

50376
1989
91

50376
1989
91

Avant-propos

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé à la Direction des Etudes et Recherches de l'EDF/chatou, au sein du département 3C : Communications en Centrales-Conduite dirigé par Monsieur Michel COMBE, et sous la responsabilité de Monsieur Dominique GALARA, chef de groupe "Automatismes Industriels". Qu'ils trouvent ici l'expression de ma gratitude pour les aides et les conseils qu'ils m'ont prodigués tout au long de sa réalisation.

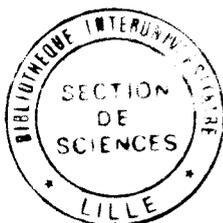
J'exprime mes plus vifs remerciements à Monsieur le Professeur Marcel STAROSWIECKI Directeur de recherche, pour l'intérêt qu'il a manifesté à l'égard de mon travail, d'abord en assurant son suivi et en tant que président de mon jury.

Que Monsieur le Professeur Jean-Claude GENTINA, Directeur de l'I.D.N., et Monsieur le Professeur Christian MELIN, Chef de division contrôle des systèmes à l'Université de Compiègne, trouvent ici l'expression de ma reconnaissance pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner et de juger ce travail.

J'adresse mes remerciements à Monsieur Jean-Pierre HENNEBICQ, chef de groupe "Asservissement et commande des centrales" EDF/chatou et à Monsieur le Professeur Gérard MOREL de l'Université de Nancy 1, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

J'ai été sensible à l'honneur que me fait Monsieur Yves LECLUSE, professeur à l'Université de Caen, de participer au jury. Je tiens à lui exprimer ma profonde reconnaissance pour l'intérêt qu'il porte à ses anciens élèves.

Qu'il me soit permis d'exprimer tous mes remerciements aux membres du département 3C et en particulier, à Michel FOUNAU et à Patrick SALAUN pour les discussions fructueuses et amicales qu'ils m'ont apportées dans mon travail, et à Jean-Claude BERTRON pour ses assistances sympathiques.



S O M M A I R E

pages

Liste des figures	4
I N T R O D U C T I O N G E N E R A L E	8

P R E M I E R E P A R T I E

SYSTEMES DE CONTROLE COMMANDE état de l'art, besoins, évolution	11
I N T R O D U C T I O N	15
CHAPITRE-1 : ETAT DE L'ART "l'héritage technologique du passé" ET BESOINS EN CONTROLE ET COMMANDE GENERALISE	16
CHAPITRE-2 : PERSPECTIVES: CONCEPTION ET REALISATION DE SAP	53
C O N C L U S I O N	103

D E U X I E M E P A R T I E

CONTRIBUTION A L'ANALYSE FONCTIONNELLE D'UN PROCESSUS	105
I N T R O D U C T I O N	108
CHAPITRE-1 : L'ANALYSE FONCTIONNELLE	110
CHAPITRE-2 : LA METHODE SADT	131
CHAPITRE-3 : LA METHODE "FLOW-MODEL"	135
CHAPITRE-4 : UNE APPLICATION D'ANALYSE FONCTIONNELLE PAR LA METHODE DE "FLOW-MODEL"	157
C O N C L U S I O N	168

T R O I S I E M E P A R T I E

<u>MODELISATION STRUCTURELLE DES AUTOMATISMES DES SYSTEMES DE CONTROLE-COMMANDE D'UN P.I.C</u>	169
I N T R O D U C T I O N	171
CHAPITRE-1 : PRESENTATION DES NIVEAUX HIERARCHIQUES ET DES MODULES FONCTIONNELS EN VUE DE LA CONCEPTION DES AUTOMATISMES	173
CHAITRE-2: DESCRIPTION CONCEPTUELLE DES DIFFERENTS SOUS- MODULES D'UN M.A.3C	189
CHAITRE-3 : APPLICATION DE L'APPROCHE DES M.A.3C POUR L'ETUDE DE CAS REELS	213
<u>CONCLUSION GENERALE et PERSPECTIVES</u>	227
<u>A N N E X E</u>	230
<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	234

L I S T E D E S F I G U R E S

Figures première partie :

- Figure 1 : Structure fonctionnelle d'une tranche d'une centrale nucléaire
- Figure 2 : Position du système de conduite d'une centrale par rapport au système de conduite pour la production et le transport de l'électricité
- Figure 3 : Structure centralisée d'un système de conduite
- Figure 4 : Structure répartie d'un système de contrôle-commande
- Figure 5 : Structure distribuée et hiérarchisée d'un Système de conduite
- Figure 6 : Structure de commande hiérarchisée
- Figure 7 : Structure d'échange inter-modules
- Figure 8 : Structure fonctionnelle de base d'un automate
- Figure 9 : Principe de la structure fonctionnelle du Controbloc
- Figure 10 : Position de la communication dans un système de conduite
- Figure 11 : Les interactions entre les différentes fonctions d'une entreprise
- Figure 12 : Cycle de vie d'un SAP
- Figure 13 : Activités liées au cycle de vie d'un automatisme de conduite d'un P.I.C
- Figure 14 : Cycle de vie simplifié d'un automatisme de conduite
- Figure 15 : Développement de l'automatisme d'un P.I.C
- Figure 16 : Activités liées au développement de l'automatisme d'un P.I.C
- Figure 17 : La phase de conception d'automatismes de conduite d'un P.I.C
- Figure 18 : Les différentes étapes de la phase de conception
- Figure 19 : Courbe de taux de défaillance en "baignoire"
- Figure 20 : Schéma bloc d'un système série

- Figure 21 : Schéma bloc d'un système parallèle
- Figure 22 : Allure de la disponibilité d'un système simple
- Figure 23 : Fiabilité de deux structures différentes
- Figure 24 : La corrélation entre les divers éléments de sûreté de fonctionnement
- Figure 25 : Structure d'une étude "AMDE"
- Figure 26 : Un exemple d'arbre de défaillance
- Figure 27 : Partie d'un module d'identification d'état d'une vanne TOR

Figures deuxième partie :

- Figure 1 : Les différentes structures obtenues après une décomposition
- Figure 2 : Composition d'un objet à partir de divers modules
- Figure 3 : Illustration du principe d'encapsulation
- Figure 4 : Représentation conceptuelle du fonctionnement d'un processus
- Figure 5 : Structure classique, système de commande-processus
- Figure 6 : Liens entre les différents modes de fonctionnement
- Figure 7 : Structure hiérarchique des diagrammes SADT
- Figure 8 : Position de "FLOW-MODEL" par rapport aux autres études
- Figure 9 : Relation entre un processus et sa représentation par "FLOW-MODEL"
- Figure 10 : Les différents symboles utilisés dans "FLOW-MODEL"
- Figure 11 : Notions de base de "FLOW-MODEL"
- Figure 12 : Liens directs
- Figure 13 : Liens indirects
- Figure 14 : Lien en mode condition
- Figure 15 : Le lien en mode décomposition/agrégation

Figure 16 : Exemple d'application de la méthode "FLOW-MODEL"

Figure 17 : Les variables dans une structure "FLOW-MODEL"

Figure 18 : Illustration des liens conceptuels entre niveaux de "FLOW-MODEL"

Figure 19 : Possibilité d'analyse fonctionnelle pour des objectifs différents

Figure 20 : Structure proposée "système de commande-processus"

Figure 21 : Liens conceptuels entre niveaux de "FLOW-MODEL" : aide à la conduite

Figure 22 : Liens conceptuels entre niveaux de "FLOW-MODEL" : aide au diagnostic

Figure 23 : Synoptique du processus étudié

Figure 24 : Réalisation de la fonction production vapeur

Figure 25 : "FLOW-MODEL" pour le choix du circuit d'alimentation en eau du G.V.

Figure 26 : "Flow-MODEL" de la fonction alimentation d'eau par (A.N.G.)

Figure 27 : "FLOW-MODEL" de la fonction évacuation de la vapeur

Figures troisième partie :

Figure 1 : Séquence d'activités mentales utilisée lors d'une prise de décision de conduite

Figure 2 : Système de base : contrôle-commande d'un processus isolé.

Figure 3 : Structure conceptuelle d'un M.A.3C

Figure 4 : Liens entre une structure "FLOW-MODEL" et un M.A3C

Figure 4bis : Liens entre une structure "FLOW-MODEL" et un M.A.3C (cas de redondance fonctionnelle ou matérielle)

Figure 5 : Ensemble des niveaux de commande

Figure 6 : Structure fonctionnelle du S.C.C d'un P.I.C

Figure 7 : Critères d'évaluation de la cohérence d'un objectif

Figure 8 : Rattachement de l'indice de cohérence aux différentes zones d'évaluation

- Figure 9 : Validation opérationnelle d'une information
- Figure 10 : Validation fonctionnelle d'une variable d'état
- Figure 11 : Structure conceptuelle d'un M.A.C.X
- Figure 12 : Détection hiérarchisée d'une anomalie
- Figure 13 : Représentation fonctionnelle d'un M.A.3C d'une vanne
- Figure 14: Spécification fonctionnelle d'un M.I.E d'une vanne TOR
- Figure 15: Spécification fonctionnelle d'un M.D.C d'une vanne TOR
- Figure 16: Evolution de la structure fonctionnelle d'un régulateur
- Figure 17 : Structure fonctionnelle d'un régulateur de débit d'eau alimentaire d'un GV

INTRODUCTION GENERALE

L'automatisation des processus industriels complexes prend de plus en plus d'ampleur. Les constituants des systèmes d'automatismes évoluent en profitant du progrès technique et technologique. Par ce fait, l'intégration de plusieurs fonctions dans le même constituant ou encore la répartition d'une seule fonction sur plusieurs constituants deviennent possible.

Cependant la conception des automatismes n'a pas suivi cette évolution, l'approche méthodique est devenue une nécessité.

Le but de notre travail est de suivre une démarche systématique ayant comme objectif de fortifier des travaux concernant les méthodologies de conception des automatismes des P.I.C, en particulier ceux des centrales de production d'énergie.

Les centrales électriques doivent répondre à tout instant aux demandes et au service, dans les conditions normales ou anormales, du réseau : c'est-à-dire, il faut qu'elles soient disponibles à tout instant. Leur Système de Contrôle-Commande: S.C.C est une composante essentielle pour la maîtrise du fonctionnement et pour leur disponibilité.

