correspondance indice modèle / indice image;
- *prédiction* : il s'agit de déterminer le prochain indice à trouver dans l'image; il suffit de choisir un indice qui n'a pas encore été utilisé;
 amélioration possible : ce choix pourrait être conditionné par un critère "d'importance du segment de droite dans le modèle";
- *correspondance* : il s'agit d'appliquer au segment de droite prédit la similitude courante afin de l'exprimer dans le repère image;
- *extraction* : dans un premier temps, on recherche l'indice dans la liste des indices déjà extraits, puis en cas d'échec on active l'extracteur de droites pour essayer de le trouver dans l'image;

- *comparaison* : on compare l'indice trouvé à l'indice prévu selon des critères de longueur, d'orientation et de position; en cas d'échec, on refait une nouvelle prédiction;

- *réestimation de la similitude* : le nouvel indice entraine une réévaluation de la similitude; le calcul se fait par récurrence.

La figure 12 présente le principe de fonctionnement de l'algorithme.

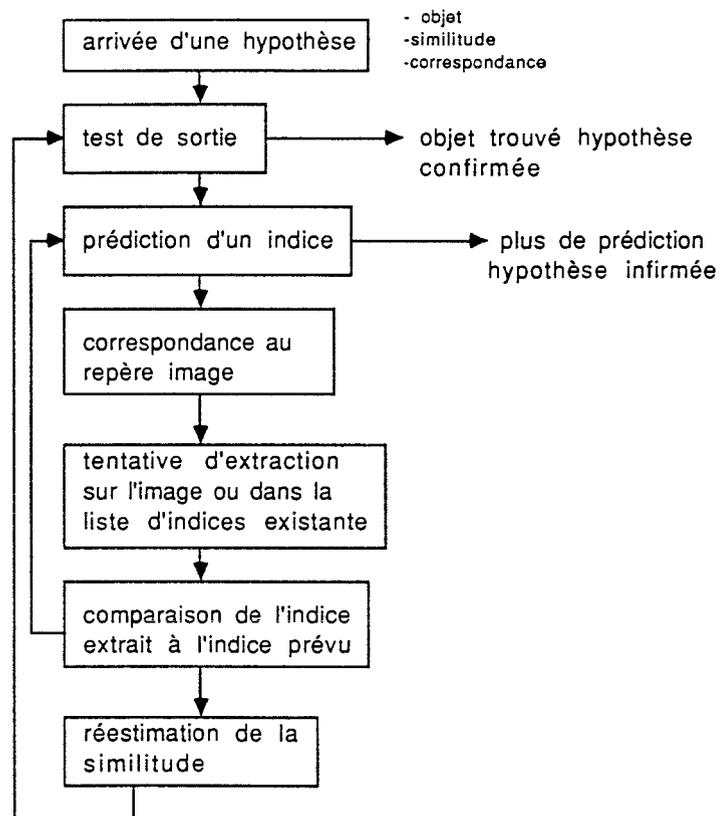


figure 12 : le module de confirmation d'hypothèse

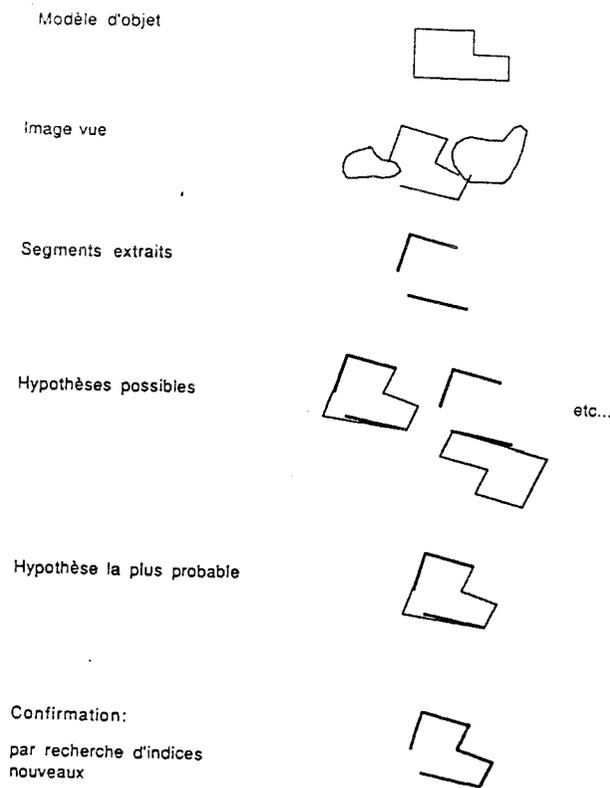


figure 13: principe de fonctionnement

Calcul de la similitude

Pour localiser un modèle d'objet dans l'image, on est amené à calculer une similitude plane du type : Translation * Rotation * Homothétie. Cette similitude nous permet de passer du repère modèle objet (repère dans lequel est modélisé l'objet) au repère image objet (repère qui situe l'objet dans l'image).

HOMOTHETIE :	$\vec{H}(\vec{V}) = K\vec{V}$ (K facteur d'homothétie)
ROTATION :	$R(\vec{V}) = \begin{pmatrix} \cos(\text{teta}) & -\sin(\text{teta}) \\ \sin(\text{teta}) & \cos(\text{teta}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{V} \\ \end{pmatrix}$ (matrice de rotation)
TRANSLATION:	$\vec{T}(\vec{V}) = \vec{Tr} + \vec{V}$ (Tr vecteur de translation)

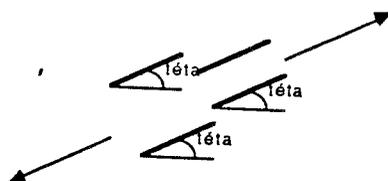
Soit $M(x,y)$ un point du plan modèle, l'image de M par la similitude est :

$$f(M) = \begin{bmatrix} \text{Tr}x + K (x \cos(\text{teta}) - y \sin(\text{teta})) \\ \text{Tr}y + K (x \sin(\text{teta}) + y \cos(\text{teta})) \end{bmatrix}$$

Il faut dans la pratique déterminer les paramètres teta, T_x et T_y ($K=1$ si l'étalonnage est correct); il existe deux solutions selon que la position de l'objet est partiellement ou complètement connue.

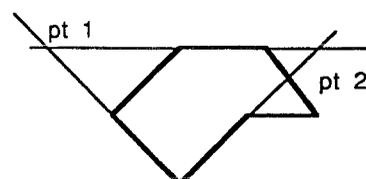
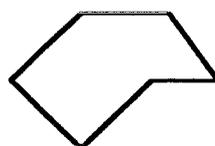
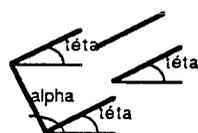
Le positionnement est partiel si tous les segments définissant la position ont la même orientation; on voit sur l'exemple suivant qu'il existe un degré de liberté suivant l'axe du cylindre; dans ce cas :

- * teta = moyenne de tous les angles,
- * T_x = moyenne de tous les T_x sur chaque segment,
- * T_y = moyenne de tous les T_y sur chaque segment (calculé à partir des centres des segments),
- * $K = 1$ (étalonnage).



Le positionnement est complet si au moins deux segments définissant la position ont une orientation différente. Dans ce cas :

- * teta = moyenne de tous les angles,
- * T_x et T_y sont déterminés à partir de points particuliers, intersection de deux segments à orientations différentes (ces points n'appartiennent pas forcément à l'objet).



T_x et T_y peuvent être déterminés soit:
par pt 1, ou pt 2 .

Résultats

La figure 14 présente quelques résultats de reconnaissance de pièces.

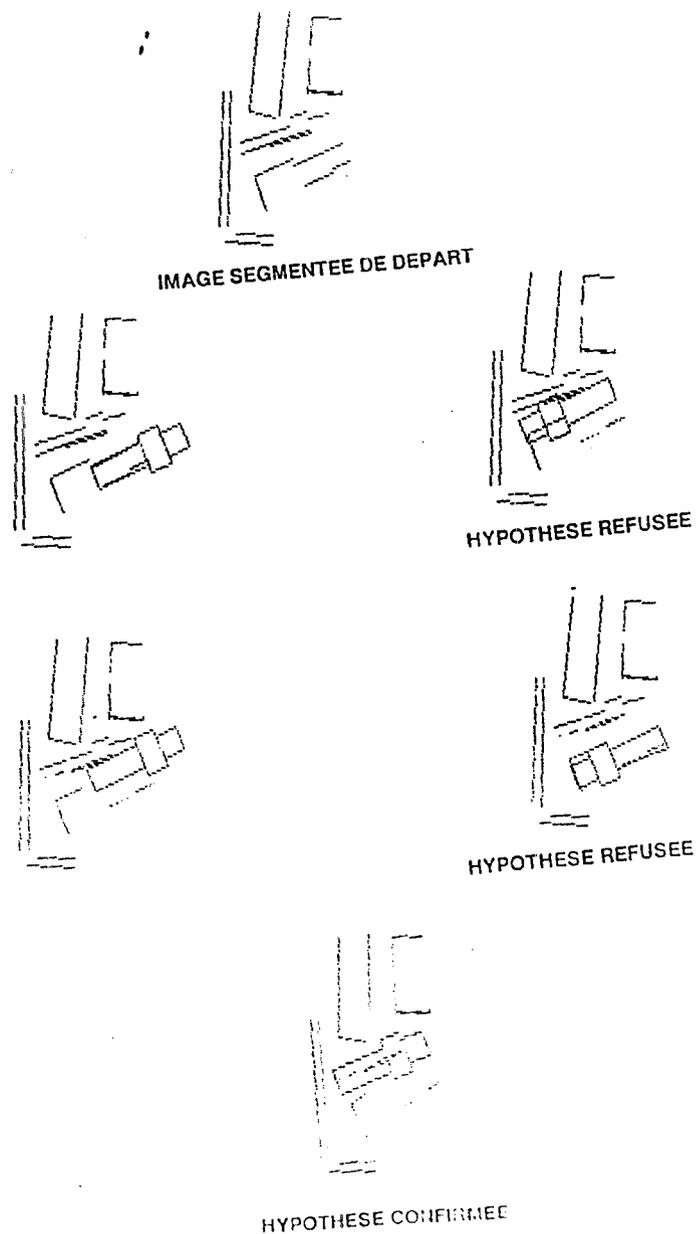
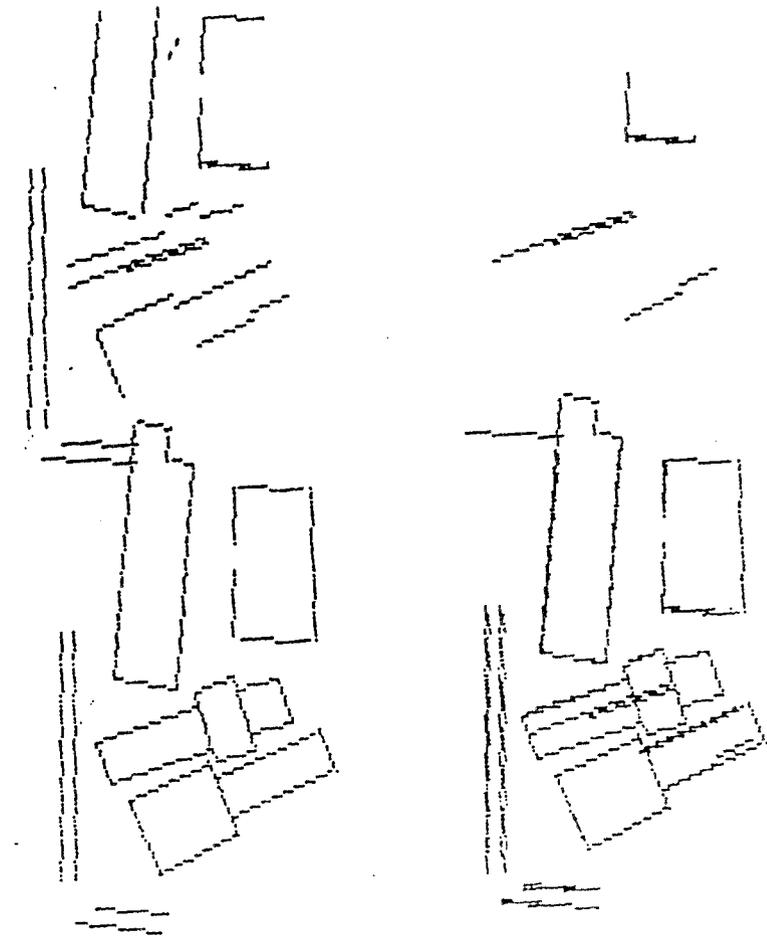


IMAGE SEGMENTEE DE DEPART

SEGMENTS DE DROITE RESTANTS
(NON UTILISES)



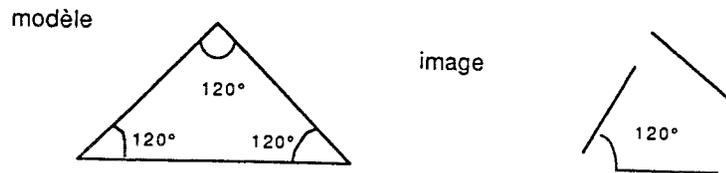
TEMPS DE REPONSE : 3 SECONDES

figure 14: Application de la méthode de prédiction-vérification

Améliorations possibles

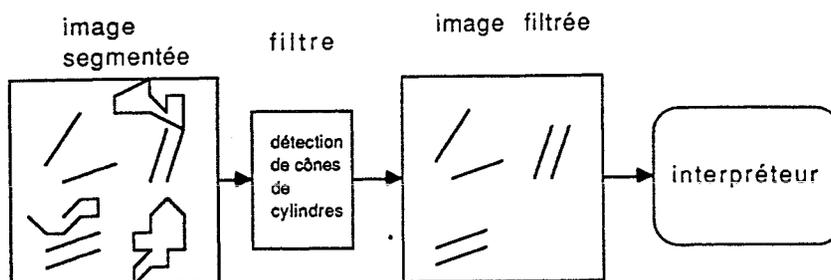
Exploiter les écarts angulaires entre segments

Il est possible d'améliorer le générateur d'hypothèses en le faisant travailler sur l'écart angulaire des segments de droites. Dans l'exemple suivant, bien que l'algorithme ne puisse générer aucune hypothèse valable sur les longueurs, il peut cependant identifier l'objet en se basant sur les angles.



Filtre de structures

D'autre part, nous pourrions rendre le processus plus rapide en filtrant les résultats issus de la segmentation, dans le but de détecter des entités telles que cylindre, cône,... à valeur informative plus élevée afin de faciliter l'interprétation.



2.3) Le couplage robot / vision

La manipulation, par un robot, d'objets identifiés et localisés par un capteur vision pose le problème du calibrage robot-vision, c'est à dire de la détermination de la matrice de passage d'un référentiel image à un référentiel robot. La figure 15 illustre ce problème :

- R_i est la projection du repère image sur le plan de travail,
- R_o est le repère d'observation de l'objet (déterminé par rapport au repère R_i), c'est-à-dire le repère associé au modèle d'objet ,
- $R_{pièce}$ est un repère associé à la pièce,
- R_s est le repère station, référentiel de travail du robot.

Saisir la pièce avec le robot signifie déterminer la transformation T_1 (repère prise / repère pièce). L'objet du calibrage robot/vision est d'évaluer la transformation T_4 (repère image / repère station).

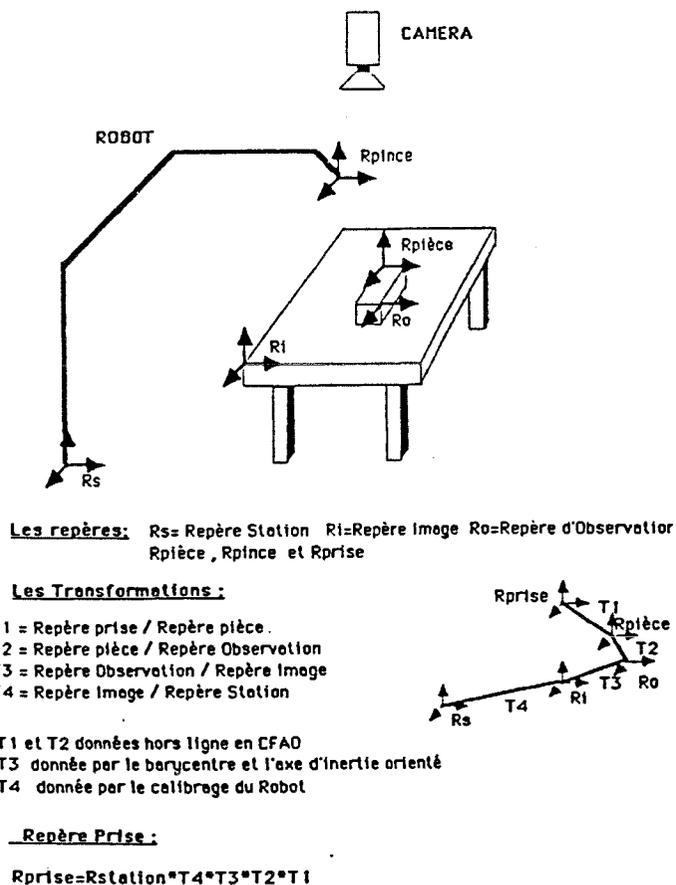


figure 16 : Préhension d'un objet

2.3.1) La méthode de projection-perspective

Le calibrage d'un système de vision sert à établir une correspondance entre une scène réelle et sa représentation image; il s'agit de déterminer un "modèle de caméra". Nous présentons la méthode dite de "projection perspective", les notations utilisées étant celles de (ITM.85).

Le modèle s'exprime sous forme d'une matrice 4×3 , qui fait correspondre des points de la scène 3D à des points du plan image 2D. Il existe plusieurs possibilités pour la détermination d'un modèle de caméra; le modèle proposé est mathématiquement simple (figure 16).

11 équations sont suffisantes pour déterminer une solution de C. Chaque association entre un point (x,y,z) de l'espace et un point (U,V) de l'image fournit deux équations. Ces associations doivent être établies à partir de points visibles se trouvant à des positions connues, appelés "points de contrôle". Si le nombre d'équations est supérieur à 11, le système est sur-déterminé et il faut procéder à une approximation au sens des moindres carrés pour trouver une solution optimale.

2.3.2) Applications

Nous avons utilisé cette méthode de calibrage pour évaluer la transformation entre le système de vision et le robot pour la saisie des pièces sur le poste de brut en mono-vision, puis en stéréo-vision.

utilisation d'une caméra

Si la méthode de projection-perspective est simple, le problème reste de trouver des points de contrôle, dont les coordonnées sont connues à la fois dans le référentiel image et dans le référentiel robot. Une technique consiste à présenter une mire (par exemple, une matrice de disques noirs sur un fond blanc) à la caméra; le système de vision détermine alors le barycentre de chaque cible, ces cibles étant ensuite "pointées" par le robot.

Afin "d'automatiser" cette opération, nous avons préféré une mire embarquée dans la pince du robot; ce dernier positionne la mire en différents points de l'espace appris ou calculés, et déclenche pour chaque point le traitement vision associé. Nous prenons usuellement 27 points de contrôle (9 points dans trois plans), ce qui fournit 54 équations. Le système étant alors sur-déterminé, nous procédons à une approximation par application de la méthode des moindres carrés. L'intérêt de cette technique est double :

- on peut modifier aisément les coordonnées des points de contrôle, en fonction par exemple de la zone de travail du robot,
- si la mire reste accessible par le robot, celui-ci a la possibilité d'effectuer rapidement une auto-calibration suite par exemple à une intervention humaine

pour un nettoyage des objectifs caméras, ou pour répondre à une demande de diagnostic.

L'exploitation de ce modèle de caméra se fait de la façon suivante :

Soit un objet présent sur la scène, identifié par application d'une méthode de reconnaissance de formes. La prise d'image fournit les contours de la face supérieure de l'objet. Un point $M_{\text{réel}}(X,Y,Z)$ de cet objet se projette alors en un point $M_{\text{image}}(U,V)$ dans le plan image associé à la caméra. L'analyse des contours de l'objet permet la localisation de l'objet dans le repère image, par détermination du barycentre $G_{\text{image}}(U,V)$ et de l'axe de symétrie en coordonnées polaires $S_{\text{image}}(\text{ro}, \text{teta})$. Les équations associent au point G_{image} une ligne de vue sur laquelle se trouve le point $G_{\text{réel}}$ appartenant à l'objet. La connaissance de l'altitude de la face supérieure de l'objet par rapport au plan de travail fixe le paramètre Z , ce qui permet le calcul des paramètres X et Y . L'orientation de l'axe de symétrie est utilisée pour le calcul de l'orientation de la pince du robot.

utilisation de deux caméras

L'utilisation de deux caméras (stéréovision) assure la détermination de l'altitude de l'objet (sa côte en Z). La calibration est effectuée pour chaque caméra. Un point $M_{\text{réel}}(X,Y,Z)$ se projette alors en un point $M1_{\text{image}}(U1,V1)$ dans le plan image associé à la caméra 1 et en un point $M2_{\text{image}}(U2,V2)$ dans le plan image associé à la caméra 2. La connaissance de $M1_{\text{image}}$ et de $M2_{\text{image}}$ permet le calcul de $M_{\text{réel}}$.

Tout le problème de la stéréovision est de réaliser l'appariement des points $G1_{\text{image}}$ et $G2_{\text{image}}$. Différents algorithmes ont été développés. (FAU 88) propose une méthode consistant en l'appariement de segments de droites. Nous avons utilisé la stéréovision dans un cas beaucoup plus simple : l'objet que l'on veut localiser par rapport au référentiel robot est identifié dans les deux images; nous mettons ensuite en correspondance les barycentres des deux modèles d'objets reconnus. La précision est fonction de la taille des champs observés, et de l'écart angulaire entre les axes optiques des caméras.

Soient U, V , les coordonnées d'un point image. Exprimé en coordonnées homogènes, ce point est représenté par (u, v, t) avec $U = \frac{u}{t}$ $V = \frac{v}{t}$

Soit C la matrice "modèle de caméra" à déterminer :

$$C = (C_{ij}) \quad \begin{array}{l} 1 \leq i \leq 4 \\ 1 \leq j \leq 3 \end{array}$$

C_j = vecteur colonne de C .

Pour chaque point (x, y, z) de l'espace, il faut que C vérifie :

$$(x, y, z, 1) * C = (u, v, t)$$

Ainsi,

$$u = (x, y, z, 1) * C_1$$

$$v = (x, y, z, 1) * C_2$$

$$t = (x, y, z, 1) * C_3$$

En développant et en tenant compte des relations $u - Ut = 0$
 $v - Vt = 0$

$$xC_{11} + yC_{21} + zC_{31} + C_{41} - UxC_{13} - UyC_{23} - UzC_{33} - UC_{43} = 0$$

$$xC_{12} + yC_{22} + zC_{32} + C_{42} - VxC_{13} - VyC_{23} - VzC_{33} - VC_{43} = 0$$

C étant exprimée en coordonnées homogènes, le facteur d'échelle n'a pas d'importance. Ainsi C_{43} peut être mis arbitrairement à 1. Ceci permet d'écrire les équations ci-dessus sous forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} x^1 & y^1 & z^1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -U^1x^1 & -U^1y^1 & -U^1z^1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x^1 & y^1 & z^1 & 1 & -V^1x^1 & -V^1y^1 & -V^1z^1 \\ \vdots & \vdots \\ x^2 & y^2 & z^2 & 1 & . & . & . & . & . & . & . \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x^n & y^n & z^n & 1 & -V^n x^n & -V^n y^n & -V^n z^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{11} \\ C_{21} \\ \vdots \\ C_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U^1 \\ V^1 \\ \vdots \\ U^n \\ V^n \end{bmatrix}$$

11 équations sont suffisantes pour déterminer une solution de C . Chaque association entre un point (x, y, z) de l'espace et un point (U, V) de l'image fournit deux équations. Ces associations doivent être établies à partir de points visibles se trouvant à des positions connues, appelés "points de contrôle".

Si le nombre d'équations est supérieur à 11, le système est sur-déterminé et il faut procéder à une approximation au sens des moindres carrés pour trouver une solution optimale.

figure 16 : La méthode de projection-perspective

3) Applications : intégration des développements vision dans l'îlot automatisé de production

3.1) Intégration du système de vision d'un point de vue services

Les services de communication

Le système de vision est une ressource partagée par les différents équipements (robot, tour) et péri-équipements (montage d'usinage du CU60, porte-pièce associé au poste d'entrée de la cellule).

La figure 17 présente l'intégration du système de vision dans la cellule d'un point de vue communication :

- Les **communications de type DNC1** sont assurées par un réseau ETHERNET et / ou un réseau LAC selon les équipements. Un serveur NOVELL permet l'archivage et le partage de fichiers (données de contrôle, programmes,...).

- les **communications de type DNC2** sont supportées par différents médiums. Un réseau de topologie "étoile", supervisé par le contrôleur de cellule (calculateur SOLAR dans un premier temps, puis calculateur INTEL ensuite), permet la coordination des équipements (robot, centre d'usinage, tour..) via des Modules d'Interfaces Programmables ou MIP (LEP 86). Le PC_vision est actuellement connecté en mode DNC2 :

- * au montage d'usinage embarqué du centre d'usinage via un réseau JBUS pour le bouclage du processus de prise - pose de pièces par le robot (confère §4),
- * au poste de conduite de la cellule via une liaison série pour valider les fonctions de type services (configuration à distance, diagnostic,...).

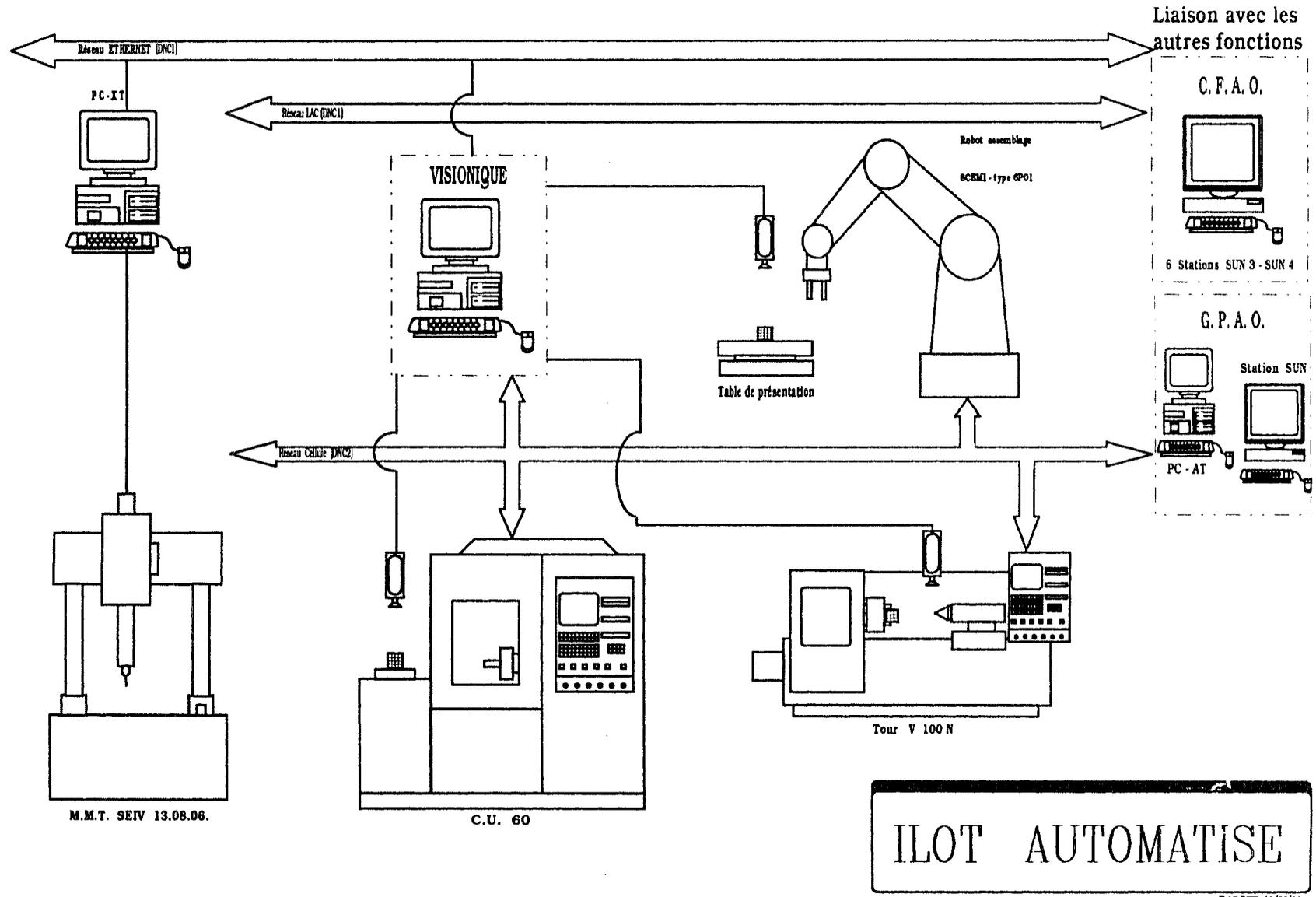
La connection avec le tour consistera en une extension du réseau JBUS (une NUM760 devrait remplacer très prochainement la commande numérique du tour, actuellement défaillante). Rien n'est encore décidé pour la connection avec le robot (certainement un réseau BITBUS).

Les services liés à la préparation du capteur

Pour la mise en oeuvre du capteur, l'opérateur dispose, en mode local, des utilitaires suivants :

- "*menu.exe*", destiné essentiellement aux opérations de tests et de réglages des caméras et de la carte de numérisation,
- "*utilvis.exe*", qui permet l'étalonnage du capteur, la calibration par rapport à un référentiel machine (application de la méthode de projection-perspective), l'apprentissage des modèles d'objet pour l'algorithme d'identification de pièces,...
- "*vision.exe*"; cet interpréteur de commande (évolutif) permet une utilisation interactive des différents outils développés (reconnaissance de formes, contrôle

Figure 17 : Intégration du système de vision dans la cellule



de plaquette de tournage,...) et facilite ainsi la mise au point des seuils d'interprétation,

- "jbus.exe", qui permet le test du réseau jbus.

Les services liés à l'exploitation du capteur

Un certain nombre de services, accessibles à partir du poste de conduite de la cellule, facilitent l'exploitation du capteur :

- demande d'exécution ou d'abandon d'un travail (il est ainsi possible de se substituer à un équipement pour par exemple vérifier le bon fonctionnement du capteur),
- visualisation / modification de variables (liste des travaux exécutables, liste des clients (équipement) autorisés, seuils de binarisation,...)
- téléchargement d'un fichier (modèle d'objet,...) résidant sur le serveur NOVELL, visualisation d'un fichier de suivi (nombre de mesures effectuées, dérives,...).

Les services liés à la maintenance

La procédure d'auto-diagnostic, présenté à l'annexe 1 est en cours d'implantation.

3.2) Intégration du système de vision d'un point de vue procédés

3.2.1) Détection de présence, identification et localisation des pièces sur le poste d'entrée

3.2.1.1) Le problème

Le poste d'entrée de la cellule est matérialisé par une table, où sont déposées manuellement les pièces brutes destinées à être usinées. Le problème consiste à :

- détecter l'arrivée d'une pièce par vision en observant la scène à intervalle régulier,
- identifier le type de pièce et déterminer son attitude (sa position d'équilibre),
- informer le logiciel de pilotage de la présence d'une pièce,
- localiser la pièce dans le référentiel robot pour sa saisie.

3.2.1.2) Les solutions

Le poste d'entrée ne possédant aucun automatisme ne nécessite pas la présence d'un calculateur particulier. Nous avons retenu comme support du modèle du poste-pièce d'entrée le PC-vision (en toute logique, nous aurions pu également affecter ce modèle au calculateur supportant le pilotage de la cellule ou au calculateur de commande du robot). D'un point de vue organique, ce modèle de poste correspond à une

tâche particulière, réveillée périodiquement par une procédure de délai; à chaque "réveil", la tâche poste émet une demande d'observation de la scène à la tâche PC-vision.

Nous utilisons l'algorithme de prédiction-vérification pour la reconnaissance de la pièce et la méthode de projection-perspective pour le calibrage robot / vision.