Plusieurs problèmes sont rencontrés au long du cycle de vie d'un S.C.C :

- La documentation d'un système complet représente un volume considérable et il est extrêmement difficile d'avoir accès à une information sélective ou synthétique.
- Il est très difficile de connaître le cheminement et l'interdépendance des informations à l'intérieur du S.C.C.
- etc.

Si on se fie à l'aspect économique, donc à la rentabilité des études, les besoins s'expriment en outil d'aide, capable de fournir aux différentes phases de l'étude d'un S.C.C les données dont ont besoin les différents intervenants.

Mais l'expérience montre que l'utilisation d'un outil conçu sans aucune méthodologie et par conséquent n'offrant aucun concept structurel relève d'une pratique rudimentaire.

Notre occupation principale, tout le long de ce travail, est : l'aspect méthodologique tout le long du cycle de vie de l'automatisation d'un P.I.C.

Dans la première partie, nous avons mené une réflexion sur une méthode de conception et puisque la conception des automatismes des S.C.C suppose des ressources disponibles sur le marché, ceci a nécessité un tour d'horizon des systèmes existants.

Nous nous sommes tout d'abord intéressé, dans le premier chapitre, d'une part, à l'étude de l'évolution des structures des S.C.C et d'autre part à la description des principaux constituants de ces systèmes à savoir : Les Automates Programmables Industriels : A.P.I, Les Automates Programmables Spécifiques aux centrales thermiques : Controbloc, Micro-Rec..., et les systèmes de communication.

Dans le deuxième chapitre, nous avons cerné les besoins de l'automaticien vis-à-vis de la conception en montrant l'intérêt d'une méthode de conception. Le cycle de vie d'un automatisme, nous a servi de base pour définir la phase de conception et pour proposer les techniques nécessaires à chaque étape de cette phase.

La deuxième partie est consacrée à l'analyse fonctionnelle des Processus Industriels Complexes P.I.C. Il nous fallait en effet définir les concepts de base d'une méthode d'analyse, répondant au mieux aux attentes des automaticiens et traduisant l'image mentale que possède l'opérateur de son processus.

Nous nous sommes attachés aux concepts des méthodes susceptibles de servir de base à la structuration de l'analyse, afin d'aboutir à une structure fonctionnelle du processus assurant une certaine homogénéité lors du passage à l'élaboration de la structure fonctionnelle du système d'automatismes.

Pour cette analyse, nous avons opté pour la méthode "FLOW MODEL" [LIN-82], qui permet de répondre au mieux à nos préoccupations. Cette partie se termine par l'application de la méthode sur un exemple concret.

La troisième partie constitue le développement de la première étape de la phase de conception. Nous y suggérons un formalisme pour les constituants de base d'un automatisme.

L'ensemble de ces constituants peut permettre une structuration des fonctions assurées par un S.C.C (architecture fonctionnelle), et servir de base pour l'élaboration des architectures matérielle et logicielle dans les autres étapes de la phase de conception.

première partie

SYSTEMES DE
CONTROLE-COMMANDE

état de l'art, besoins, évolution

I N T R O D U C T I O N	15
CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART "l'héritage technologique du passé"	16
1.1. Introduction des automatismes reflexes entre l'homme et le processus	16
1.1.1. Préambule	16
1.1.2. Description d'un Processus Industriel Complexe : P.I.C	17
1.1.3. Description d'un système de contrôle-commande	21
1.2. Evolution de l'architecture fonctionnelle d'un SAP	
1.2.1. Structure centralisée	24
1.2.2. Structure répartie	25
1.2.3. Structure distribuée et hiérarchisée	27
1.2.4. Les caractéristiques d'une architecture fonctionnelle du système de commande des processus	30
1.2.5. Conclusion	32
1.3. Le cloisonnement historique entre les automatismes de conduite	
1.3.1. Le relayage et la régulation analogique	33
1.3.2. les automates programmables industriels	34
1.3.3. les automates programmables spécifiques et les systèmes de régulation	38
1.3.4. Les calculateurs numériques	42
1.3.5. Les systèmes de transmission	43
1.4. BESOINS EN CONTROLE ET COMMANDE GENERALISE les systèmes automatisées de productions	48
1.4.1. Interconnection des différentes fonctions de l'entreprise	48
1.4.2. La fonction conduite	49
1.4.3. La fonction maintenance	49
1.4.4. La fonction gestion technique	50
1.4.5. La fonction gestion financière	50
1.4.6. Les freins à la conception et à la réalisation des systèmes d'automatismes	50
1.5 Conclusion	52

CHAPITRE-2 : PERSPECTIVES : CONCEPTION ET REALISATION DE SAP

2.1. PREAMBULE	53
2.2. CYCLE DE VIE D'UN S.A.P	
2.2.1. Définition	55
2-2-2. Besoin en matière d'analyse fonctionnelle des PIC	57
2.3. L'AUTOMATISATION D'UN P.I.C	
2.3.1. Cycle de vie d'un automatisme de contrôle commande	58
2.3.2. Développement d'un automatisme de contrôle commande	61
2.4. LA PHASE DE CONCEPTION ET LA NECESSITE D'UNE METHODE RATIONNELLE D'ETUDE	65
2.4.1. Intérêts et principes de la méthode de conception	
2.4.2. Objectif et limites de la méthode	66
2.4.3. La phase de conception	67
2.5. NOTRE APPROCHE DE LA CONCEPTION DES AUTOMATISMES DES SYSTEMES DE CONTROLE-COMMANDE	71
2.5.1. Etape-1 : Formalisation et organisation des constituants de l'automatisme	73
2.5.1.1. Les spécifications fonctionnelles	74
2.5.1.2. Les techniques ou langages de description	75
2.5.2. Etape-2 : Elaboration d'une architecture matérielle	76
2.5.2.1. Les spécifications technologiques	76
2.5.2.2. Les spécifications opérationnelles	77
2.5.2.3. Critères de répartition des modules d'automatisme sur un ensemble d'équipement	79
2.5.2.4. Définition d'une architecture matérielle	80
2.5.3. Etape-3 : Analyse et évaluation des performances opérationnelles du système	
2.5.3.1. Eléments de sûreté de fonctionnement des équipements d'automatismes	81
2.5.3.1.1. Généralités	81
2.5.3.1.2. Paramètres d'appréciation des performances opérationnelles d'un système	82

2.5.3.2. Critères de qualification d'un système du point de vue sûreté de fonctionnement	89
2.5.3.3. Evaluation des performances opérationnelles d'un système	91
2.5.4. Etape-4 : Description détaillée des traitements de chaque module	
2.5.4.1. Définition	99
2.5.4.2. Le langage séquentiel : GGRAF CET	99
2.5.4.3. La programmation par blocs fonctionnels	100
2.6. CONCLUSION	103

I N T R O D U C T I O N

La complexité ainsi que la taille des processus industriels rendent leur automatisation indispensable, si on veut les maîtriser et en tirer le meilleur profit.

Certes l'automatisation ne date pas d'aujourd'hui, l'automatisation des processus industriels est apparue en même temps que leur installation. On peut qualifier cette période qui va jusqu'aux années soixante dix, de première ère de l'automatisation, puisqu'il s'agissait jusque là d'automatisme câblé et de traitement analogique.

Depuis la fin des années soixante dix, c'est la deuxième ère d'automatisation qui est entamée, car la préoccupation de milliers de chercheurs dans le monde est l'automatisme programmé, accompagné du traitement numérique.

Dans la plupart des applications de taille réduite, cette automatisation se réalise avec succès. Ce succès est dû en majeure partie aux progrès considérables accomplis dans le domaine de la technologie et de la conception des circuits VSLI (Very Scale Large Integration) qui ont permis la réalisation :

- d'une part, des systèmes répartis, réalisant ainsi des traitements locaux [MEI-82], [MAT-86] en déchargeant les machines hôtes de milliers d'opérations (comparaison d'une valeur de mesure à un seuil, élaboration des valeurs de commande...)
- d'autre part, des systèmes centralisés performants (une forte diminution des périodes C.P.U...).

Mais l'automatisation des installations industrielles de grande taille, comme par exemple, une centrale de production d'énergie électrique, pose des problèmes qui sont dûs en général à la multiplicité des intervenants, à l'intégration de plusieurs matériels de constructeurs différents...

Avant d'exposer les problèmes liés à l'automatisation et plus particulièrement, à la phase de conception des automatismes des systèmes de conduite d'un P.I.C, nous avons voulu :

- présenter un processus industriel complexe (structure fonctionnelle d'une centrale nucléaire) et le système de conduite associé,
- et tracer l'évolution des structures et des équipements des Systèmes Aurtomatisés de Production : S.A.P.

Dans le deuxième chapitre de cette partie, nous proposons une approche méthodologique pour la conception des automatismes des systèmes de contrôle-commande des P.I.C.

CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART "l'héritage technologique du passé"

1.1. Introduction des automatismes reflexes entre l'homme et le processus

1.1.1. Préambule

Une production rentable d'énergie électrique exige :

- un fonctionnement économique,
- une adaptabilité optimum de la production à la consommation (au point de vue puissance et gradient de puissance),
- une protection de l'environnement,
- une disponibilité maximum,
- etc.

Ces exigences ne pourraient être satisfaites sans l'introduction des systèmes de conduite, appelés aussi systèmes de contrôle-commande.

Pour définir de manière précise les termes contrôle, commande et conduite ..., nous reprenons le vocabulaire défini dans la publication 50, chapitre 351 de CEI.

- **SYSTEME** : Ensemble d'éléments associés pour atteindre un but déterminé au moyen d'un fonctionnement spécifié.
- **COMMANDE** : Action délibérée sur ou dans un système en vue d'atteindre des objectifs définis.
- **CONTROLE** : Surveillance d'un système ou d'une partie d'un système en vue de s'assurer de son bon fonctionnement en décelant les cas de fonctionnement incorrect.
- **CONDUITE** : Ensemble des opérations de commande et de contrôle d'un système, et éventuellement de celles qui concernent la sûreté de fonctionnement et la sécurité des matériels et des personnes.

Nous utilisons donc indifféremment l'expression système de conduite ou système de contrôle-commande.