3.2.1.3) Les résultats

Nous avons validé l'algorithme de reconnaissance sur site avec deux types d'éclairage :

- éclairage par ombre chinoise, à l'aide d'une table lumineuse protégée par un plastique relativement épais (~15 mm); l'image traitée étant bien contrastée, les pièces présentées sont systématiquement reconnues (cas de pièces isolées).
- éclairage par réflexion; l'image traitée présente dans ce cas des ombres et des parasites dont nous nous affranchissons assez facilement en affinant les seuils de prétraitement et d'identification. Le problème le plus important concerne les pièces de tournage qui présentent des réflexions parasites sources de faux contours lorsqu'elles sont observées "de côté"; l'observation de la section de la pièce ne pose aucun problème.

En mono-vision, la précision de localisation des pièces (dans le référentiel robot) est de l'ordre du millimètre (en X et Y, l'altitude de la pièce est dans ce cas fixée), la largeur du champ observé étant d'environ 300 mm de côté. Nous avons également validé une application de la stéréovision, la précision de localisation de la pièce étant là encore de l'ordre du millimètre (en X, Y et Z). Cette précision était nécessaire pour la saisie de la pièce TOTEM présentée chapitre 2, dans la mesure où l'écart entre son diamètre et l'ouverture maximale de la pince 2 doigts du robot est d'environ 2 mm.

Pour accroître la largeur de champ (et donc les dimensions du poste d'entrée), il est possible :

- soit d'utiliser une carte de numérisation permettant de travailler sur des images de plus grande résolution (512 *512 par exemple),
- soit de localiser approximativement la pièce à l'aide d'une caméra fixe munie d'un objectif de focale plus courte, puis de déterminer avec précision sa position à l'aide d'une caméra mobile, embarquée par exemple sur le préhenseur du robot.

3.2.2) Inspection : surveillance de l'état d'un outil de coupe

3.2.2.1) Le problème

Les réflexions suivantes, concernant la surveillance automatique des outils de coupe, sont empruntées à (TAN 85); il souligne ainsi l'importance de la surveillance du processus d'usinage :

"Plus les opérations d'usinage se modernisent et s'automatisent, plus il est nécessaire, à la fois pour la protection et la rentabilisation d'équipements coûteux, d'assurer en cours d'opération une surveillance efficace garantissant le bon déroulement du processus. Le domaine d'application de la surveillance automatique de l'usinage est donc très large : cette technique se justifie dès lors que productivité et sécurité sont deux objectifs à atteindre simultanément, elle s'impose si la machine doit avoir un fonctionnement autonome".

Les différentes méthodes de surveillance se classent selon trois critères :

- contrôle direct ou indirect,
- contrôle continu ou discontinu
- information fournie booléenne ou non.

L'état de l'outil peut être contrôlé à partir d'*observations directes* réalisées sur les surfaces de l'outil sollicitées pendant l'usinage; ce type de contrôle est généralement réalisé par palpéage électromagnétique, par voie optique ou par des témoins d'usure incorporés dans l'outil.

L'état de l'outil peut être *contrôlé de manière indirecte à partir de la mesure de grandeurs physiques* telles que puissance consommée, efforts de coupe, niveau vibratoire,... qui sont des mesures effectuées pendant le déroulement du processus. Le contrôle d'état de surface de la pièce constitue également une manière indirecte de contrôler l'outil.

Les techniques de mesure indirectes peuvent par principe être effectuées en continu, c'est à dire pendant toute la durée de l'usinage; par contre, les techniques de mesures directes ne peuvent être mises en oeuvre que lorsque la zone de coupe est débarrassée des copeaux et particules de lubrifiant, ce qui implique un contrôle discontinu, entre passes d'usinage.

Le contenu de l'information délivrée par le capteur est soit un résultat binaire (limite de l'usure est atteinte ou non, la pointe de l'outil est dans le champs de contrôle ou non), soit un résultat "continu" (taux d'usure, puissance consommée).

Les procédures utilisées après la détection d'un évènement sont de différentes natures :

- procédures garantissant *la sécurité de fonctionnement* : "arrêt d'urgence", ou "arrêt d'avance", en cas de bris d'outil, risque de collision,

- procédures garantissant *la qualité de la pièce* : "changement d'outil", en cas de limite d'usure, écaillage ou bris de l'arête de l'outil,...
- procédures garantissant *l'efficacité de la machine et de l'outil* : "adaptation avance" ou "adaptation vitesse" selon les défauts détectés. Les techniques de surveillance automatique de l'état des outils de coupe intéressent directement les recherches concernant la commande adaptative des machines-outils. Rappelons que les systèmes de commande adaptative ont pour objet d'adapter les conditions de fonctionnement de la machine aux variations de l'état de l'outil et de l'état de la pièce afin d'optimiser les conditions d'utilisation de la machine et de garantir la qualité de l'usinage de la pièce.

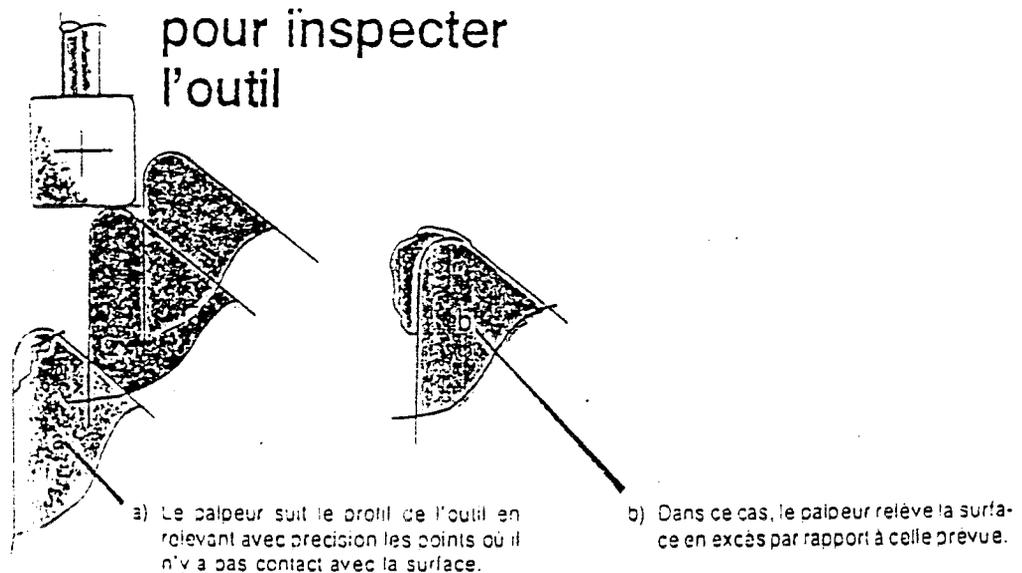


figure 17 : Inspection d'outil par palpage

3.2.2.2) Les solutions

Contribution des capteurs optiques

Différents principes de mesure sans contact ont été mis au point pour mesurer l'usure d'un outil (par exemple l'usure en dépouille d'une plaquette de tournage), et positionner l'outil par rapport au référentiel machine (suppression de l'opération de préréglage des outils sur banc d'étalonnage).

- (GOD 85) utilise la profilométrie laser (observation de la projection d'un plan laser sur l'objet à contrôler par une caméra; en déplaçant l'objet, on obtient ainsi des "coupes" caractéristiques de la forme de l'objet observé); L'usure en dépouille a été mesurée en accord avec les mesures traditionnelles avec une intertitude de 0.05mm;
- (DUC.85) utilise une carte de numérisation équipée d'une caméra CID pour l'observation directe de la plaquette; ce système traite l'usure en dépouille et les petites ébréchures; en ce qui concerne la jauge d'outil, la précision obtenue est de l'ordre de +15 μ m.

Notre approche

Nous nous intéressons actuellement à l'utilisation de la visionique pour :

- identifier le type d'une plaquette à partir de son profil,
- calibrer automatiquement la jauge d'outil,
- surveiller l'usure de la plaquette.

Notre analyse est basée actuellement sur l'analyse du profil extérieur de la plaquette (exploitation des contours); la caméra observe la face supérieure de la plaquette, qui est amenée en position par déplacement de la tourelle porte-outil. Pour les différentes mesures, la précision obtenue dépend de la taille du champ observé, de la résolution du capteur (nous utilisons une caméra CCD d'une résolution de 512*512), mais également de la fréquence d'échantillonnage du signal vidéo (l'image fournie par la carte de numérisation EDGE 90 a une résolution de 256 * 464 pixels).

Identification des plaquettes

L'objet du contrôle du type de plaquette est de déceler une erreur d'affectation d'un outil à un emplacement dans le magasin d'outil. Nous utilisons pour l'identification des plaquettes la méthode de prediction-vérification présentée préalablement. Un modèle de plaquette consiste simplement en deux droites présentant un écart angulaire connu.

Détermination de la jauge d'outil

Le réglage automatique des outils a pour objectif de jauger des outils neufs ou de modifier la jauge des outils usés. Le principe consiste à trouver les coordonnées image du point générateur (extrémité de la plaquette) par calcul du point d'intersection des deux arêtes de la plaquette, puis à effectuer un changement de repère pour exprimer la jauge d'outil dans un référentiel machine (ceci est similaire au problème du calibrage robot-vision). L'étude de faisabilité nous a permis de détecter une variation de l'ordre de 15 μm .

Surveillance de l'usure de la plaquette

Hormis une rupture de la plaquette, les différentes formes d'usure recensées sont les suivantes (figure 18):

- usure en dépouille -> provoque un "méplat" sur le profil de l'arête;
- usure en cratère
- arête rapportée
- écaillage- > provoque une discontinuité du profil de l'arête;
- rupture de la plaquette

- affaissement de l'arête,
- surélévation de l'arête,
- fissure en peigne,
- usure équilibrée.

Nous nous intéressons actuellement à la détection de l'usure en dépouille, principal critère de réforme d'une plaquette. Deux approches sont possibles :

- essayer de corréler la déformation de l'arête tranchante (méplat) à l'usure en dépouille, pour un type d'outil donné; les premiers résultats nous font douter de la validité de cette approche, car trop de paramètres sont à prendre en compte (matière, vitesse de coupe, avance,...);
- trouver des critères de réforme à partir de la déformation d'arête, indépendamment de la mesure classique de l'usure en dépouille.

Trois approches ont été testées :

- 1) analyse des variations de la courbure discrète lors du suivi de contour;
- 2) analyse des variations du rayon de courbure,
- 3) calcul des variations de la distance moyenne (sur 5 zones) entre le contour et le point d'intersection de deux droites tangentes aux bords de la plaquette.

La méthode 1 présente l'intérêt de ne pas nécessiter le calcul des droites tangentes au bord de la plaquette ni de leur point d'intersection. Elle est toutefois moins précise que les deux méthodes 2 et 3. La difficulté dans l'application des méthodes 2 et 3 est due au fait que la tolérance sur la courbure de la plaquette est donnée au 1/10 de mm, ce qui implique de réaliser un apprentissage sur chaque plaquette.

3.2.2.3) Les résultats

L'implantation sur site et l'évaluation du capteur sont en cours, et nous ne pouvons présenter que des résultats partiels. Les figure 19, 20 et 21 présentent respectivement une plaquette neuve, une plaquette faiblement usée ($VB < 0.1$) et enfin une plaquette abimée. Par comparaison à un seuil de rejet, les plaquettes sont considérées comme bonnes ou sont rejetées.

usure en dépouille



usure en cratère



arête rapportée



ecaillage



rupture de la plaquette



affaissement de l'arête



surélévation de l'arête



fissures en peigne



usure équilibré



figure 18 : les différents types d'usure

precision : 5.644154E-03 par pixel
 position centre plaquette : 9.760378E-01 1.088481
 rayon minimum : 8.013767E-01
 rayon maximum : 8.187366E-01
 rayon minimum norm : 7.830374E-01
 rayon maximum norm : 8.000000E-01
 rayon generateur : 8.154772E-01
 taux d'usure plaquette par courbure : 5.135582
 taux d'usure plaquette par distance : 1.956710
 plaquette BONNE par courbure
 plaquette BONNE par distance
 plaquette BONNE par distance et courbure
 taux de rejet : 5.500000

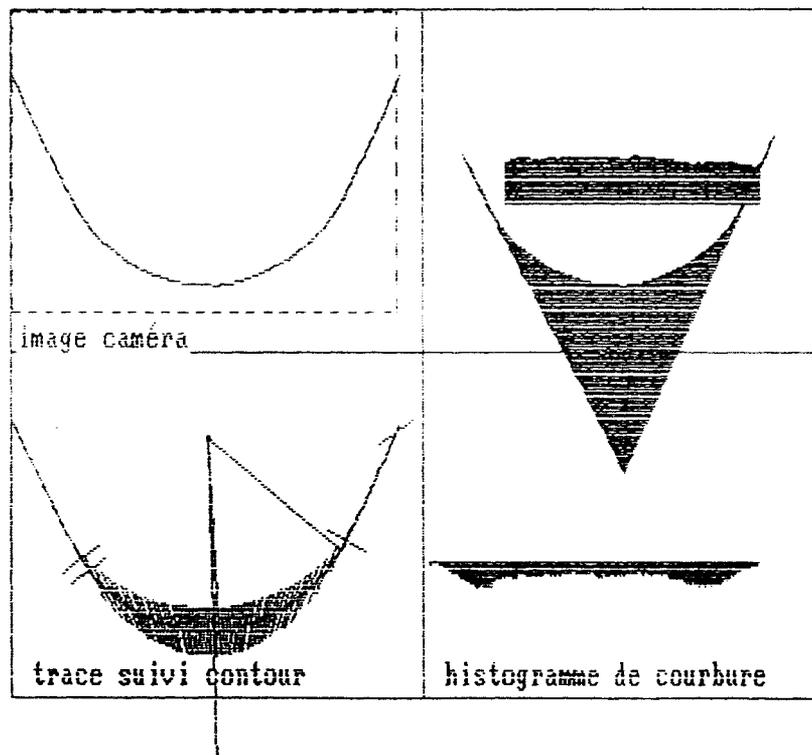


figure 19 : Contrôle de l'usure d'une plaquette de tournage

precision : 5.645980E-03 par pixel
 position centre plaquette : 9.535969E-01 1.020605
 rayon minimum : 7.634971E-01
 rayon maximum : 7.840447E-01
 rayon minimum norm : 7.790343E-01
 rayon maximum norm : 8.000000E-01
 rayon generateur : 7.721843E-01
 taux d'usure plaquette par courbure : 5.529218
 taux d'usure plaquette par distance : 6.756978
 plaquette REJETTEE par courbure
 plaquette REJETTEE par distance
 plaquette REJETTEE par distance et courbure
 taux de rejet : 5.500000

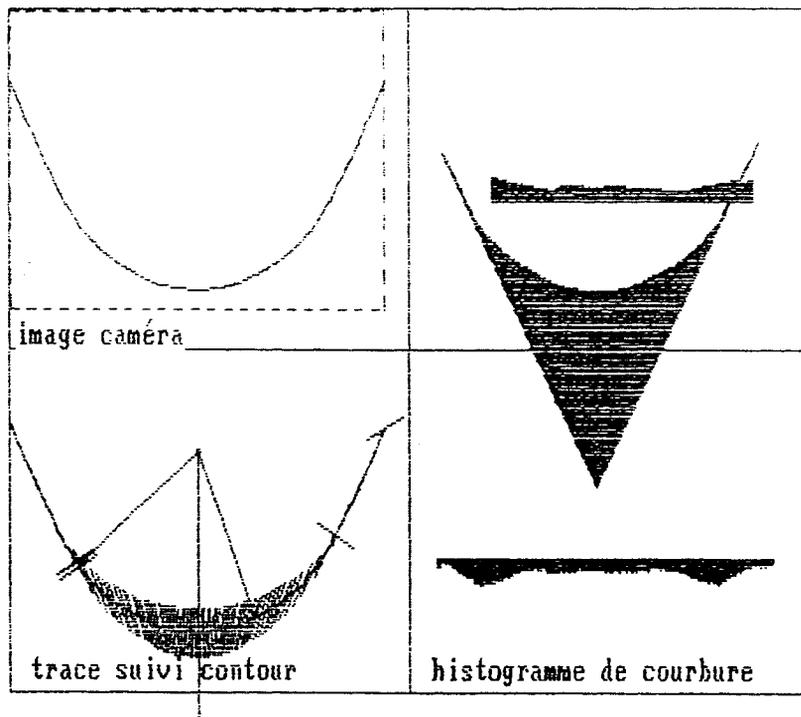


figure 20 : Contrôle de l'usure d'une plaquette de tournage (suite)

```

intgrale de courbure  gauche      :      23.859820
intgrale de courbure  droite     :      30.815450
diffrence des intgrales de courbure :      6.955627
.....
distance moyenne  gauche de l'ate :      1.529205
distance moyenne  droite de l'arate :      1.424712
diffrence des distances moyennes   :      1.044934E-01
distance moyenne de l'ate          :      1.476959
distance minimum de l'ate          :      9.640466E-01
.....
nb de points de courbure :      258
rayon minimum              :      7.490355E-01
rayon maximum              :      8.600826E-01
rayon minimum norm        :      6.967103E-01
rayon maximum norm        :      8.000000E-01
taux d'usure plaquette par courbure :      29.152050
taux d'usure plaquette par distance :      7.334351
plaquette REJETTEE par courbure
plaquette REJETTEE par distance
plaquette REJETTEE par distance et courbure
taux de rejet      :      5.000000
corde :      40