Ces systèmes comprennent l'ensemble des équipements nécessaires à la conduite d'un processus, depuis les points de prise d'information (éléments de surveillance, éléments de mesure, éléments intégrés pour l'acquisition et le traitement des signaux analogiques, binaires et digitaux...) jusqu'aux dispositifs de transfert des commandes ou des informations (éléments de pilotage qui sont regroupés dans la salle de contrôle: enregistreurs, indicateurs, voyants de signalisation et d'alarmes, commutateurs...) en passant par les éléments de traitements de ces informations: les automatismes réflexes.

Les automatismes réflexes assurent des fonctions diverses, comme : la régulation, la protection, la commande ..., l'ensemble de ces fonctions est assuré par des équipements d'origines diverses et de nature différentes, que nous décrivons dans le paragraphe 1-3.

Lors de l'automatisation d'une installation industrielle, on constate qu'il y a une forte interaction entre deux mondes différents : d'un côté, il y a le système physique, habituellement appelé "partie opérative", en particulier dans les installations manufacturières ou discontinues; de l'autre côté il y a le système d'automatisme. En ce qui nous concerne, nous assignerons le mot "processus" au système physique, et le mot "équipement" aux différents constituants du système d'automatisme ou de conduite.

1.1.2. Description d'un Processus Industriel Complexe : P.I.C

La réalisation du système de conduite d'un P.I.C passe nécessairement par l'étude du processus concerné, l'étude des lois physiques qui régissent son fonctionnement, l'étude des structures des différentes unités du processus, leur implantation et les conditions de leur exploitation.

Les P.I.C sont généralement des grandes installations qui occupent une superficie non négligeable. Ils sont caractérisés par une structure répartie géographiquement et fonctionnellement.

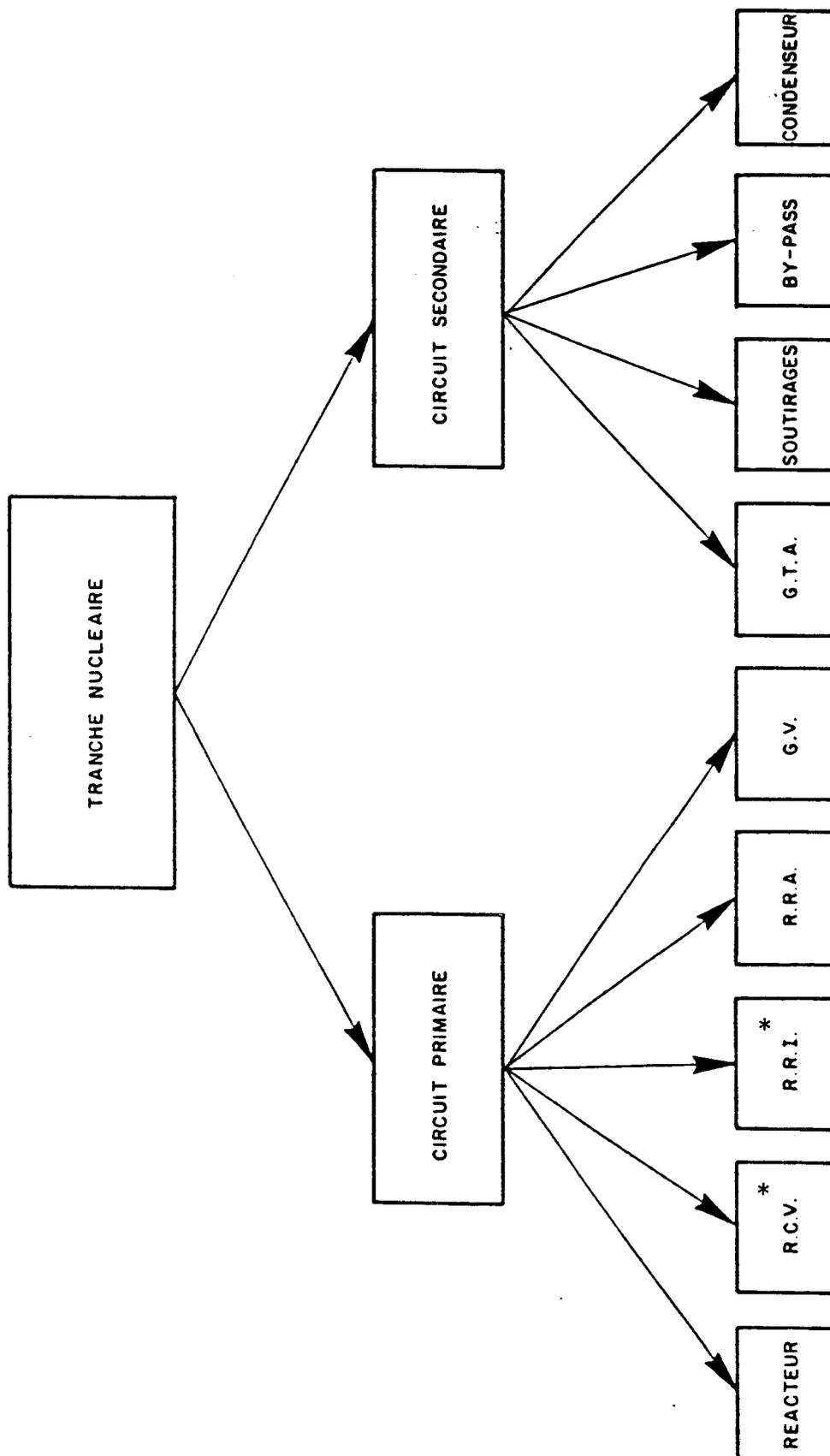
La maîtrise de ces installations passe, avant tout par leur décomposition en un certain nombre de sous-processus plus faciles à gérer. Plusieurs critères peuvent être envisagés pour effectuer cette décomposition, comme par exemple :

- la répartition géographique des constituants du processus,
- spécificité d'un équipement,
- les limites de fournitures, etc.

Pour les centrales de production d'énergie par exemple, leur décomposition tient compte des spécifications fonctionnelles des différents éléments de la centrale, ce qui correspond à un découpage "topologique", décomposition horizontale, qui paraît plus naturel qu'un découpage temporel de l'activité de l'installation par exemple.

Ce découpage macroscopique du processus n'a que peu d'intérêt vis-à-vis du système de conduite, toutefois, il pourra tracer quelques lignes directrices pour le concepteur de ce système; par exemple, il peut associer un type d'équipement à un type de sous-processus, par exemple, (cf le paragraphe 1-3).

La figure-1 illustre la décomposition d'une tranche nucléaire.



* Explication des sigles page suivante

Figure 1 : Structure fonctionnelle d'une tranche d'une centrale nucléaire

D'après la figure ci-dessus, une centrale nucléaire peut être vue sur trois niveaux, suivant une décomposition hiérarchique.

Le niveau-2 représente une tranche de la centrale.

Le niveau-1 est composé de deux circuits :

- Circuit primaire : c'est la partie "nucléaire"
- Circuit secondaire : c'est la partie "classique". Elle ne diffère que peu dans son principe du circuit "eau-vapeur" d'une centrale thermique classique.

Ces deux circuits sont à leur tour décomposés en plusieurs sous-ensembles ou sous-processus qui occupent le niveau-0.

La partie nucléaire est décomposée en 5 sous-processus :

- Réacteur (coeur, cuve, barres de commande etc...),
- G.V (Générateur de Vapeur ou échangeur),
- R.C.V (Circuit de Contrôle chimique et Volumétrique du Réacteur),
- R.R.I (Circuit de Réfrigération Intermédiaire du Réacteur),
- R.R.A (Circuit de Réfrigération à l'Arrêt du Réacteur).

La partie classique, quant à elle, est décomposable en quatre sous-processus :

- G.T.A (Groupe Turbo-Alternateur),
- Condenseur (Dégazeur),
- Soutirages,
- By-pass (Contournements).

Chacun de ces processus est caractérisé par une fonctionnalité spécifique, mais coopère avec les autres pour un seul objectif: la production d'énergie.

Compte tenu de la particularité de chaque sous-processus, leur étude, leur réalisation et leur contrôle-commande font appel à des personnes de compétences différentes, chose qui peut poser des problèmes de compréhension en particulier, si ces personnes ne pratiquent pas le même langage.

Si on continue l'analyse à un niveau encore plus bas, on constate que les différentes installations de production d'énergie (qu'elles soient thermiques : nucléaires/classiques ou hydrauliques) sont constituées d'un grand nombre d'éléments de technologies différentes et provenant de constructeurs multiples.

Malgré cette diversité, plusieurs constituants possèdent des points communs, en particulier à cause de leur fonctionnalité et de leur mode de commande ; ce type de remarque a permis à

l'E.D.F de regrouper ces constituants sous des termes génériques, qui ont fait l'objet d'une note de repérage [REP-81] mise à jour quand des besoins nouveaux apparaissent.

L'identification précise d'un matériel est obtenue par le repère ci-après:

N	A1	A2	A3	N1	N2	N3	B1	B2	I
---	----	----	----	----	----	----	----	----	---

N : Numéro de la tranche,
 Ai : Trigramme qui désigne le système élémentaire (processus),
 Ni : Numéro d'identification (trois chiffres),
 Bi : Repère matériel (deux lettres),
 I : L'identification de l'information.

Ce type de repérage a une double vocation :
 La première est le repérage d'un matériel. Par exemple, dans un système élémentaire donné, on aura :

001 P0 repère d'une pompe
 010 VA repère d'une vanne motorisée

La seconde vocation est le repérage du type d'information fourni par une instrumentation associée ou non à un élément. Donc l'information portera le même repère que l'instrumentation qui lui donne naissance. Ceci est très important, car cette seconde vocation a le mérite d'être un outil ou une technique de communication, entre des "personnes-processus" et des "personnes-systèmes d'automatismes", qui sont en fait très éloignés, de par leur formation et leur champ d'action.

Si la décomposition d'une installation industrielle nous permet de cerner les problèmes côté processus, il n'en reste pas moins côté système d'automatismes, car la variété des structures de ces systèmes et les différents modes de commande, que nous décrivons dans les paragraphes suivants, ne facilitent pas la tâche des personnes impliquées dans l'automatisation du processus.

1.1.3. Description d'un système de conduite

Le système de conduite des centrales de production d'énergie, thermique ou nucléaire, n'est qu'un sous-ensemble du système de conduite global, constitué pour la production et le transport de l'électricité en France.

Par ce fait, le S.C des centrales se trouve en étroite interaction avec d'autres systèmes, comme par exemple :

- Système d'informatique de gestion, pour faire des statistiques, des prévisions de production, etc.

- Système d'aide à l'exploitation :

- . aide à la maintenance
- . consignation
- . essais périodiques
- . etc...

- Les dispatchings régionaux, eux-mêmes coordonnés par le C.N.M.E (Centre National des Mouvements d'Energie), pour l'organisation et l'optimisation de la production au niveau national.

Nous avons schématisé, dans la figure 2, cette interaction :

- d'une part, avec les systèmes mentionnés ci-dessus,
- d'autre part, avec le processus ou l'installation à conduire

Le système de conduite constitue le système nerveux de la centrale, dans la mesure où il analyse tous les signaux en provenance soit du processus, soit de l'opérateur ou des autres systèmes mentionnés ci-dessus et leur délivre respectivement des actions, des comptes rendus et des informations.

Le système de conduite est en fait destiné à assurer trois rôles : le contrôle, la commande et la conduite de la centrale. Si ces rôles apparaissent à première vue indépendants les uns des autres, il n'en est rien dans la réalité, car il y a une forte imbrication entre les différentes fonctions d'automatismes (régulation, protection, signalisation ...) auxquelles on fait appel pour remplir ces rôles.

Le système de conduite d'une centrale est constitué principalement par des équipements de mesure, de régulation, des automatismes (séquentiels et combinatoires), des dispositifs de contrôle de la réactivité (de protection des réacteurs), d'aide à la conduite à la supervision, etc.

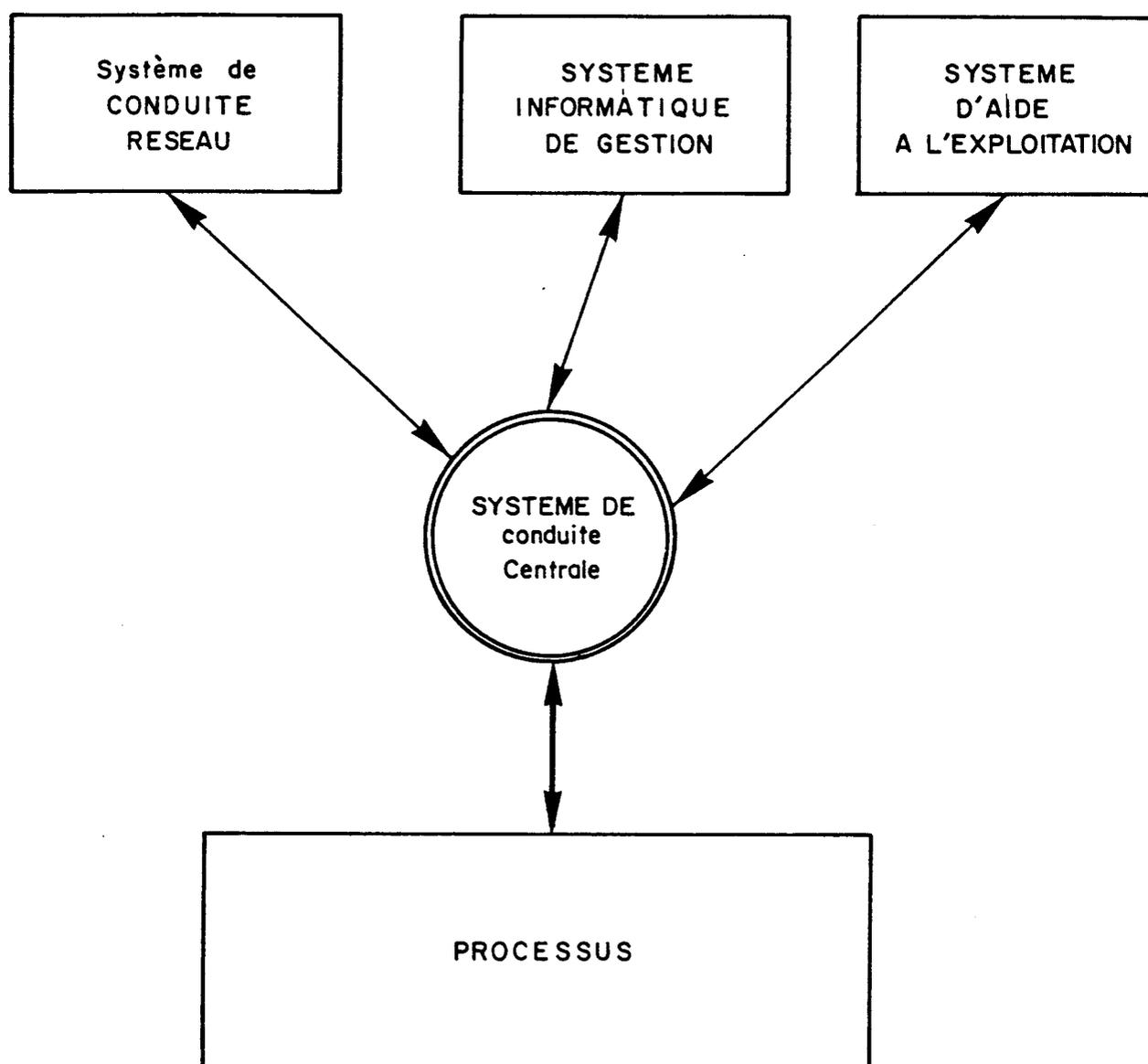


Figure 2 : Position du système de conduite d'une centrale par rapport au système global pour la production et le transport de l'électricité

Tous ces équipements sont en évolution rapide, au fil des décennies, sans parler de la conversion du tout câblé au tout programmé. Les changements ont une influence directe sur les fonctionnalités et le rôle joué par chaque équipement [BAC-84], [HEI-85] et [NYF-84].

Si, dans les premières applications, la totalité des signaux du processus était conduite par câbles individuels en étoile et leur traitement assuré par des calculateurs, constituant le centre de cette étoile, la tendance actuelle (avec l'introduction des systèmes de commande numérique et d'automates programmables industriels A.P.I), est la décentralisation des traitements, la répartition des équipements et la transmission numérique de tous les types d'informations [ERH-85], [MOR-85].

Par suite de la souplesse de ces systèmes, plusieurs possibilités s'offrent, aussi bien en ce qui concerne la structure du système (arrangement des équipements dans l'espace) que la réalisation fonctionnelle des différents automatismes assurés par le système.

Dans le paragraphe suivant nous donnons un aperçu des conséquences du changement des équipements des S.C sur les structures fonctionnelles de ces systèmes .

1.2. Evolution de l'architecture fonctionnelle d'un SAP

Devant la complexité et les exigences des installations (fiabilité, disponibilité, rentabilité économique etc...), donc la quantité de plus en plus importante d'informations à accueillir du processus et à lui transmettre, les systèmes de conduite voient leurs structures et leurs équipements évoluer (de la centralisation à la répartition du traitement).

En effet, les systèmes de conduite des P.I.C ont suivi, l'évolution des techniques d'automatismes et des moyens de traitements d'information. Cette évolution se manifeste par l'augmentation du nombre et de la complexité des fonctions assurées par ces systèmes.

1.2.1. Structure centralisée

Les premiers systèmes de conduite "numériques" avaient deux caractéristiques communes :

- la centralisation du traitement, tous les traitements s'exécutant dans le même équipement "central" (mini-calculateur),
- la communication parallèle, car l'échange d'information se faisait de fil à fil, comme le montre la figure 3.

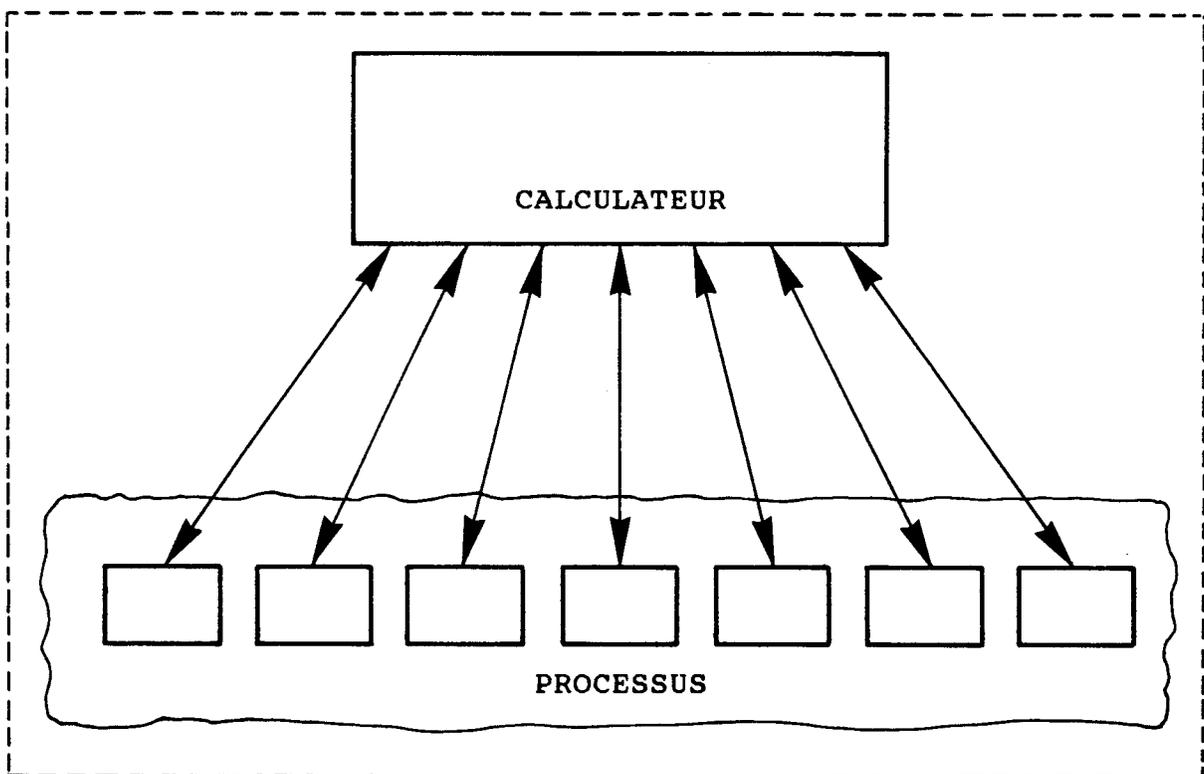


Figure 3 : Structure centralisée d'un système de conduite

Ce type de structure exige une haute fiabilité de la part de l'équipement central. L'inconvénient majeur réside dans la centralisation des traitements dans un même équipement, une défaillance du calculateur entraînant la perte de toutes les fonctions du système de conduite.