```

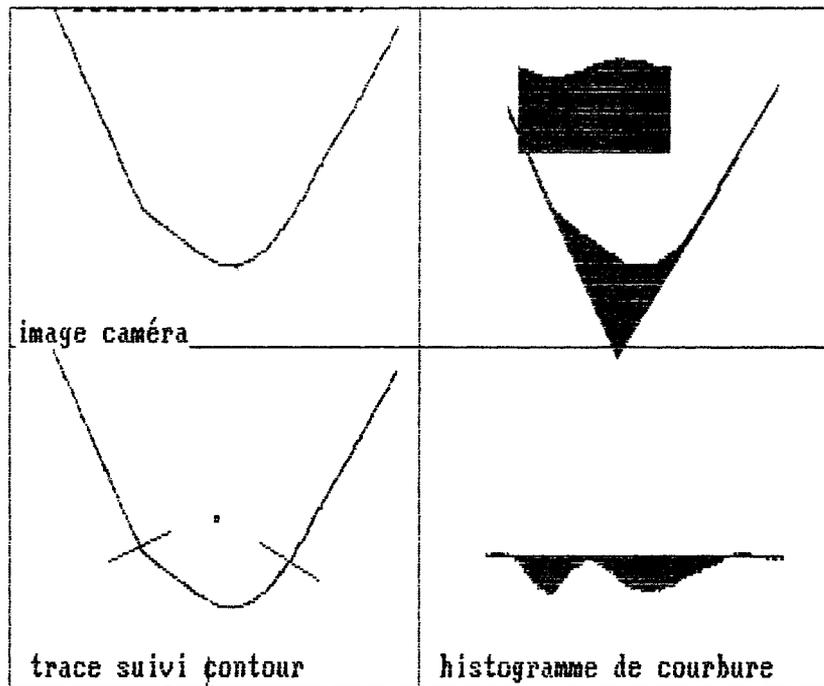


figure 21 : Contrôle de l'usure d'une plaquette de tournage (suite)

3.2.3) Contrôle visuel des opérations de prise-pose d'une pièce par le robot sur un montage d'usinage

3.2.3.1) Le problème

Le problème initial fut exprimé de la façon suivante :

"le montage d'usinage (AIP 89) dispose dans sa version actuelle de deux capteurs de fuite pour vérifier la présence d'une pièce et sa mise en référence. A l'usage, ces capteurs se sont révélés très sensibles à l'état de surface de la pièce, détectant à tort l'absence de la pièce. Or il arrive effectivement que la pièce reste coincée sur l'axe de bridage; il devient alors impossible de savoir si la pièce est ou non présente ou bien positionnée. L'adjonction d'un capteur supplémentaire, de type différent (en l'occurrence un système de vision), devrait permettre l'acquisition d'informations complémentaires afin de pallier à ce problème".

3.2.3.2) Les solutions

Notre objectif est de répondre à ce problème, en soulignant l'ensemble des services complémentaires que pourrait rendre un système de vision pour la surveillance d'une opération apparemment "banale" : la dépose d'une pièce par un robot sur un support.

Il s'agit en fait de "boucler visuellement" un processus de pose ou prise de pièce par le robot sur un montage embarqué sur le centre d'usinage. La formalisation de l'opération de dépose de la pièce par le robot sous forme d'une actinomie permet d'en figer le comportement (figure 22). Nous précisons pour chaque activité élémentaire les opérations de contrôle qu'il nous semble souhaitable et possible d'effectuer par vision.

Après analyse et essais de faisabilité, il apparaît qu'une caméra placée à la verticale du montage pourrait assurer la plupart des contrôles, le PC_vision étant affecté selon les opérations au robot ou au montage. Une seconde caméra, permettant l'observation de la pièce de coté, assure le contrôle de la mise en référence de la pièce par rapport au plateau. Il est ainsi possible de détecter par exemple la présence inopportune d'un copeau d'usinage entre le plateau et la pièce.

D'un point de vue vision, il s'agit essentiellement de problèmes d'*identification* et de *localisation* d'objets par rapport à un référentiel donné; nous utilisons là-encore l'algorithme de prédiction-vérification pour les opérations de reconnaissance.

3.2.3.3) Les résultats

L'implémentation sur site est en cours. Les figures 23 et 24 présentent respectivement la disposition des caméras et la reconnaissance de la pièce "totem" dans l'image.

Actinomie poser PIECE sur POSTE_PIECE_CU60_1

verrouiller ACCOUPLEMENT
 débloquer RONDELLES
 monter SUPPORT-PIECES
 déplacer PIECE à repère PORTE-PIECE_CU60_1
 déplacer PIECE à repère POSE_PIECE_CU60
 ouvrir PINCE_3_DOIGTS
 déliier PIECE de PINCE-3_DOIGTS
 capter présence PIECE
 déplacer PINCE_3_DOIGTS à repère PORTE-PIECE_CU60_1
 déplacer PINCE_3_DOIGTS à repère POSTE-PIECE_CU60_1
 descendre PIECE
 bloquer PIECE
 déverrouiller ACCOUPLEMENT

Actinomie poser PIECE sur POSTE_PIECE_CU60_1

vérifier présence et position MONTAGE
 verrouiller ACCOUPLEMENT
contrôler la position du "bras" d'accouplement
 débloquer RONDELLES
 monter SUPPORT-PIECES
 contrôler absence PIECE sur MONTAGE, position SUPPORT_PIECE, absence COPEAUX
 déplacer PIECE à repère PORTE-PIECE_CU60_1
 déplacer PIECE à repère POSE_PIECE_CU60
 contrôler position PIECE / MONTAGE
 ouvrir PINCE_3_DOIGTS
 déliier PIECE de PINCE-3_DOIGTS
 capter présence PIECE
 déplacer PINCE_3_DOIGTS à repère PORTE-PIECE_CU60_1
 contrôler présence, type PIECE, position PIECE / MONTAGE, conformité PIECE
 déplacer PINCE_3_DOIGTS à repère POSTE-PIECE_CU60_1
 descendre PIECE
 contrôler altitude PIECE / SUPPORT_PIECE
 bloquer PIECE
 déverrouiller ACCOUPLEMENT
contrôler la position du "bras" d'accouplement

figure 22 : Actinomie de pose d'une pièce par le robot sur le montage d'usinage

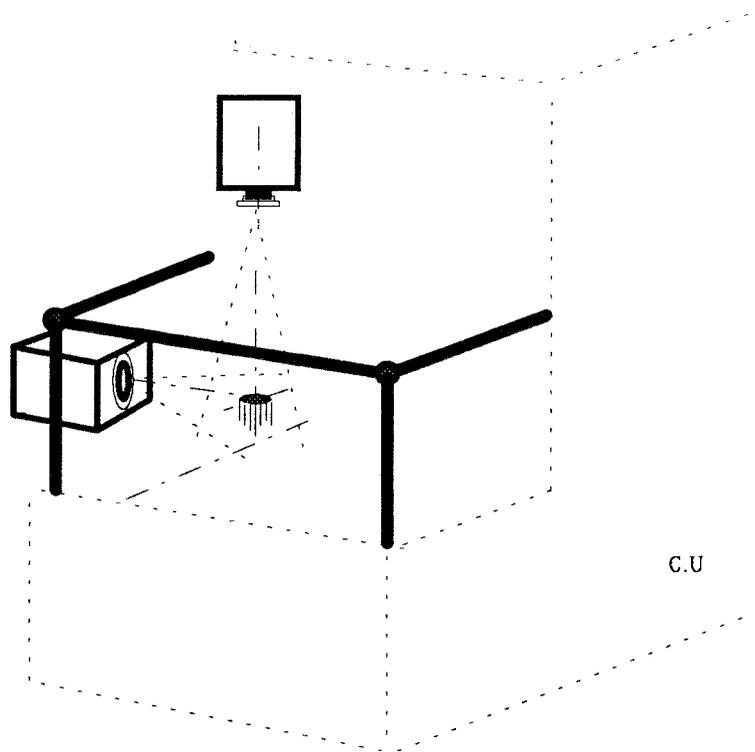


figure 23 : disposition des caméras sur le centre d'usinage

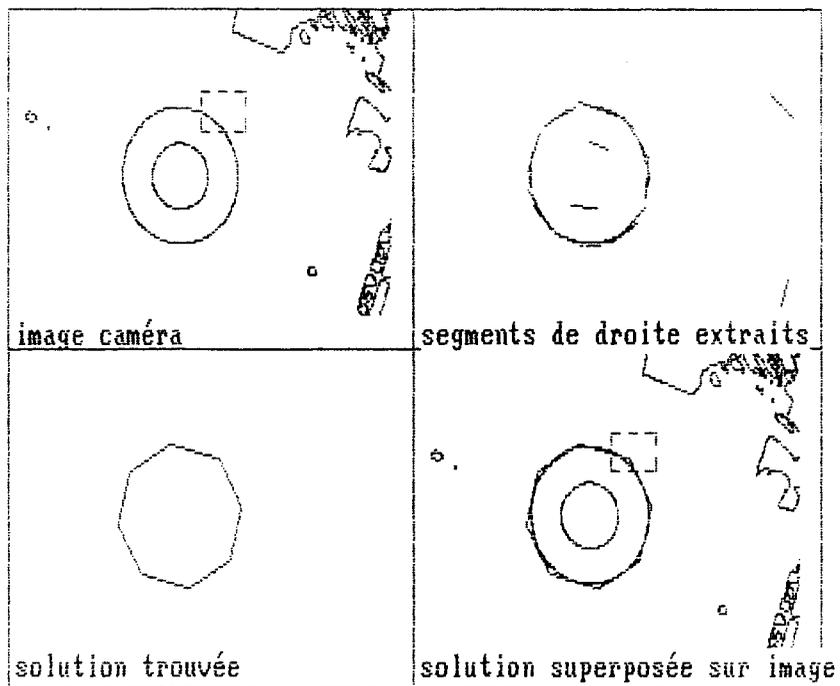


figure 24 : identification de la pièce totem

PERSPECTIVES

Nous avons traité l'intégration d'un système de vision sous deux aspects :

- *intégration d'une fonction vision* dans un système intégré de production (chapitre 2),
- *proposition d'une méthodologie de conception* d'un système de vision en vue d'une *meilleure structuration des traitements* (chapitre 3).

Nous ne saurions ignorer un dernier aspect : l'intégration informationnelle.

Intégration informationnelle : Génération et structuration des données

1) Les données "vision"

Les informations associées au processus de contrôle par vision peuvent se structurer en deux classes :

- des données utiles à sa mise en oeuvre, telles que :
 - * base des composants matériels et logiciels vision commercialisés par les industriels,
 - * base de connaissances (description d'applications, solutions retenues, résultats) complétée au fur et à mesure des réalisations,
- des données (souvents temporaires) utiles à son exploitation, telles que :
 - * modèles d'objets,
 - * fichiers de calibrage,...

La génération de ces informations dépend de leur nature :

- saisie hors-ligne pour les données appartenant à la base de composants et à la base de connaissance
- apprentissage lors de la mise en service des paramètres de calibrage, des seuils de binarisation ou de reconnaissance, ...
- avec les possibilités croissantes de modélisation et de simulation des stations de CAO, génération semi-automatique de certaines informations telles que modèles d'objets, calcul de la position et de l'orientation de la caméra, etc.

et pose le problème de la redondance des données entre les différents procédés (conception de la pièce, usinage, manutention, contrôle-qualité...).

N'ayant abordé que partiellement les aspects structuration et génération des informations vision, nous présentons ci-après nos développements actuels; l'idée essentielle est d'organiser l'ensemble des informations autour du concept d'entité d'usinage (forme élémentaire associée à une trace d'usinage).

2) La notion d'entité : le "dénominateur commun" entre les processus

Le but de notre cellule manufacturière est de produire des pièces usinées d'une qualité déterminée. Les *processus d'usinage*, de *manutention* et de *qualification* collaborent à la réalisation de cet objectif. Leur exploitation requiert un volume important d'informations à gérer, apparemment indépendantes, et pourtant liées par le fait qu'elles concernent un objet commun : la pièce.

Considérant d'une part :

- qu'une *pièce* est une composition d'un nombre fini de *formes géométriques* ou *entités* (une forme se définissant elle-même comme une surface ou une composition de surfaces),

et d'autre part :

- qu'un *outil* de coupe est capable de générer une *forme élémentaire*,

il paraît naturel de considérer cette notion de forme comme le lien privilégié (ou point de rencontre) entre pièce et outil.

De plus, le comportement d'un outil de coupe n'est pas différent du comportement d'un outil de manutention ou de qualification. En effet :

- une *forme usinée*, résultat de la coordination des mouvements d'un porte-pièce et d'un porte-outil, est fonction de la capacité de transformation de l'outil (usinage par point générateur,...),

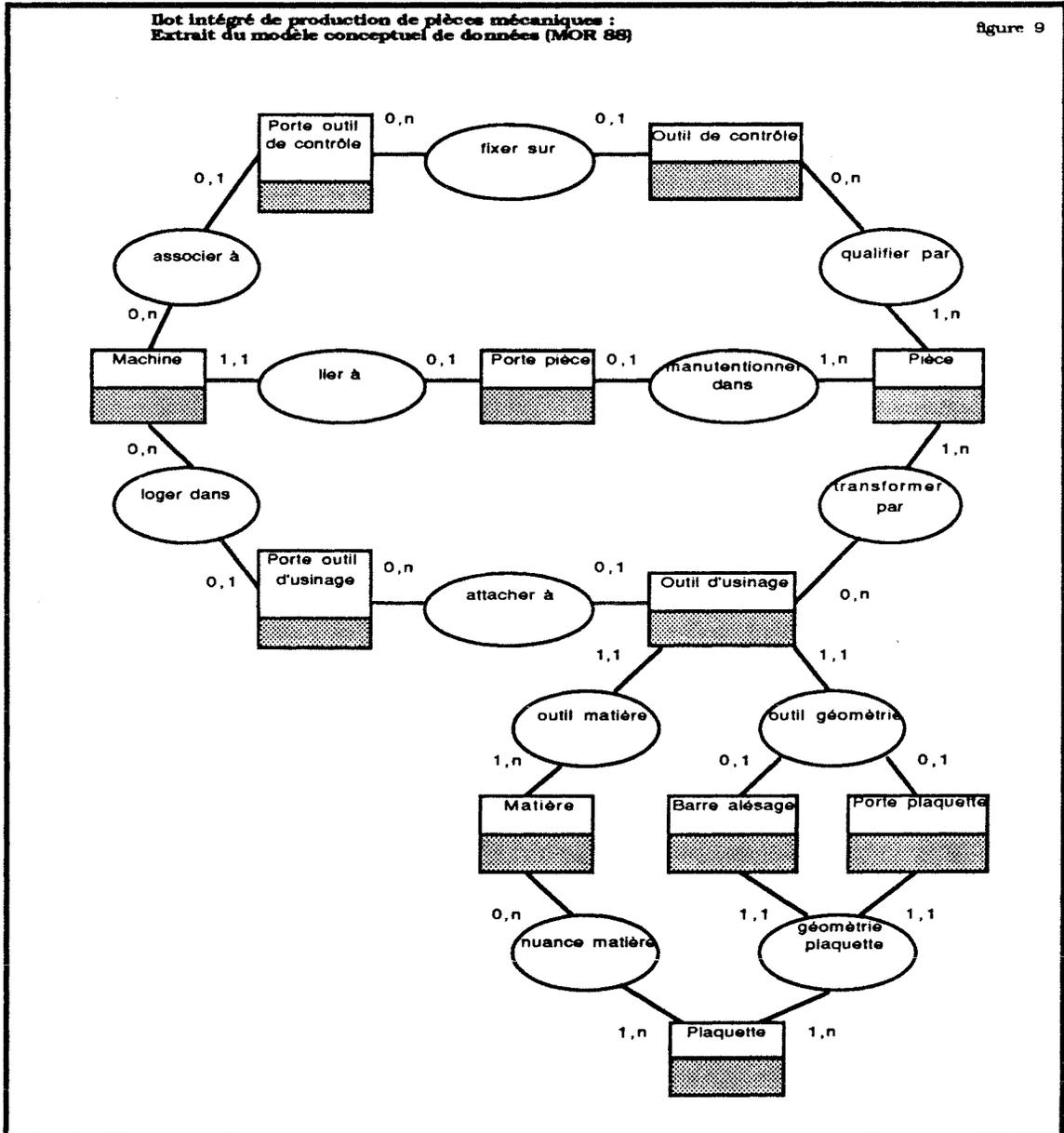
- une *forme qualifiée*, résultat de la coordination des mouvements d'un porte-palpeur et d'un porte-pièce, est fonction de la capacité de mesure du capteur (caractéristique de l'outil de mesure),

- une *forme "saisie par une pince"*, résultat de la coordination des mouvements d'un porte-pièce et d'un préhenseur, est fonction de la capacité de préhension de la pince.