Pour assurer un fonctionnement correct de l'installation, il fallait donc ajouter des dispositifs complémentaires, comme :

- Le dédoublement de l'équipement central
- L'adjonction d'équipements spécifiques et indépendants, pour assurer la sécurité des matériels et des personnes par exemple.

Ces dispositifs rendent le coût du système de conduite prohibitif, à cela s'ajoutent des difficultés qui sont dues aux incomptabilités des différents équipements.

Ce type de système est caractérisé aussi par son mode de commande. Celui-ci est à l'image de la structuration matérielle de ces systèmes, c'est-à-dire que toute décision n'est prise que par l'unité centrale et tout objectif n'est élaboré que par celle-ci, [TIT-79].

On comprend aisément que ce type de commande s'avère mal adapté à la conduite des P.I.C, surtout si le niveau d'automatisation est important, ce qui se traduit par un nombre important d'informations échangées entre le système de conduite et le processus. Par conséquent aucun équipement aussi performant soit-il, ne peut assumer la totalité des fonctions du système.

Pour pallier les inconvénients des systèmes centralisés, d'autres types de systèmes de conduite sont apparus qui ont profité de l'évolution technologique : ce sont les systèmes répartis.

1.2.2. Structure répartie

La naissance des circuits largement intégrés : des micro-processeurs, des mémoires mortes ou vives à grande fiabilité et à bas prix, permet désormais de faire éclater et de réaliser une automatique numérique décentralisée qui ouvre des perspectives nouvelles.

Ces circuits ont permis la répartition des traitements et la décentralisation du matériel. Plusieurs études ont montré l'avantage des systèmes répartis sur les systèmes centralisés, d'autant plus que techniquement, il devient possible de décentraliser physiquement les équipements et de faire communiquer les différents sous-ensembles entre eux.

De nombreux travaux ont vu le jour sur les concepts de traitements répartis au niveau technique [PAR 85], [JOS 85] et des langages de communications ont été proposés [BEN 84], [ZAK 84], [LAD 82] ; par contre, peu de méthodologies de structuration susceptibles de sous-tendre ces systèmes sont proposées au niveau des applications, et c'est ce qui a motivé notre travail [CAL-82], [DUF-86], [ELF-85].

L'avantage d'une structure répartie est double :

- Premièrement, la défaillance d'un équipement a des risques limités.
- Deuxièmement, la banalisation des fonctions d'automatisme permet d'assurer dans le même équipement soit des fonctions diverses soit un seul type de fonction de plusieurs processus.

Cette souplesse est due en grande partie à l'utilisation des techniques informatiques.

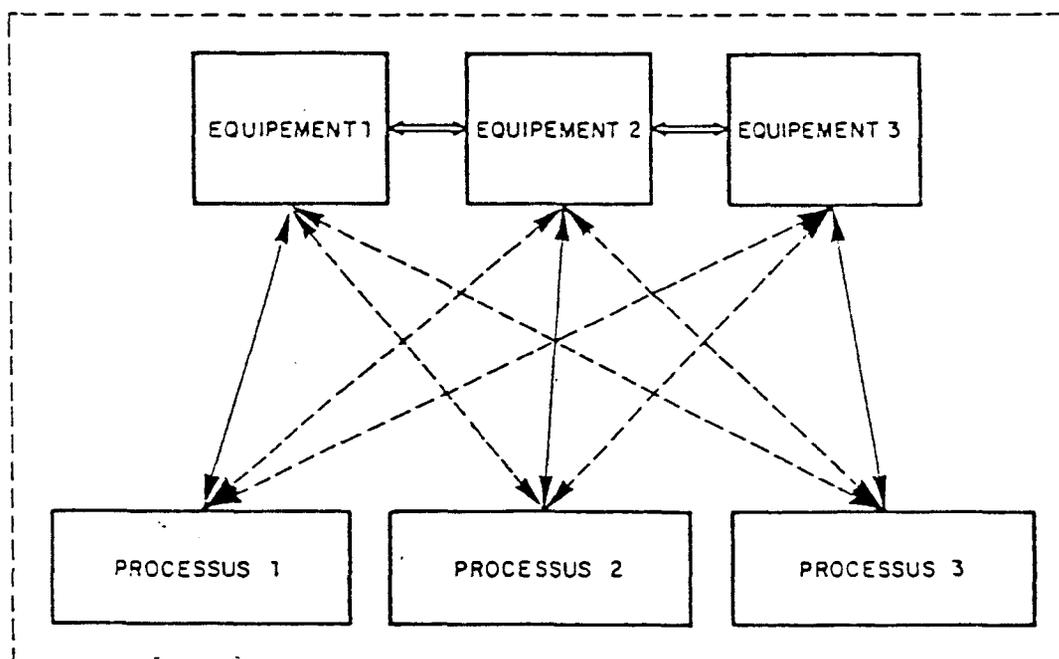


Figure 4 : Structure répartie d'un système de contrôle-commande

L'inconvénient majeur de cette architecture, est la concentration de la fonction communication. Comme il y a un échange important d'informations entre les différents équipements, ceci peut être pénalisant.

L'adaptation à ces nouvelles technologiques apparaît peu à peu comme une nécessité, qui va dans le sens de l'amélioration des conditions d'exploitation des installations en introduisant des bus de communication [ERH85].

Quelquefois, des considérations de sûreté de fonctionnement peuvent, par exemple, entraîner la redondance du bus pour éviter son étranglement ou assurer une disponibilité correcte, (dans le cas où l'un d'eux est hors service) ou pour assurer des fonctions vitales. Nous verrons les différents concepts de sûreté de fonctionnement en détail dans le chapitre 2.

1.2.3. Structure distribuée et hiérarchisée

L'arrivée sur le marché, dès le début des années 80, des Automates Programmables Industriels (A.P.I) et des Réseaux Locaux Industriels (R.L.I) a donné aux systèmes de conduite une troisième dimension : la hiérarchisation.

Ces nouveaux venus ont favorisé l'apparition d'un autre type de structure: c'est la structure distribuée et hiérarchisée, dans laquelle il n'y a pas seulement une répartition horizontale des fonctions d'automatismes sur des équipements, mais aussi une répartition verticale du point de vue fonctionnel et structurel, c'est-à-dire que les différents équipements du système de conduite occupent des niveaux différents, qui sont dédiés à des fonctions spécifiques.

Finalement, chaque niveau est caractérisé par ses équipements et par ses fonctions ainsi que par ses éléments de communication avec les autres niveaux (cf § 1-3-5).

La figure 5 représente la tendance des structures, actuelles et celle des années à venir, des systèmes de conduite des grandes installations industrielles.

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des équipements et des fonctions de chaque niveau, ceux ci seront détaillés dans la paragraphe suivant.

Cette structure est le reflet du mode de commande hiérarchisé. Nous décrivons ici les concepts fondamentaux de ce mode, pour plus de détails voir [TIT-79], [GAL-86].

La commande hiérarchisée est représentée par une structure "arborescente" de plusieurs niveaux, constitués de "modules" indépendants de toute unité matérielle (automate, élément d'acquisition, mini calculateur...), plusieurs modules du niveau le plus bas sont coordonnés par une unité supérieure et ainsi de suite jusqu'au sommet de la pyramide, comme le montre la figure 6.

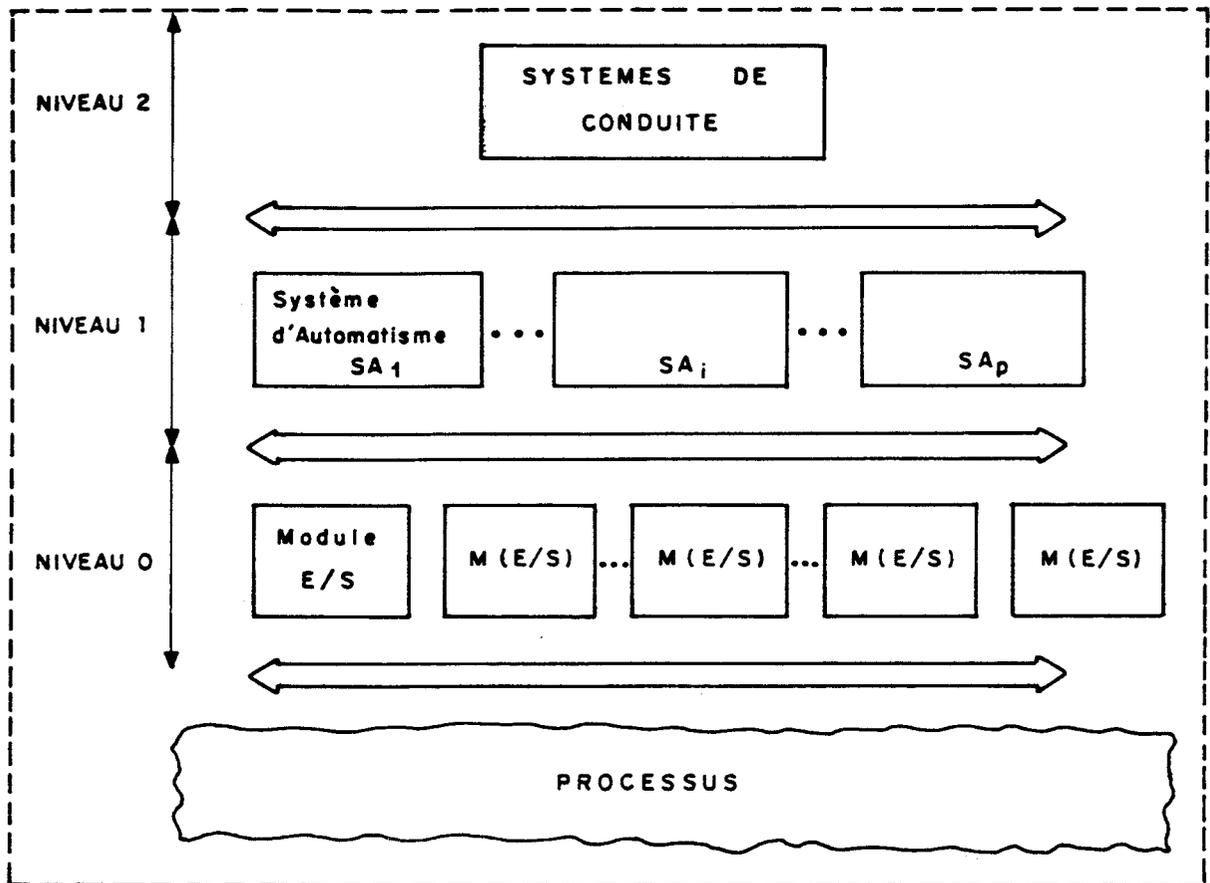


Figure 5 : structure distribuée et hiérarchisée d'un système de conduite

	EQUIPEMENTS	Fonctions
Niveau 2	- Micro-calculateurs - Mini-calculateurs	- Optimisation - Conduite - Dialogue homme/machine
Niveau 1	- A.P.I - Systèmes d'automatisme spécialisés	- Commande - Protection - Régulation - Surveillance...
Niveau 0	-Cartes spécialisées	- Convertisseur A/N et N/A - Prétraitement...

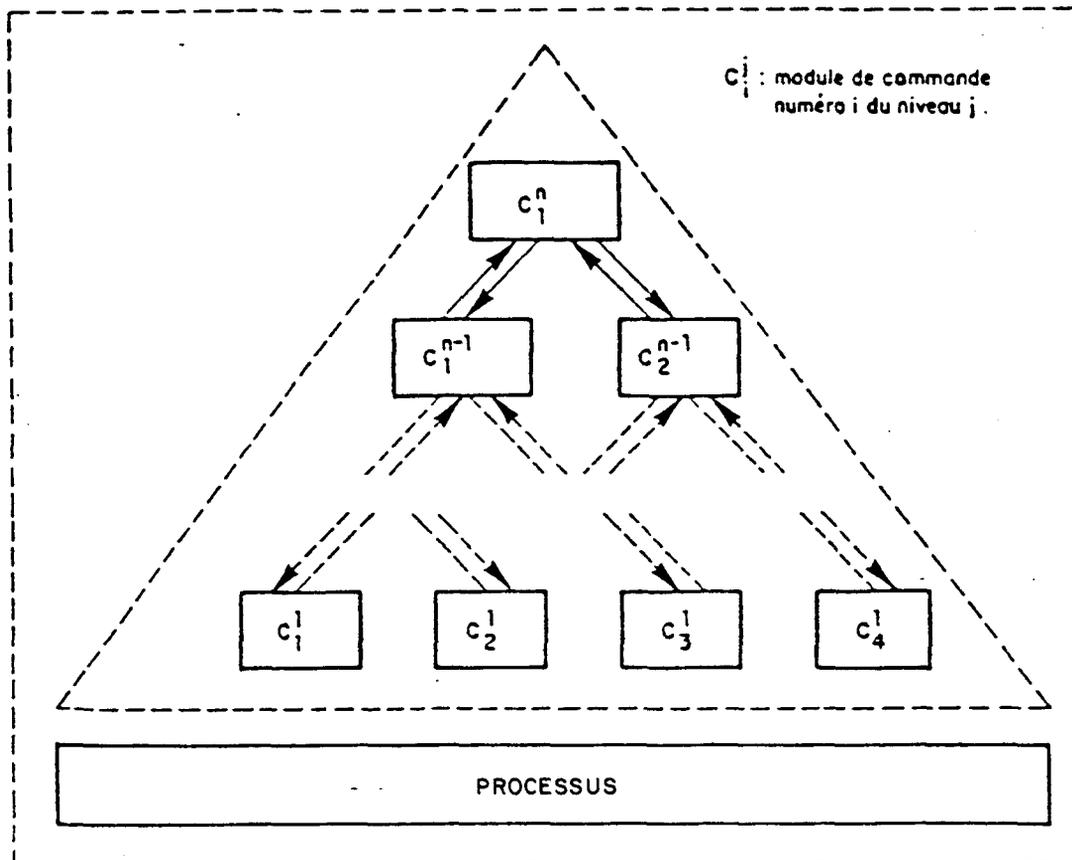


Figure 6 : Structure de commande hiérarchisée

Les modules communiquent entre eux par des "objectifs" fonctions à réaliser et par des "situations" image de l'état du processus, lorsqu'il s'agit d'échange entre modules de niveaux différents, des échanges d'informations entre-modules de même niveau hiérarchique sont possibles, et parfois, nécessaires dans le cas de fonctionnement synchronisé ce qui permet une structuration dans la commande hiérarchisée.

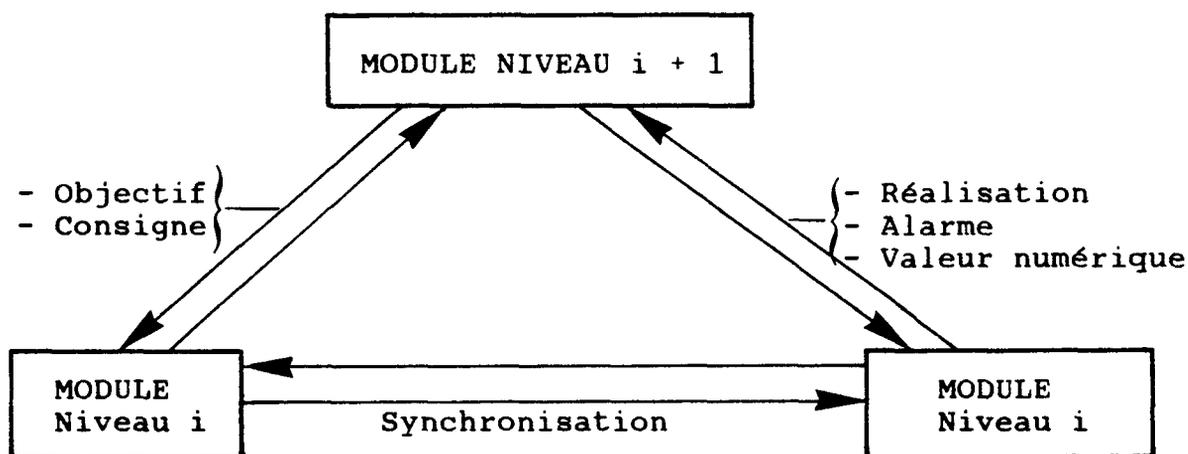


Figure 7 : Structure d'échange inter-modules

1.2.4. Les caractéristiques d'une architecture fonctionnelle du système de commande des processus

Le but attendu d'un système de contrôle-commande à structure distribuée et hiérarchique est d'arriver à une "macro-machine virtuelle", constituée d'une collection d'unités de traitement physiquement et logiquement interconnectées, coopérant ensemble pour obtenir un système intégré unique et cohérent.

La décentralisation doit être considérée ici comme une autonomie totale de chaque unité vis-à-vis du reste du système.

Les services, de plus en plus performants, attendus des S.C.C, peuvent se concrétiser par la satisfaction des objectifs suivants :

- La banalisation de l'information : en effet, le contrôle et la commande des différents constituants d'un processus par des systèmes numériques répartis nécessitent des informations banalisées afin de permettre leur diffusion à tous les abonnés qui traitent ces informations.

- La crédibilité des informations : pour avoir un système sûr et fiable, il faut avoir avant tout des informations crédibles. La crédibilité d'information nécessite :

- . une instrumentation fiable,
- . et/ou des algorithmes de traitement efficaces.

Pour satisfaire ces objectifs, une évolution de la structure des traitements d'automatismes, de contrôle-commande, se profile vers des modules de traitement plus efficaces.

Ces nouveaux modules permettent d'assurer, en plus des fonctions de contrôle-commande habituelles, des traitements de crédibilité des données qu'ils reçoivent, d'analyser le comportement de leur subordonnés, d'élaborer des comptes rendus fiables, etc. La troisième partie de ce mémoire est consacrée à la définition et à la description de ces modules.

Comme cette distribution (des ressources matérielle et logicielles) est envisagée dans un contexte totalement numérique, ceci impose des nouveaux concepts qui n'ont rien avoir avec ceux de la répartition des tout premiers S.C.C "Analogiques", dans lesquels les concepts de répartition étaient plutôt liés au cloisonnement technologique.

Ceci se traduisait par une macro-répartition entre :

- d'une part, les traitements analogiques : assemblage des modules analogiques (donc une grande modularité) pour assurer des fonctions de réglage, de commande d'actionneurs analogiques ...

- d'autre part, les traitements logiques : assemblage des relais logiques ou à seuils "ANATOR" pour assurer des fonctions de commande logique, de surveillance, de protection ...

On constate donc que les systèmes analogique se caractérisaient par une répartition accrue, mais d'un inconvénient majeur lié à la communication, étant donné que chaque information échangée entre deux éléments nécessitait un fil de liaison, en plus des perturbations électromagnétiques auxquelles elle est exposée.

Par ce fait, beaucoup d'objectifs sont attendus des systèmes de contrôle-commande à structure distribuée et hiérarchique, comme par exemple :

- une modularité matérielle et logicielle,
- une capacité accrue de traitement,
- des coûts d'interconnexion réduits,
- une expansion du système facile en matériel et logiciel,
- etc.

Atteindre ces objectifs nécessite un travail méthodique et des outils d'aide à la conception, performants.

Notre objectif est donc d'offrir aux concepteurs un mode de travail et des éléments de structuration des automatismes des S.C.C, qui peuvent servir d'éléments de base pour un outil d'aide à la conception.

1.2.5. Conclusion

Nous avons essayé de présenter dans ce paragraphe les caractéristiques générales des systèmes de conduite, sans que cette présentation soit pour autant exhaustive, et sans anticipation sur la manière dont le choix de telle ou telle structure doit être réalisé.

Le choix d'une architecture et d'une technologie d'un système de conduite dépend à la fois des caractéristiques fonctionnelles (mission opérationnelle du système avec ses performances et les précisions associées) et des caractéristiques comportementales (comportement des équipements du système vis-à-vis des aspects de sûreté de fonctionnement, fiabilité, disponibilité, maintenabilité...) que nous décrivons en détail dans la suite.