La notion d'entité (ou de forme) apparaît ainsi comme le constituant nécessaire à une organisation unifiée des données (ITM 89) (figure 9).

Lot intégré de production de pièces mécaniques :
Extrait du modèle conceptuel de données (MOR 88)

figure 9



3) Application de la notion d'entité en vision

Paramétrage automatique d'un logiciel de reconnaissance de formes pour des pièces de tournage.

La méthode de prédiction-vérification d'hypothèses présentée au chapitre 4 exploite des modèles d'objets composés d'un ensemble de segments de droites. Pour certaines catégories de pièces (pièces de tournage par exemple), une description textuelle en termes d'entités et de relations de la pièce suffit à générer ces modèles (figure 11 chapitre 4).

Cette méthode a donné des résultats intéressants. Toutefois, à partir d'éléments peu significatifs comme les segments de droites, il est possible d'émettre un très grand nombre d'hypothèses erronées, qui augmentent considérablement le temps de réponse. Une évolution intéressante de cette méthode serait d'utiliser la notion d'entité comme élément de base de cet algorithme de reconnaissance de formes.

Contrôle de la morphologie de pièces de tournage

Une forme élémentaire (gorge, congé, chanfrein) se caractérise par un certain nombre de critères morpho-dimensionnels. A chaque entité de ce type, il est possible d'associer une méthode pour l'usiner ou la contrôler.

Chaque type d'usinage ou méthode de contrôle peut s'exprimer dans le langage de la machine d'usinage ou de contrôle par un Element De Logiciel ou EDL (PTA 89); le programme d'usinage ou la gamme de contrôle résulterait alors de l'enchaînement des ces différents EDL.

Nous développons cette idée en (ROC 91) pour faciliter la génération de gammes de contrôle destinées au système de vision.

CONCLUSION

Le problème d'intégration d'un système de vision dans une cellule de fabrication flexible comporte différents aspects : fonctionnel, structuration des traitements et des données. Nous avons essayé de formaliser le cycle de conception d'un système de vision intégrable en proposant l'utilisation d'outils, méthodes et modèles d'automaticiens.

L'utilisation systématique de méthodologie de ce type assure une approche plus rationnelle des problèmes et permet de réutiliser "l'acquis en archivant le savoir-faire", ce qui répond en outre aux contraintes de flexibilité.

La structuration des processus de contrôle issue de cette méthode confère au capteur les qualités d'auto-contrôle et d'autonomie.

BIBLIOGRAPHIE

- (ADI 85) J.RICHARD, F.LEPAGE
"Réalisation d'un îlot automatisé de production de pièces mécaniques", rapport final, convention de recherche ADI - Université de Nancy 1 82/323
- (ADI 86) G.MOREL, J .RICHARD, F.LEPAGE
"Robotisation d'un îlot de production de pièces mécanique"
convention de recherche ADI - Université de Nancy 1 83/742
- (AIP 89) D.BESOIN, R.DIDELOT, J.P.DRAPIER, P.LHOSTE, G.MOREL, R.THOMAS
"Réalisation d'un montage d'usinage embarqué pour CU60"
AIP Lorrain, Nancy
- (ALA 86) P.ALANCHE, P.LHOSTE, G.MOREL, M.ROESCH, M.SALIM, P.SALVI
"Application de la modélisation de la partie opérative à la structuration de la partie commande"
journées AFCET "Méthodes et outils modernes de conception et d'exploitation de la commande de procédés discontinus complexes"
Montpellier, mars 1986
- (ALA 88) R.ALAMI, H.CHOCHON
"Programmation et contrôle d'exécution d'une cellule flexible d'assemblage"
extrait de l'ouvrage "Techniques de la robotique - perception et planification"
Hermès, Paris, 1988
- (AYA 83) N.AYACHE
"Un système de vision bidimensionnelle en robotique industrielle"
Thèse de l'université de Paris-Sud, centre d'Orsay, 1983
- (AZA 87) I.AZAR, R.H.WESTON
"Integrating vision systems in CIM"
Computer-Aided Engineering Journal, December 1987
- (BAJ 87) E.BAJIC
"Intégration du contrôle qualité en production automatisée : application à un îlot automatisé de fabrication de pièces mécaniques"
Thèse de l'Université de Nancy 1, 1987
- (BEL 89) A.BELHIMEUR
"Contribution à l'étude d'une méthode de conception des automatismes et des systèmes de conduite des processus industriels"
Thèse de l'université des sciences et techniques de Lille Flandres Artois, 1989

- (BES 88) J.E.BESANCON
"Vision par Ordinateur en deux et trois dimensions"
Editions Eyrolles, 1988
- (BOL 82) R.C.BOLLES, R.A.CAIN
"Recognizing and locating partially visible object"
S.R.I Technical note 262, juin 1982
- (BOR 83) P.BORGNA
"VISIR : un système pour la vision en robotique générale"
Thèse présentée à l'INPL de Toulouse, 1983
- (BOU 88) D.A.BOURNE, P.K.WRIGHT
"Manufacturing Intelligence"
Addison-Wesley Publishing Compagny, inc, 1988
- (BRE 75) J.BREMONT
"Contribution à la reconnaissance automatique de la parole par les sous-ensembles flous"
Thèse de Docteur es-Sciences physiques présentée à l'université de Nancy 1, 1975
- (CAL 89) J.P.CALVEZ
"Spécification et conception des systèmes, une méthodologie : MCSE"
Manuscrit, Nantes, septembre 1989
- (CET 85) CETIM
"La surveillance des outils de coupe"
recueil de conférences, Senlis, 13 nov 1985
- (CET 89) CETIM
"Surveillance automatique des outils de coupe sur cellule flexible et tour à commande numérique autonome"
rapport d'étude
- (CIA 87) CIAME - AFCET
"Les capteurs intelligents", réflexion des utilisateurs
note de synthèse du livre blanc, CIAME, 1987
- (CIC 89) J.CICCOTELLI, D.WOLF
"Integration of vision sensors in an automatic wood grading line"
International conference on scanning technology in sawmilling
Oct 5-6, 1989, San Francisco Airport Marriott, California, USA
- (COR 84) M.CORSET (Siemens)
"Diagnostic automatique de défaut en grafcet avec carte VISRAM et logiciel DIMOS"
Journées techniques des automates programmables
Automation 84 - chapitre 1C

- (COR 85) F.CORBIER
"Modélisation et simulation d'un système flexible de production de pièces mécaniques. Application au projet pilote Ilot du LACN"
rapport de DEA, 1985
- (COR 89) F.CORBIER
"Modélisation et émulation de la partie opérative pour la recette en plate-forme d'équipements automatisés"
Thèse de l'Université de Nancy I, 1989
- (DEL 87) P.H.DELMAIRE, D.GUARESCHI, M.STAROSWIECKI
"Aide à la conduite, aide à la maintenance, aide à la gestion technique"
Conférences techniques Automatisation 1987, Paris
- (DEV 77) P.A.DEVIJVER
"Reconnaissance des formes par la méthode des plus proches voisins"
thèse de docteur-ingénieur de l'université P. et M.Curie, Paris VI, 1977
- (DIAS 89) S. DE LA VALLEE POUSSIN
"Le projet DIAS (Distributed Intelligence Actuators and Sensors)"
journées d'études "FIP et les constituants 'intelligents' d'automatismes : capteurs, actionneurs, régulateurs et automates",
29-30 nov 1989, MRT, Paris
- (DIV 87) T.DIVOUX
"Etude d'un protocole d'application pour systèmes DNC de niveau 2 et de sa mise en oeuvre sur module d'interface programmable"
Thèse de doctorat de l'Université de Nancy 1, 1987
- (DUC 85) P.J.DUCHAINE, S.GABRIEL, D.J.RACINE
"Capteur optique pour la mesure des usures des outils de coupe à arête définie; étude de faisabilité"
Recueil de conférences "la surveillance automatique des outils de coupe",
Senslis, 13 nov 1985, CETIM
- (FAB 89) P.FABRE
"Exercices de reconnaissance des formes par ordinateur"
Masson, 1989
- (FAU 88) O.FAUGERAS
"Les machines de vision"
revue La Recherche, novembre 1988, N°204, pg 1334, vol 19
- (FRA 87) J.P.FRACHET
"Une introduction au Génie Automatique : Faisabilité d'une chaîne intégrée d'outils C.A.O. pour la conception et l'exploitation des machines automatiques industrielles"
thèse de Doctorat es Sciences Physiques, Université de Nancy 1, 1987
- (FRO 88) B.FROMENT
"Gestion en temps réel d'atelier flexible : analyse et contribution à l'optimisation, application au pilotage des services logistiques"
thèse de Doctorat de l'école Centrale de Paris, avril 1988

- (GAS 88) M.P.GASPART
 "Les bases fondamentales du traitement d'images"
 Journée d'étude sur la vision artificielle ISI PIERRARD, Virton, 25 mars 1988
- (GOD 85) B.GODAZD, P.BOURDET, P.D'HOINE, L.MATHIEU
 "Capteur laser de position et de surveillance de l'usure des outils de coupe"
 Recueil de conférences "la surveillance automatique des outils de coupe",
 Senslis, 13 nov 1985, CETIM
- (GRA 87) P.L. GRASA SOLER
 "La préhension de pièces mécaniques : intégration dans un îlot automatisé de production"
 thèse de Docteur-Ingénieur, Université de Nancy 1, 1987
- (IGL 89) "SADT, Un langage pour communiquer"
 IGL technology
 Edition Eyrolles 1989
- (ITM 89) B.DUFFAY, G.MOREL
 "Base de donnée unifiée pour un îlot Ouvert de fabrication manufacturière"
 Programme technique d'innovation ANVAR
 ITMI Grenoble 1989 - CRAN/LACN, Nancy 1989
- (LAP 89) J.C.LAPRIE, B.COURTOIS, M.C.GAUDEL, D.POWELL
 "Sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques"
 Dunod informatique, Paris 1989
- (LAU 85) C.LAURGEAU, M.PARENT
 "Les machines de vision en productique", E.T.A, 1985
- (LEP 86) F.LEPAGE
 "Proposition d'un réseau local industriel hétérogène. Application à un îlot automatisé de production"
 Thèse de doctorat d'état es-Sciences Physiques
 Université de Nancy 1, 1986
- (LES 89) J.J.LESAGE
 "Conception de la commande des systèmes de production : contribution à la structuration, application à la conception de la commande d'un atelier flexible"
 Thèse de l'Ecole Centrale, Paris, 1989
- (LHO 85) P.LHOSTE
 "Exploitation des Systèmes Automatisés, EX.A.O. : Proposition d'une approche méthodologique et d'outils d'assistance"
 thèse de l'Université de Nancy 1, 1985
- (LIE 76) C.LIEVENS
 "La sécurité des systèmes"
 édition Sup'aéro, Toulouse 1976

- (MAG 90) J.Ph.MAGNON, M.ROESCH, P.LHOSTE, E.KLOTZ
"Méthodologies d'essais et outils technologiques pour une maîtrise de la mise en route d'installations automatisées"
Rapport scientifique intermédiaire du MRT
Décision d'aide n° 88.P.0905
- (MAR 82) D.MARR
"Vision", W.H.Freeman, San Francisco, CA, 1982
- (MIC 88) A.MICHELET
"Une approche rationnelle des rapports clients-fournisseurs en vision artificielle"
Journée d'étude sur la vision artificielle ISI PIERRARD, Virton, 25 mars 1988
- (MOR 86) G. MOREL, J. RICHARD, F. LEPAGE
"Robotisation d'un îlot automatisé de production de pièces mécaniques"
Convention de recherche n°83-742,
ADI-Université de Nancy 1, octobre 1986
- (MOR 88) G.MOREL, F.MUNERATO, R.VOGRIG, G.RIS
"Programmation orientée produit d'un îlot flexible de production de pièces mécaniques"
rapport interne, LACN, 1988
- (MOR 89) G.MOREL
"Automatisation intégrée d'un îlot de fabrication manufacturière"
conférence GRECO CNRS "systèmes à événements discrets", groupe GT4, 12 janvier 1990, Paris
- (MOR 90) G.MOREL, P.LHOSTE, M.ROESCH
"Automatisation intégrée d'un îlot de fabrication manufacturière"
CIM 90, 12-14 juin 1990, Bordeaux
- (MRES 88) "Autocontrôle de cellule flexible d'usinage; intégration dans un ensemble C.F.A.O."
Réponse à l'appel d'offre du MRES, 1988
- (MUN 88) F.MUNERATO
"Robotisation Intégrée d'un îlot de production manufacturière : aspects contrôle-commande et communication"
Thèse de doctorat de l'université de NANCY 1.
18 Avril 1988
- (MUN 88) F.MUNERATO, H.PANETO, G.MOREL, R.PESTI
"Grafcet-LM3 : du grafcet à la robotique"
revue d'automatique et de productique appliquées, vol 1, n°4, 1988, pg 63-75
- (ORT 88) D. ORTENZI
"Apports de la simulation à la programmation orientée produit d'un îlot de production de pièces mécaniques"
rapport de DEA Production Automatisé, Nancy 1, 1988

- (PTA 88) "Modèle conceptuel des données en automatisation"
Résultats des travaux du groupe Base-PTA
Congrès automatique AFCET grenoble oct 1988
- (RIC 85) J.RICHARD
"Contrôle dimensionnel et suivi de production dans un îlot de fabrication de pièces mécaniques. Analyse des mesures et prédiction des corrections"
Thèse de doctorat d'état es-Sciences Physiques
Université de Nancy 1, 1985
- (ROC 88) B.ROCHOTTE
"Application de la méthode de prédiction-vérification à la reconnaissance et à la localisation d'objets, en vue de l'intégration d'un système de vision dans une cellule flexible de fabrication mécanique"
DEA de Production Automatisée, Nancy 1, 1988
- (ROC 91) Thèse de l'Université de Nancy 1, à paraître
- (ROE 89) M.ROESCH, J.RICHARD, G.MOREL, G.RIS, M.VERON
"Auto-contrôle de cellule flexible d'usinage"
AIPAC 89, Nancy 1989, 3-5 Juillet, tome 2
- (SVA 89) A.SVALCIN, M.ROESCH, P.LHOSTE, G.MOREL
"Fiabilité, disponibilité et sécurité des installations intégrant des 'filtres' de comportement"
2 colloque annuel du club FIABEX, Paris, 22-23 nov 89
- (SOU 83) V.SOUVIGNIER
"PVV, un système d'interprétation d'images par prédiction et vérification"
Thèse de l'INP de Grenoble, 1983
- (STA 89) M.STAROSWIECKI
"Les actionneurs intelligents"
journées d'études "FIP et les constituants 'intelligents' d'automatismes : capteurs, actionneurs, régulateurs et automates",
29-30 nov 1989, MRT, Paris
- (TAN 85) J.C.TANGUY
"Introduction à la surveillance des outils de coupe"
recueil de conférence "la surveillance des outils de coupe", Senlis, 13 nov 1985,
CETIM
- (TIX 87) J.M. TIXADOR, R.VOGRIG, G.MOREL
"Ilot flexible de production de pièces mécaniques : un composant modulaire d'atelier"
journée-rencontre "Université Industrie", Université de Savoie, 26 mars 1987
- (TIX 89) J.M. TIXADOR
"Une contribution au génie automatique : la spécification exécutable des machines et systèmes automatisés de production"
thèse de l'Université de Nancy 1, 1989