Il nous semble donc opportun de présenter les caractéristiques des différents éléments d'un système de conduite dans le paragraphe suivant, et ceci pour :

- Connaître les équipements existant sur le marché,
- Mieux les situer dans les différents niveaux des structures du système (structure distribuée et hiérarchisée),
- Avoir finalement des données de base sur les équipements d'un système de conduite dont on aura besoin dans la suite de ce travail.

1.3. Le cloisonnement historique entre les automatismes de conduite

1.3.1. Le relayage et la régulation analogique

La première génération des automatismes des système de contrôle-commande a été marquée par le cloisonnement entre les fonctions de réglage et les fonctions de commande, de protection, etc.

Ce cloisonnement est dû, en fait aux moyens technologiques qui existaient, étant donné que :

- Les fonctions de réglage étaient assurées par des dispositifs analogiques : des P.I.D pneumatiques, puis électroniques discrets.
- les fonctions logiques étaient assurées par des relais électromagnétiques et statiques.

Ces automatismes sont caractérisés par une grande décentralisation des fonctionnalités du système de contrôle-commande, par une communication fil à fil, par des informations incohérentes transmises à l'opérateur (pour une même information, on est amené à l'instrumenter, à la traiter et à la présenter différemment).

Il est donc difficile d'envisager une élévation du niveau d'automatisme dans ce type de système. En effet, ceci engendre beaucoup de difficultés de réalisation, dues aux inconvénients des systèmes analogiques :

- L'élévation du niveau d'automatisme entraîne la juxtaposition de plusieurs constituants, qui sont par nature encombrants.
- Ce sont généralement des dispositifs figés donc, aucune possibilité de les faire évoluer.
- L'augmentation de leur nombre ne fait que défiabiliser l'ensemble de la chaîne d'automatisme.
- etc.

Devant les multiples inconvénients des automatismes à base de relais et de dispositifs analogiques qui assuraient l'automatisation de la plupart des centrales, jusqu'à la fin des années 70, les constituants des systèmes de conduite des centrales ont subi une vraie mutation vers les constituants assurant des traitements numériques, comme par exemple, les automates programmables ou autres constituants spécialement conçus pour les centrales, en particulier pour les centrales nucléaires.

1.3.2. Les Automates Programmables Industriels: API

La majorité des automates programmables, utilisés dans les systèmes de conduite des centrales de production d'électricité, se trouvent dans le parc hydraulique. En effet, les systèmes de conduite des centrales hydrauliques ont été équipés petit à petit d'API, en couvrant progressivement les trois niveaux de la structure du contrôle-commande.

Actuellement, ces automates assurent la totalité des fonctions de contrôle, commande et de conduite nécessaires à la conduite automatique des centrales hydrauliques [AUT 87].

Mais la floraison et l'arrivée massive des API sur le marché ont favorisé leur utilisation dans des centrales autres que les centrales hydrauliques, en particulier dans les centrales expérimentales, comme la centrale solaire "Thémis" dont les fonctions du niveau 2 (régulation, protection, commande etc...) étaient assurées totalement par des API, et ce d'une manière satisfaisante [LOU 83].

1.3.2.1. Structure matérielle et fonctionnelle d'un API

Les éléments de base d'un automate programmable classique sont une unité centrale, une unité mémoire et des unités d'interface.

Avec le progrès technologique dans le domaine de la micro-électronique, les structures des automates ont évolué vers la modularité et la sécurité : ce sont les deux caractéristiques principales des Automates Programmables Industriels, [DEI-85].

Plusieurs variétés d'A.P.I existent, qui sont différenciées par divers paramètres [BEL-87], comme par exemple :

- Le nombre et les caractéristiques des cartes d'entrées sorties,
- Le nombre et les caractéristiques des cartes spécialisées (de communication, de comptage rapide, de positionnement d'axes, de régulation...),
- Le(es) langage(s) de programmation supporté(s) par l'automate,
- etc.

Les API peuvent exécuter des fonctions d'automatisme diverses [FOU-85] (fonction de commande, de régulation, de protection...), moyennant des dispositifs d'interface et de communication adéquats, cf figure-8.

Cependant, certains API sont mieux adaptés que d'autres à telle ou telle fonction, il n'y a pas de produit idéal, mais simplement une spécialisation plus ou moins poussée du produit vis-à-vis des applications potentielles.

Afin de diminuer le temps de programmation et d'exécution et afin d'améliorer la disponibilité de l'automate, les instructions nécessaires pour l'exécution d'une fonction sont regroupées, formant ainsi un bloc.

L'ensemble des divers blocs constitue ce qui est habituellement appelé la structure par bloc fonctionnel [PHI 84]. Les avantages de cette structure sont nombreux, le principal étant la facilité de la programmation qui se manifeste par une souplesse sans équivoque. Le travail du programmeur se résume à l'établissement des liaisons entre les différents blocs pour la structuration de telle ou telle fonction. Nous décrivons en détail ce type de langage dans le chapitre 2, § 3.5.4.

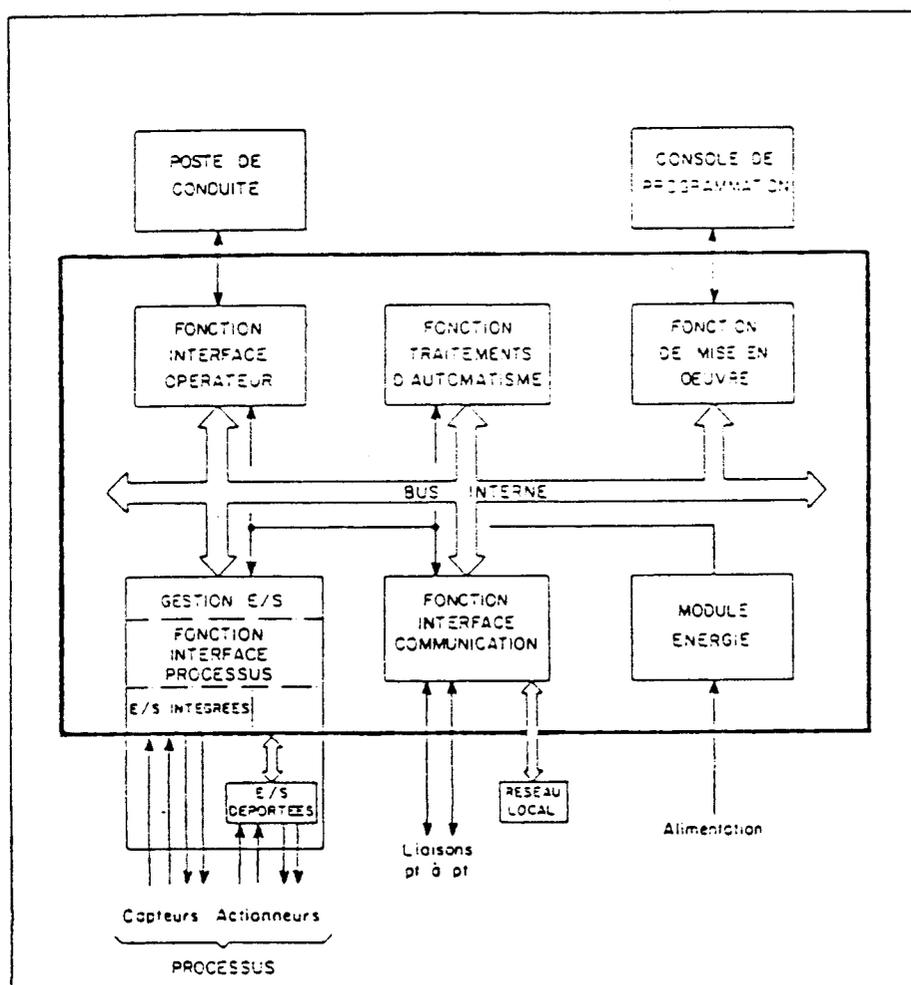


Figure 8 : Structure fonctionnelle de base d'un automate

Remarque :

Généralement la taille mémoire de base dépend du nombre d'entrées-sorties de l'automate, mais sans avoir une relation directe entre eux. Par contre, le choix du langage de programmation a une influence directe sur la taille mémoire (un programme en GRAFCET n'occupe pas la même place mémoire qu'un programme en logique programmée pour une même fonction).

Parmi les langages de programmation les plus répandus, on note

- Le GRAFCET, qui fait l'unanimité de tous les constructeurs,
- le schéma à relais, que l'on rencontre sous différentes appellations, diagramme en échelle, graphe d'état...
- les langages littéraux : instruction par instruction ou expressions booléennes.
- et enfin, les langages spécifiques à un matériel donné :
 - . Logigramme pour les automates de SIEMENS,
 - . Micro-pascal pour les automates de CGEE-ALSTHOM,
 - . assembleur pour les automates d'APRIL
 - . etc...

1.3.2.2. L'A.P.I et son environnement

Un API est (et sera) souvent amené à s'intégrer dans un système d'automatisme, donc à avoir besoin de communiquer avec d'autres automates ou systèmes numériques. Le choix des automates aptes à communiquer avec leur entourage est donc primordial, lors de la conception des automatismes d'un système de contrôle-commande.

"Un automate est apte à la communication, s'il présente des moyens de communication avec d'autres automates et/ou d'autres matériels, autres que par les entrées-sorties" [CTA-86].

L'avantage des cartes d'entrées-sorties, c'est la rapidité, mais leur inconvénient majeur, c'est qu'on ne peut pas utiliser autant d'E/S que d'informations à transiter. Les constructeurs se sont vus obligés de doter leurs API de coupleurs pour des liaisons séries asynchrones ou de coupleurs pour des bus de communication dans le cas d'API haut de gamme.

Avec ces dispositifs les API peuvent, donc, communiquer avec plusieurs autres automates ou matériels formant ainsi un réseau. Dans un système d'automatisme formé à base d'API, on distingue plusieurs types de réseaux:

- les réseaux homogènes : c'est-à-dire fermés aux autres matériels,
- les réseaux ouverts : sur la gamme du constructeur,

- les réseaux hétérogènes : ouverts à d'autres matériels que ceux du constructeur.

Les réseaux peuvent être structurés sous-forme de bus ou d'étoiles. Cela dépend du type d'automates, mais l'on en trouve qui sont adaptés aux deux configurations.