- (TSA 87) J.P.TSANG
 "Planification par combinaison de plans; application à la génération de gammes d'usinage"
 Thèse de l'INP de Grenoble, 1987
- (VOG 85) R.VOGRIG
 "Sécurité d'un ensemble robotisé : application au projet pilote du LACN"
 rapport de DEA génie électrique, Nancy 1, 1985
- (VOGEL 88) C. VOGEL
 "Génie Cognitif"
 Collection Science et Technique
 Edition Masson 1988
- (VOG 86) R. VOGRIG, P. BARACOS, P. LHOSTE, G. MOREL, B. SALZEMAN
 "Flexible manufacturing shop operation"
 18 th C.I.R.P M.F.S.-S.,
 Stuttgart, F.R. of Germany, June 4&5, 1986
- (VOGR 86) R.VOGRIG, G.MOREL, D.DEI-SVALDI, J.P.VAUTRIN
 "Contribution à l'analyse de la sécurité d'un système automatisé par SADT"
 Cahiers de notes documentaires n°123, 1986
- (VOG 88) R.VOGRIG, B.IUNG
 "Les apports d'un système de vision dans une cellule flexible"
 Journée d'étude sur la vision artificielle
 ISI PIERRARD, - Virton, 25 mars 1988
- (WIN 88) P.H.WINSTON
 "Intelligence artificielle"
 Editions InterEditions, 1988

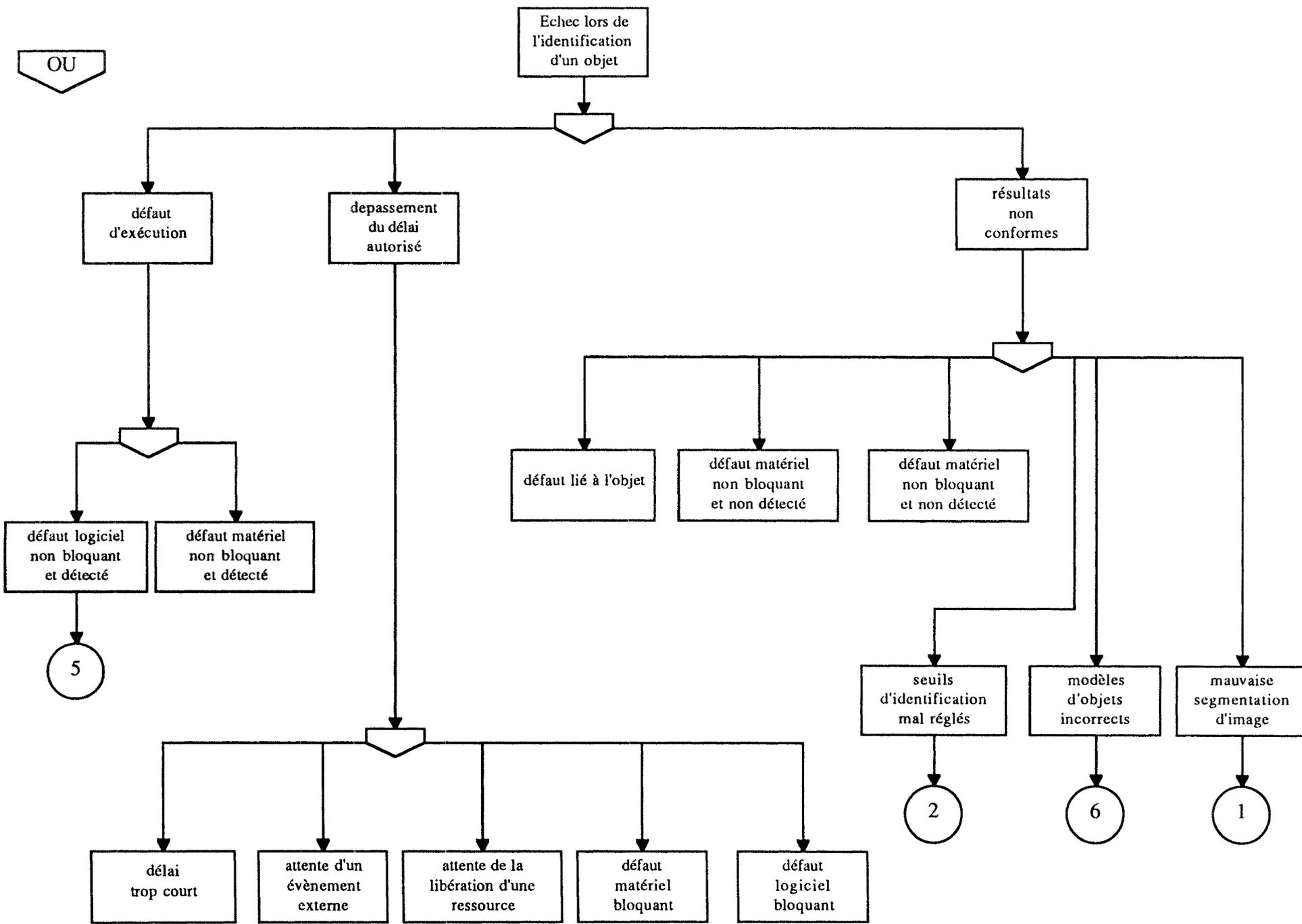
Divers

- (ASA 87) ASA, notice technique
 "Atelier de Spécifications et de Test de Système Informatiques"
 société Verilog, Toulouse
- (BAT 88) Batelle Institut,
 "Automated Visual Inspection"
 Fankfurt, 1988
- (CLU 87) CLUB VISION, AXES ROBOTIQUE
 "La vision industrielle, l'enjeu des années 90"
 CLUB VISION, BP 134, 92203, Neuilly cedex
- (DIA 89) Présentation de DIAGNEX"
 Outil de développement de systèmes experts pour le diagnostic d'installations industrielles
 société I.T.M.I, MEYLAN (Grenoble)

- (III 89) Institut Informatique Industrielle
"Plateforme générique de développements de procédés intégrant des systèmes de vision industrielle"
projet Anvar n° A 8801005 E 007 0,
- (IND 89) revue INDUSTRIES et TECHNIQUES, supplément PRODUCTIQUE 89,
N°660, 15 juin 1989
- (ITM 85) société ITMI
"Cours sur les systèmes de vision par ordinateur pour la productique
méthodes, outils, applications"
ITMI Meylan, 1985
E.MAZER, J.F.MIRIBEL
- (MAZ 84) "Le langage LM, Manuel de référence"
Techniques avancées de l'informatique, éditions CEPADUES 1984
- (MES 90) Revue MESURE
"Vision : le PC, un candidat sérieux", N°617, février 1990
- (MIC 87) Revue MICRO SYSTEME
"La vision par ordinateur", N°71, Janvier 1987
- (NF x) "fiabilité, maintenabilité disponibilité"
AFNOR recueil de normes françaises 1986

ANNEXE 1

Elaboration d'une stratégie de diagnostic



OU

Echec lors de l'identification d'un objet

défaut d'exécution

dépassement du délai autorisé

résultats non conformes

défaut logiciel non bloquant et détecté

défaut matériel non bloquant et détecté

5

défaut lié à l'objet

défaut matériel non bloquant et non détecté

défaut matériel non bloquant et non détecté

délai trop court

attente d'un évènement externe

attente de la libération d'une ressource

défaut matériel bloquant

défaut logiciel bloquant

seuils d'identification mal réglés

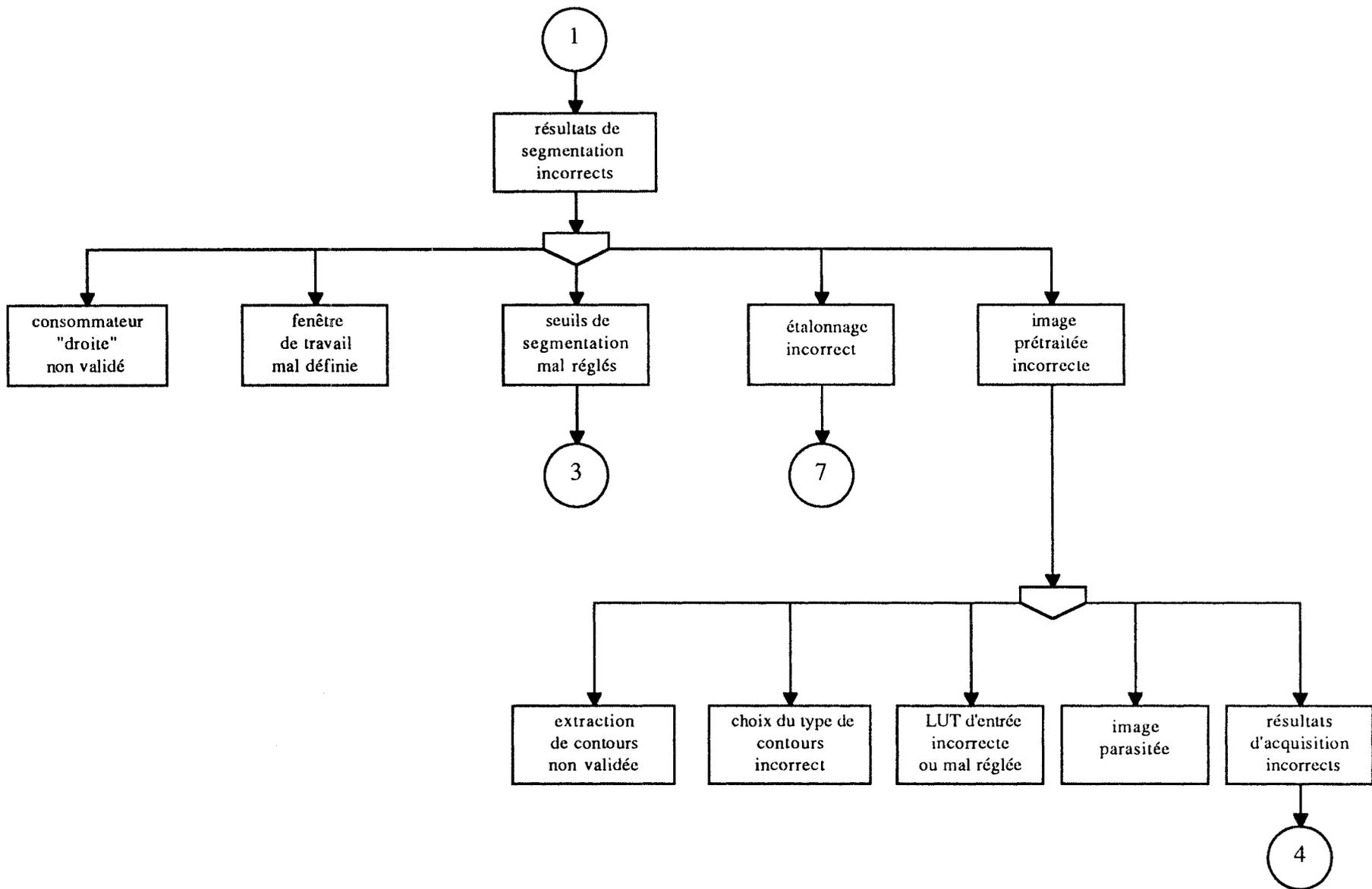
modèles d'objets incorrects

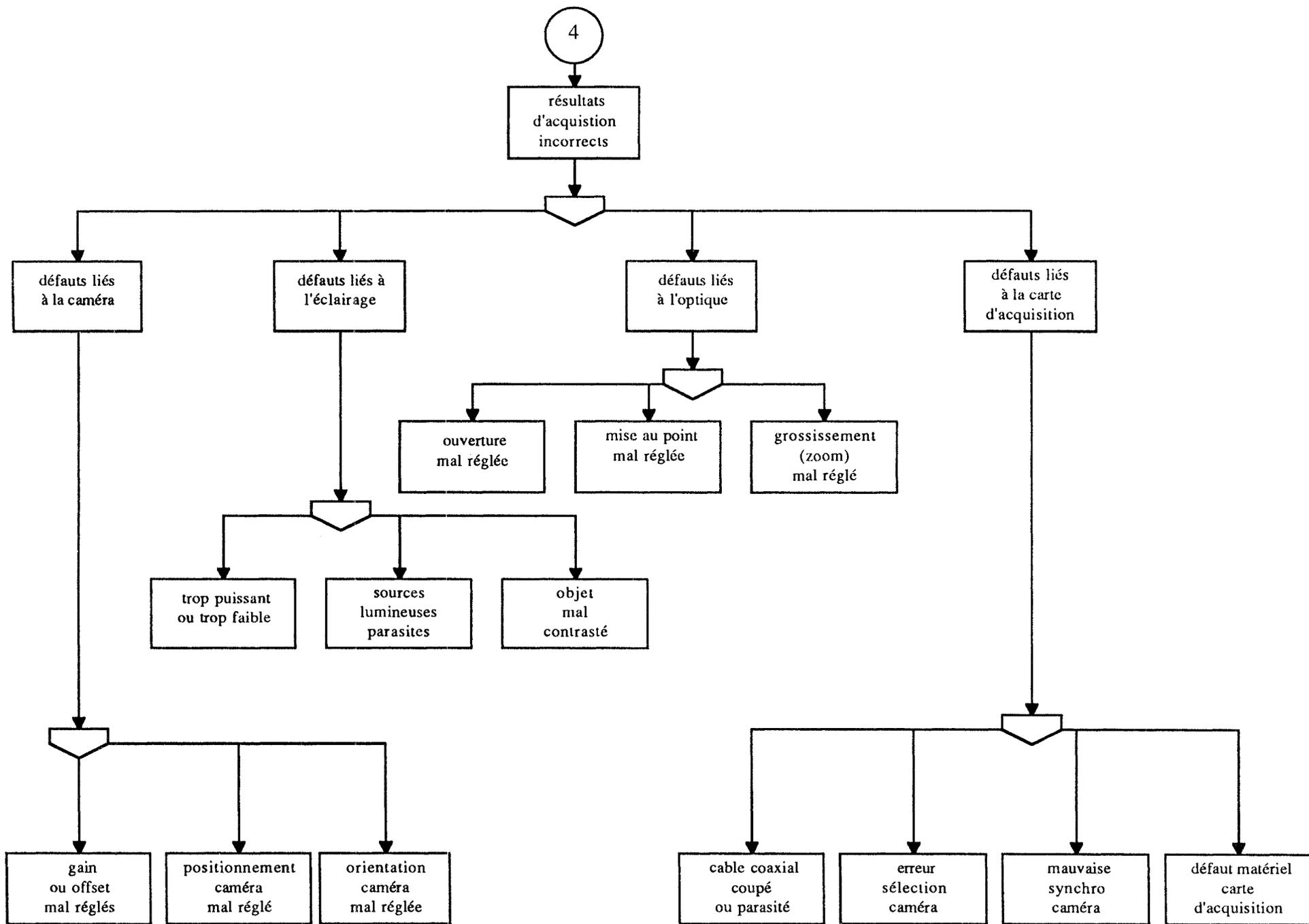
mauvaise segmentation d'image

2

6

1





2

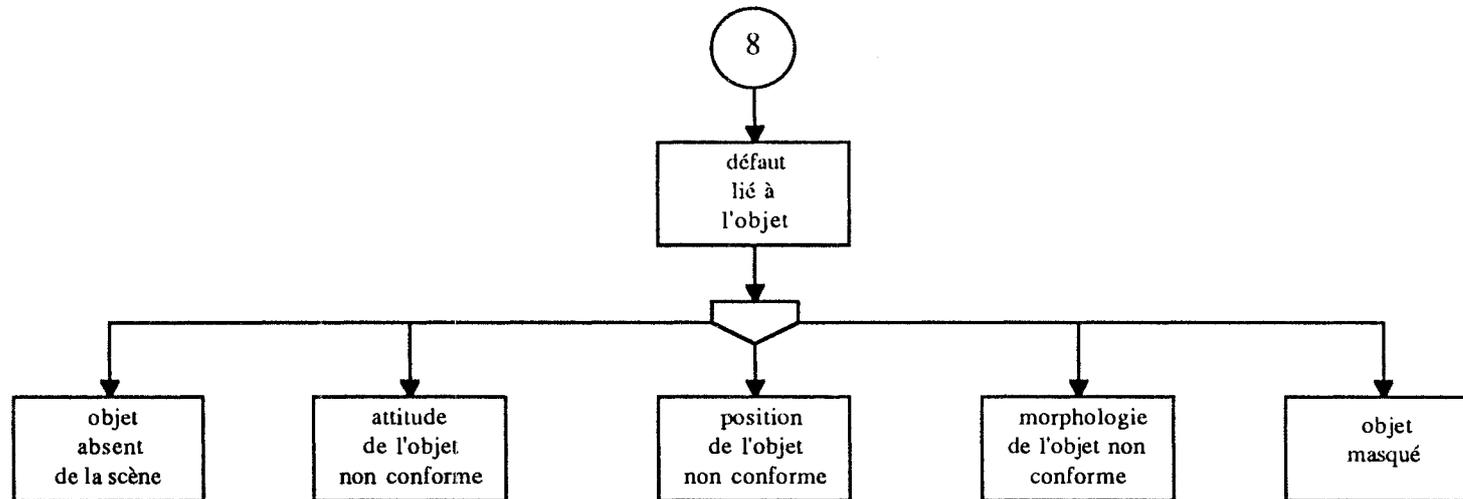
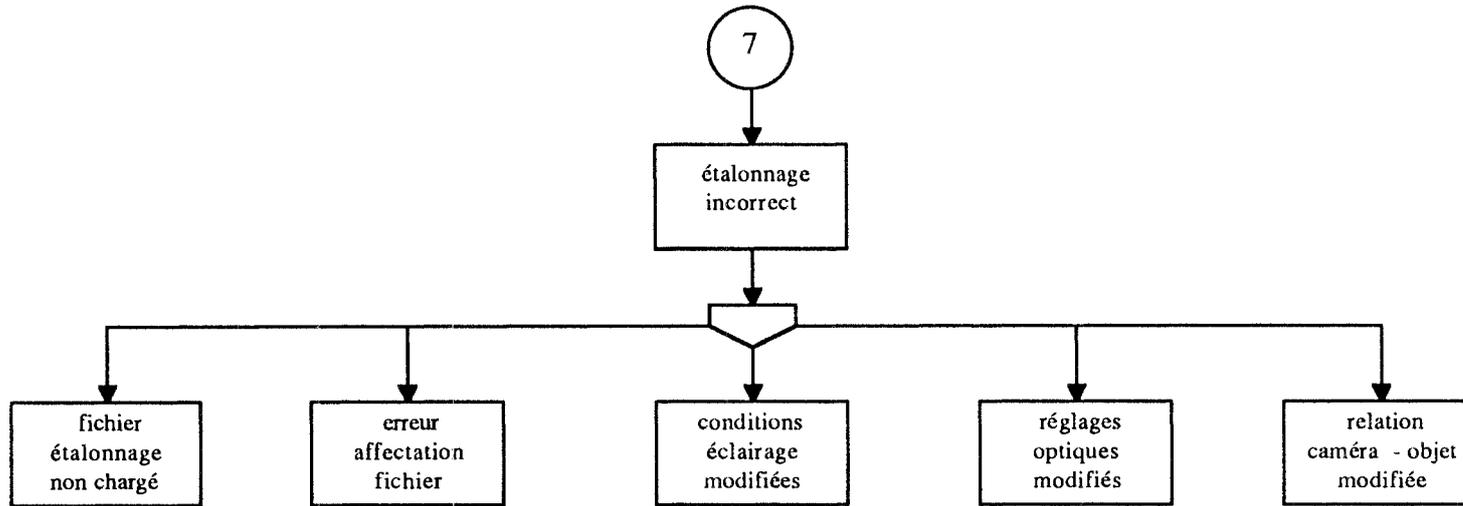
Seuils d'identification :

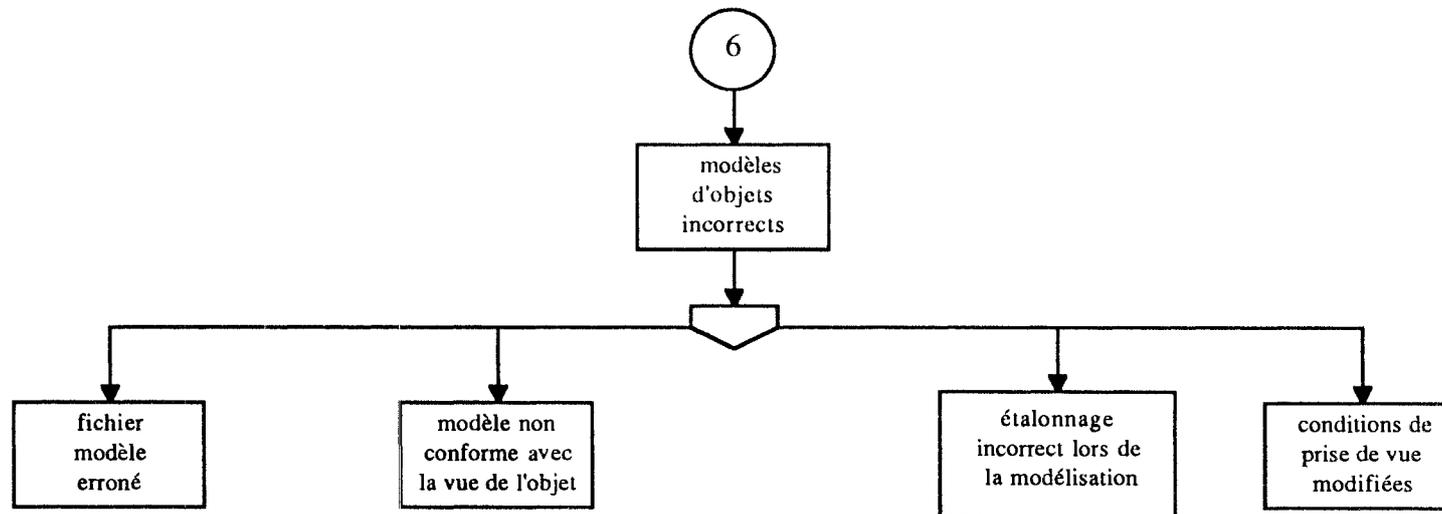
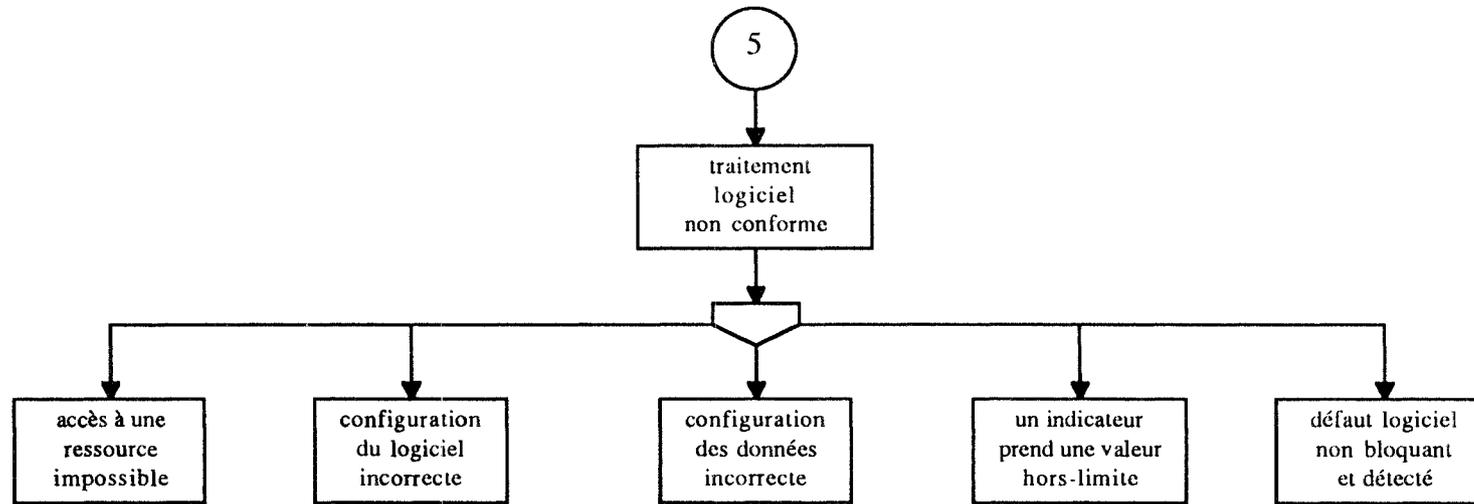
- longueur des droites à extraire lors de la première segmentation de l'image
- nombre de droites suffisant pour persister dans une hypothèse
- pourcentage du contour nécessaire pour accepter une identification
- nombre de droites nécessaire pour accepter une identification
- nombre de droites suffisant pour accepter une identification
- tolérance angulaire pour accepter un indice (segment de droite)
- tolérance en position pour accepter un indice

3

Seuils de segmentation :

- taille des discontinuités tolérées lors du suivi de contour
- position et dimensions de la fenêtre active dans l'image
- longueur minimale des segments de droites à extraire
- distance maximale tolérée d'un pixel à une droite pour qu'il soit considéré comme appartenant à cette droite
- nombres de pixels à ignorer en fin de droite





causes

effets

identification

nombre de droites suffisant pour persister dans une hypothèse	si trop faible, de fausses hypothèses sont évaluées, ce qui accroît le temps de reconnaissance et les risques d'erreurs; à l'inverse, des hypothèses valables sont éliminées, d'où une non identification de l'objet
pourcentage du contour nécessaire pour accepter une identification	si trop élevé, non reconnaissance d'un objet partiellement visible; à l'inverse, erreur de reconnaissance
nombre de droites nécessaires pour accepter une identification	si trop élevé, difficultés de reconnaissance d'un objet partiellement visible, ou présentant un contour de mauvaise qualité
nombre de droites suffisant pour accepter une identification	si trop faible, accroît les risques d'erreurs de reconnaissance
tolérance angulaire pour accepter un indice	rem : très lié à la taille des droites extraites; si trop élevé, contribue à la génération de fausses hypothèses; à l'inverse, élimine des hypothèses valables, d'où non reconnaissance d'un objet
tolérance en position pour accepter un indice	si trop élevé, contribue à la génération de fausses hypothèses; à l'inverse, élimine des hypothèses valables, d'où non reconnaissance d'un objet

causes	effets
--------	--------

identification (modélisation des objets)

nombre d'objets ressemblants incorrect	erreur d'identification (confusion entre les objets)
nombre de symétries de révolution incorrect	accroît le combinatoire des hypothèses générées, d'où un temps de reconnaissance accru
nombre de droites composant le modèle mal réglé	si trop de droites : nécessite une meilleure qualité d'image et accroît le temps de reconnaissance; pas assez : accroît la probabilité d'erreurs de reconnaissance
périmètre erroné	fausse la comparaison au seuil "pourcentage de contour nécessaire", ce qui conduit soit à une non-identification des objets, soit à des erreurs de reconnaissance
modèle non conforme	aucune hypothèses, de fausses hypothèses ou des hypothèses partielles sont générées; ceci conduit soit à une non-identification, une identification avec une faible probabilité ou une erreur de localisation de l'objet
étalonnage incorrect lors de la modélisation	ceci se traduit par un facteur d'homothétie entre le modèle et l'objet, d'où le plus souvent une non-reconnaissance de l'objet; détectable par une simple comparaison visuelle du modèle et de l'objet sur le moniteur de visualisation
conditions de prises de vue modifiées	effets très variables selon les cas; détectable par une simple comparaison visuelle du modèle et de l'objet sur le moniteur de visualisation

causes	effets
--------	--------

Segmentation

taille des discontinuités tolérées lors du suivi de contours mal réglée	si trop élevée, risque de lier des contours différents ou de générer de faux contours à partir de parasites; à l'inverse, perte d'informations, et donc moins de segments de droites générés
position et dimensions de la fenêtre active dans l'image incorrectes	l'analyse de l'image étant limitée à une fenêtre active définie lors de la configuration, une mauvaise définition ou une modification de la relation caméra-objet peut se traduire par une non-analyse d'une partie du contour
taille des droites à extraire lors de la première passe incorrecte	aucune hypothèse ou de fausses hypothèses sont générées, d'où non reconnaissance ou confusion d'objets
distance maximale tolérée d'un pixel à une droite pour qu'il soit considéré comme y appartenant	si trop élevé, risque de génération de faux segments de droites ou de segments mal positionnés; à l'inverse, risque de perte d'informations, et donc moins de segments de droites générés
nombre de pixels à ignorer en fin de droite	permet de réajuster un segment sur le contour; une valeur trop élevée entraîne la génération de segments plus petits, d'où une perte d'informations
consommateur "droite" non validé	aucune droite n'est extraite de l'image
étalonnage incorrect	ceci se traduit par un facteur d'homothétie entre le modèle et l'objet, d'où le plus souvent une non-reconnaissance de l'objet; détectable par une simple comparaison visuelle du modèle et de l'objet sur le moniteur de visualisation

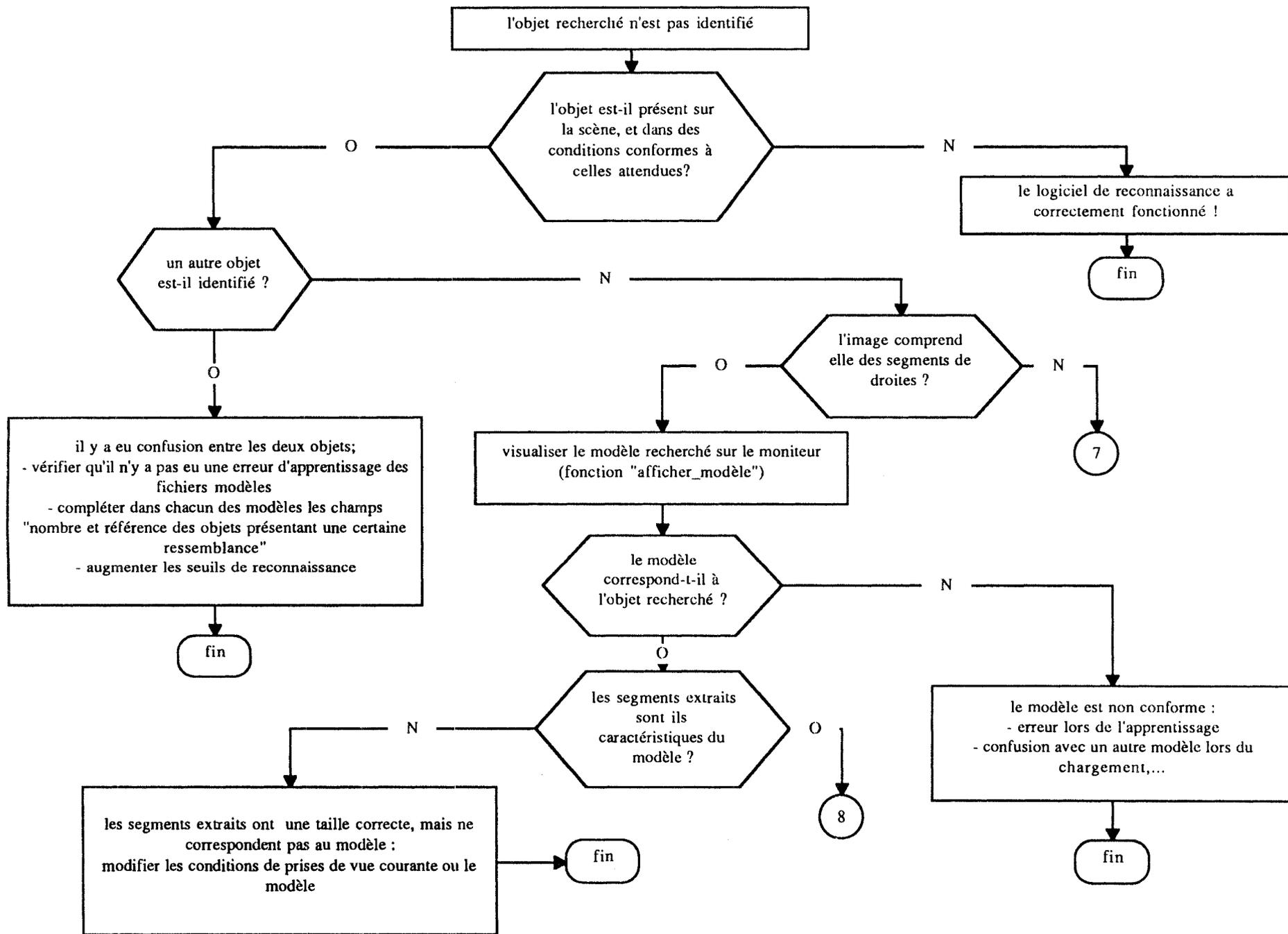
Prétraitements

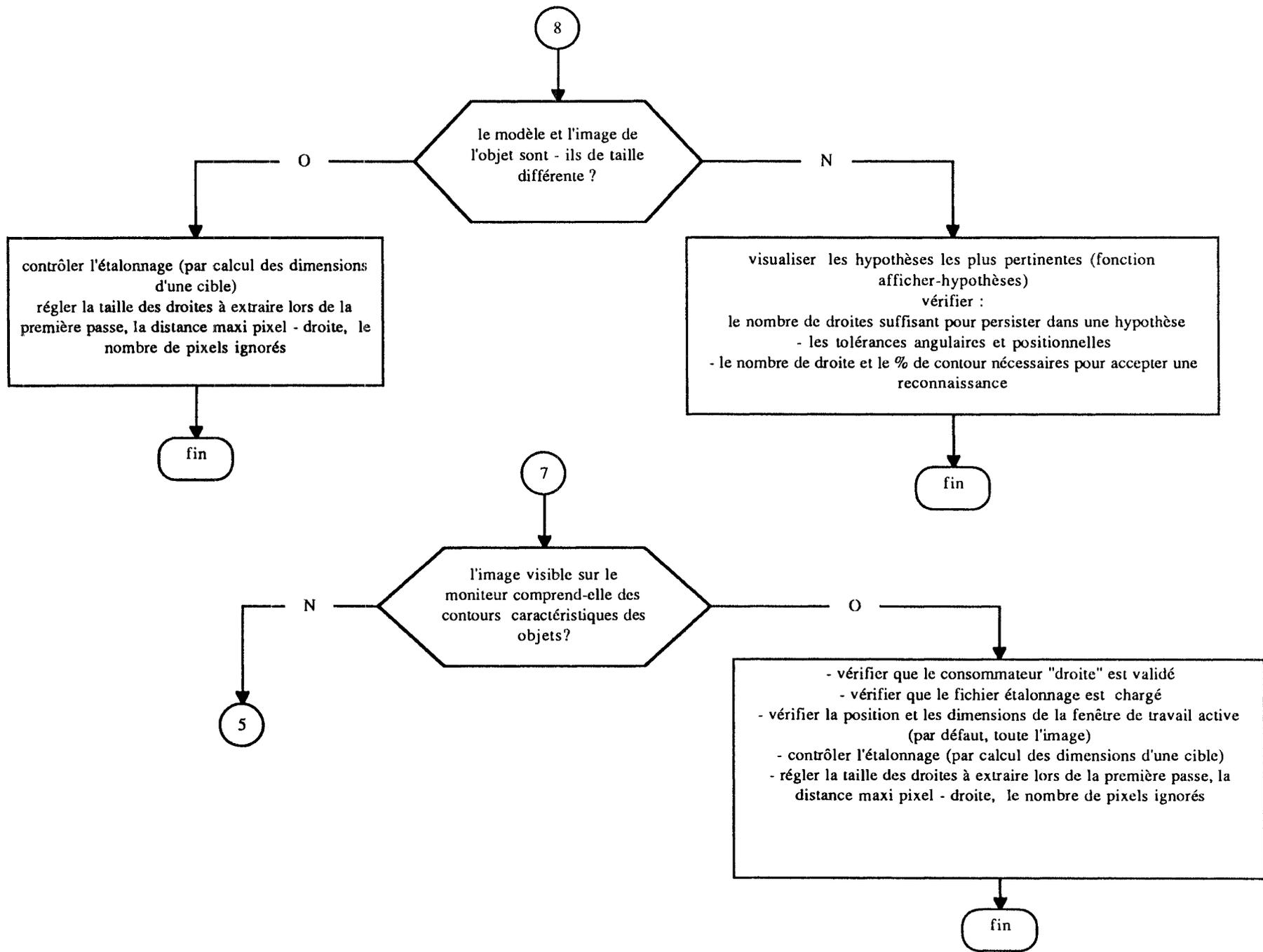
extraction de contours non validée	aucun contour n'est extrait, et donc aucun segment de droites;
choix du type de contour incorrect (contours binaires ou à niveaux de gris)	influence la qualité des contours obtenus; l'extraction de contours à partir d'une image binaire est particulièrement adaptée à des images parfaitement contrastées (éclairage par ombre chinoise par exemple)
Look Up Table d'entrée incorrecte ou mal réglée	se traduit par une mauvaise qualité de l'image à traiter; détectable sur le moniteur de contrôle de la carte de numérisation; très lié aux conditions d'éclairage
image parasitée	se traduit par des faux points de contrastes très instables dans l'image; détectable sur le moniteur de contrôle de la carte de numérisation;

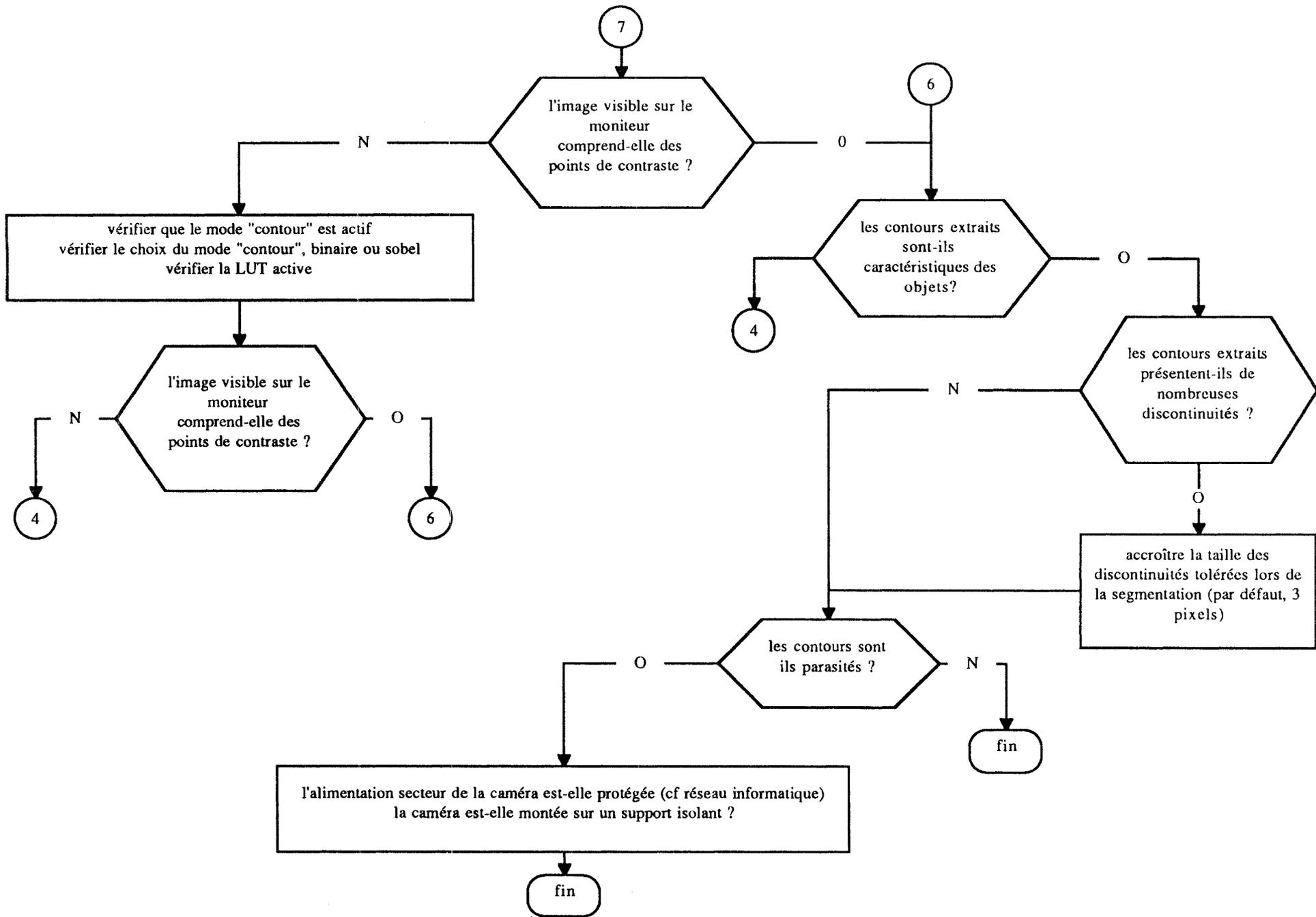
causes	effets
--------	--------

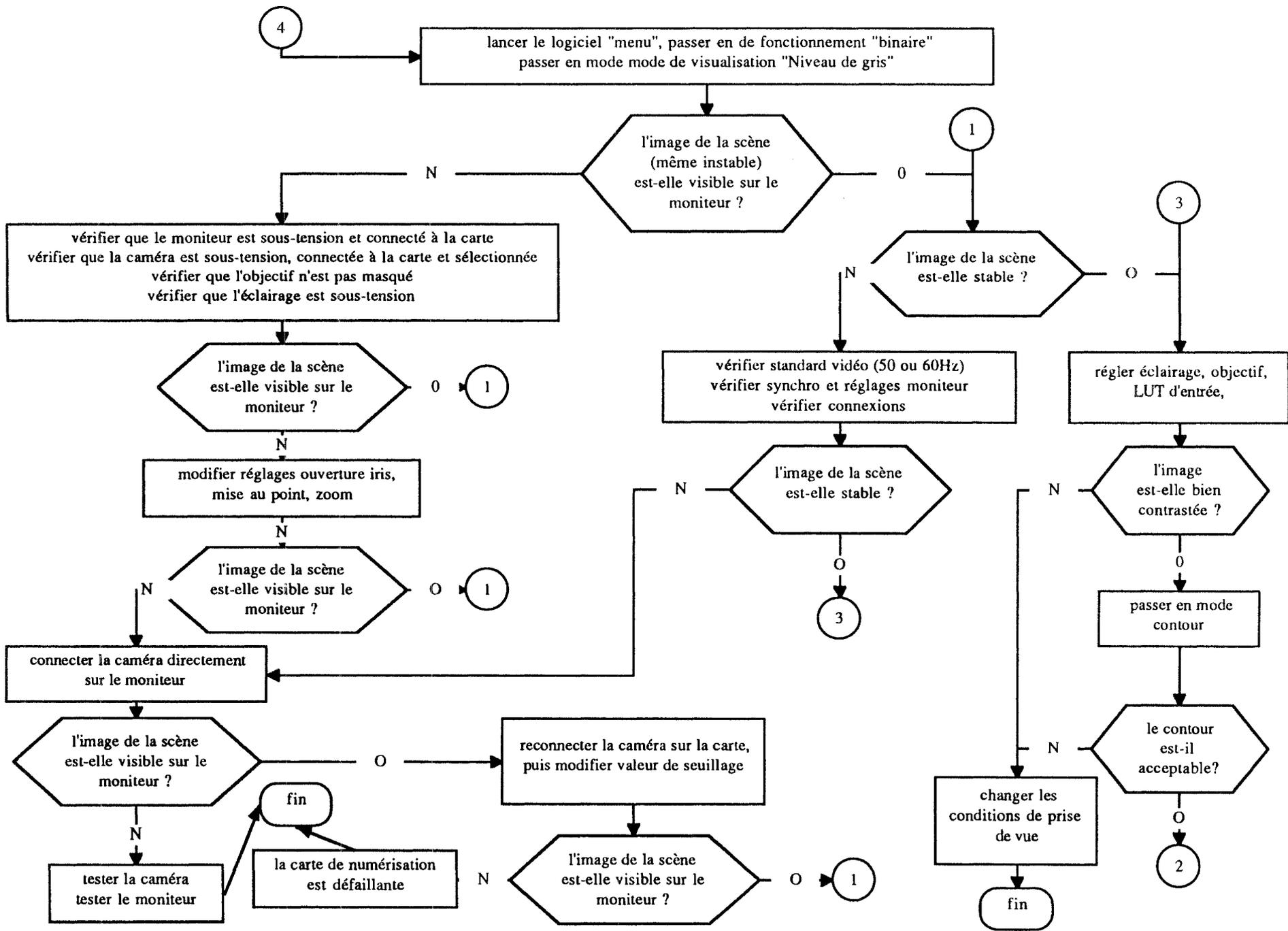
Acquisition

gain mal réglé	manque de dynamique du signal vidéo
offset mal réglé	
positionnement / orientation caméra mal réglés	la scène observée n'est pas celle désirée; détectable par simple observation du moniteur associé à la carte de numérisation
puissance de l'éclairage mal réglée	image sombre ou saturée en lumière selon le cas; perte de contrastes, donc d'informations;
présence de sources lumineuses parasites faisceaux mal orientés	risque de reflets sur les objets, création d'ombres parasites, ... d'où apparition le plus souvent de faux contours
ouverture iris mal réglée	si trop fermée, perte de lumière donc image sombre, peu lumineuse, d'où perte de contraste à l'inverse, saturation en lumière donc image très lumineuse, d'où également perte de contraste
mise au point optique mal réglée	image floue, d'où contours des objets peu précis; d'autre part, toute modification de la mise au point influence légèrement la taille des contours extraits
facteur de grossissement modifié	modifie la taille du champs observé (largeur de champs), d'où un facteur d'homothétie entre les modèles et les objets observés; un fort grossissement diminue la profondeur de champs, ce qui peut se traduire par une absence complète de contours
carte d'acquisition en défaut	image ne correspondant pas à la scène ou partie d'image visible; détectable sur le moniteur associé à la carte de numérisation
erreur selection caméra	si la caméra est sous tension, une autre scène est traitée, sinon la carte de numérisation renvoie un défaut
mauvaise synchronisation caméra	le signal vidéo est instable et l'image saisie est déformée; détectable sur le moniteur de visualisation associé à la carte de numérisation;









NOM DE L'ETUDIANT : VOGRIG Raphaël

NATURE DE LA THESE : Doctorat de l'Université de NANCY I en Métrologie -
Automatique - Electrotechnique

VU, APPROUVE ET PERMIS D'IMPRIMER

NANCY, le - 6 JUIL. 1990 n°1454

LE PRESIDENT DE L'UNIVERSITE DE NANCY I



Résumé

L'émergence en Productique de disciplines technologiques telles que la visionique s'accompagne couramment d'un développement important des techniques au seul profit de l'aspect réalisationnel et au détriment de l'aspect méthodologique.

Ces travaux ont pour objectif d'effectuer une synthèse de ces deux approches dans une perspective cycle de vie d'un Système Intégré de Production, en prenant en compte divers aspects liés au produit, aux processus de transformation, à la partie opérative et à la partie commande d'une application.

Ces résultats sont une contribution au Génie Visionique, dont l'objectif est d'offrir des méthodes et des outils d'ingénierie dans ce domaine.

MOTS-CLES : Visionique - Capteur intelligent -
Méthodologie - architecture distribuée