1.3.2.3. Les A.P.I et la sécurité

L'échange d'informations avec des équipements de même niveau n'est pas le seul moyen de dialogue d'un API, il y a aussi ses entrées pour le contrôle du processus et ses sorties pour le commander. Donc, pour assurer le bon fonctionnement d'un automate et assurer la sécurité du matériel et du personnel, il faut bien maîtriser le comportement de ses sorties sur un défaut interne ou externe.

Un quelconque défaut doit être : détecté, signalé et les sorties doivent prendre un état pré-défini [MOR-84].

La norme NFC 63850 du comité CEI classe les API en 5 catégories, en fonction de leur comportement sur un défaut interne [CETIM-API].

"1" Le défaut est détecté, signalé et l'automate continue à assurer sa mission,

"2" Le défaut n'est pas signalé et l'automate continue à assurer sa mission,

"3" Le défaut est détecté, signalé et les sorties se mettent en état sécurité,

"4" Le défaut est détecté, signalé et les sorties prennent un état indéfini,

"5" Le défaut n'est pas détecté et les sorties prennent un état indéfini.

Le but de cette norme est la formalisation (par le constructeur) des caractéristiques, des conditions d'emploi et du comportement sur défaut interne d'un automate.

Jusqu'à présent les API n'ont pas fait leur place dans le parc thermique, ceci est dû au choix fait par la DDE : dès le début du thermique la DDE a préféré faire développer des automates programmables spécifiques au thermique (APS).

1.3.3. Les Automates Programmables Spécifiques: APS et les systèmes de régulation

Si les API jouent un rôle très important dans le parc hydraulique, il n'en est rien du côté thermique (classique et nucléaire). Après les relais électromagnétiques, les fonctions d'automatismes du niveau 1 (figure 5) sont toujours accomplies par des automates programmables spécifiques.

La principale raison de ce choix est qu'au début du thermique des API obéissant aux normes de sécurité, en particulier celles nécessaires à la conduite des installations nucléaires, étaient quasiment inexistantes. Ceci a conduit la DDE à passer des marchés avec des constructeurs d'automates programmables ou d'autres systèmes d'automatisme, pour la réalisation d'automates programmables spécifiques au contrôle-commande des centrales thermiques.

Le but principal de ce marché est le remplacement du relaiage électromagnétique, en améliorant la qualité de service, par un matériel numérique disposant d'une grande sécurité (évitant en particulier l'émission d'ordres intempestifs).

L'amélioration des services du relaiage, sous-entend avoir :

- une bonne disponibilité,
- une bonne sécurité,
- une maintenabilité facile,
- et d'autres possibilités comme l'échange d'information avec d'autres systèmes ...

Trois grandes familles d'APS ont été développées depuis la fin des années 70 et ont subi, comme tant d'autres matériels numériques, des améliorations depuis lors, d'une part, pour profiter de l'évolution technologique de leurs constituants, d'autre part, pour satisfaire les objectifs ci-dessus et les besoins qui ne cessent d'augmenter en fonction des puissances installées (900, 1300 et 1400 MW). Décrivons brièvement le rôle et les caractéristiques de ces trois familles d'APS.

1.3.3.1. LE CONTROBLOC

Le Controbloc a fait son entrée dans le contrôle-commande à partir du palier P4 (1300 MW), et depuis, il n'a cessé d'évoluer, sa version actuelle est le P20 conçu pour le palier N4 (1400 MW).

La structure matérielle du controbloc (P20) est organisée d'une manière hiérarchique et modulaire, et constituée par :

- des blocs : comme par exemple, le bloc de traitement logique (BTL), le bloc de traitement numérique (BTN), le bloc de connexion de périphérique etc..., un bloc étant défini comme un ensemble de modules,
- des modules : Module automate de traitement Logique (P20-TL), module automate de traitement numérique (P20 - TN), module coupleur de périphérique (P20-CP)..., un module étant défini comme un ensemble de cartes,
- Des cartes : carte opérateur logique (OL), carte opérateur de surveillance (OS), carte opérateur de communication (OC) etc...

L'ensemble des modules d'un bloc sont reliés par un bus (parallèle) : C'est le LOCABUS, alors que l'ensemble des blocs est relié par un second bus rapide (parallèle), c'est le controbloc formant ainsi une grappe. L'ensemble des grappes est à son tour connecté par un autre bus (intergrappe).

La structure fonctionnelle générale du controbloc est constituée de 3 parties, cf figure-9 :

- deux ensembles de traitement strictement redondants,
- deux ensembles logique de détection et traitement des défauts,
- un ensemble permettant le raccordement des E/S avec l'installation.

Le mode de fonctionnement d'un châssis est régi par les deux ensembles de traitement : Pour qu'un ordre puisse commander une sortie, il est nécessaire qu'il soit donné en même temps par les deux bus (fonctionnement en 2/2), ce qui améliore la fiabilité du système et assure une bonne sécurité de fonctionnement.

Le P20 assure des fonctions d'automatismes diverses (par des traitements logiques et analogiques) et pas seulement logiques, comme c'est le cas des précédents controblocs. Parmi ces fonctions, on cite par exemple, le démarrage/arrêt, protection des matériels, commande du processus, prétraitement et traitement des grandeurs analogiques....

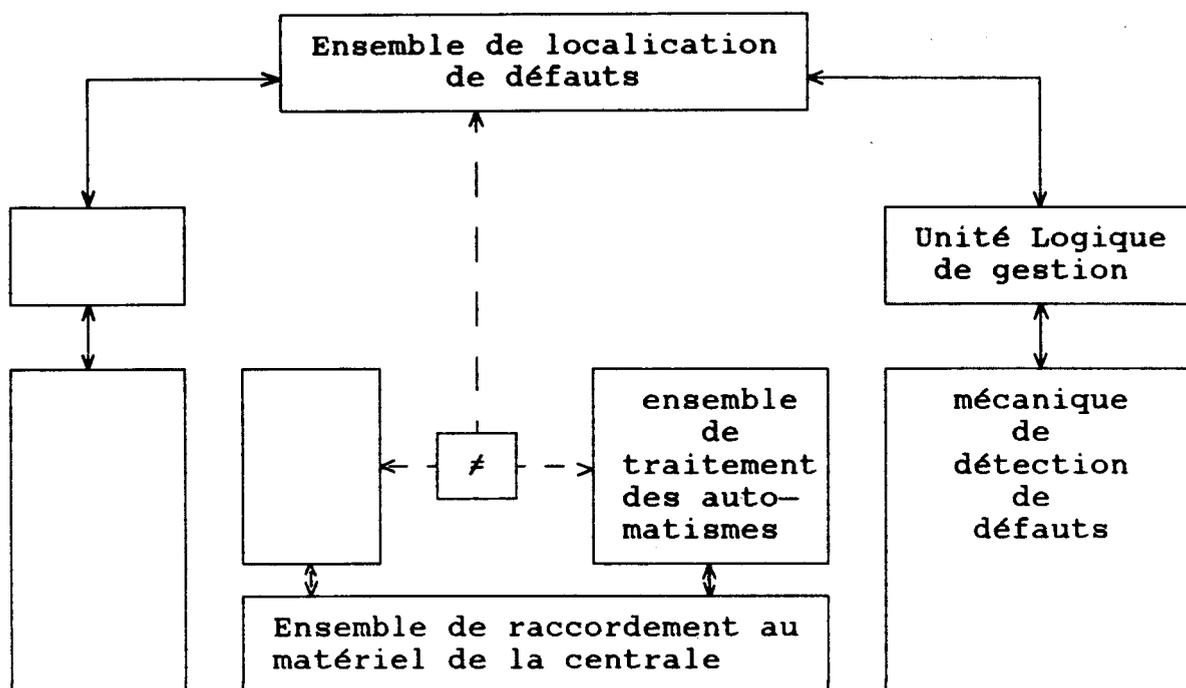


Figure 9 : Principe de la structure fonctionnelle du Controbloc [PIA-82]

1.3.3.2. Système de Protection Intégré Numérique (SPIN)

Pour assurer la protection et la sécurité du réacteur un système d'automatisme a été conçu spécialement : c'est le SPIN, il a été développé en commun par plusieurs sociétés : CERCI, CEA, FRAMATOME et MERLIN-GERIN, [RIC-83].

Le rôle du SPIN est double :

- d'une part, il doit provoquer l'arrêt d'urgence par coupure de l'alimentation des mécanismes des grappes (des électro-aimants les maintiennent en position haute). Ces grappes assurent le contrôle de la réactivité dans le coeur par l'intermédiaire des barres de contrôle.
- d'autre part, il doit démarrer automatiquement, si nécessaire, les systèmes de sauvegarde (injection de sécurité, aspersion enceinte, isolement enceinte...).

Les différentes fonctions de protection, assurées par le SPIN, ont pour but de protéger le réacteur contre :

- les variations anormales de pression et de température du circuit primaire,
- les défauts d'alimentation des générateurs de vapeur,
- les ruptures de tuyauteries d'eau et de vapeur,

- les surpuissances nucléaires,
- etc...

Pour accomplir ces fonctions dans les meilleures conditions, en fonction des contraintes et des objectifs à chaque instant, la structure du SPIN représente un maximum de redondances : 4 chaînes identiques de traitement (chaque information de protection est donnée par 4 capteurs indépendants), avec une logique de vote 2/4 dans le cas de fonctionnement normal : il suffit que 2 chaînes demandent une action de protection pour qu'elle soit exécutée.

1.3.3.3. Système de régulation

Tout ce qui touche à la régulation de près ou de loin est réalisé par deux systèmes :

- . le micro Z réalisé par Contrôle-Bailey,
- . et le microRec réalisé par ALSTHOM

- le micro Z (μZ) a pour mission la régulation, généralement lente. Cependant ses modules assurent aussi des fonctions autres que la régulation par exemple, la commande séquentielle de supervision, des fonctions d'automatismes associées à la régulation. La structure matérielle de base d'un μZ ne présente pas de redondance par contre elle est très modulaire et peut être décentralisée (jusqu'à 1 km bus électrique ou 2,5 km bus optique). Les cartes distribuées peuvent être extraites de leur logement sous tension (ce qui facilite les procédures de maintenance) [PIC-85].

- le microREC (μREC) : sa fonction principale est la régulation de la turbine, donc, une régulation très rapide avec une marge de manoeuvre très étroite. Le μREC est un système redondant, organisé autour d'une structure hiérarchique à deux niveaux [ALS-87] :

- . la structure de base : elle assure des fonctions strictement nécessaires au maintien en service de la turbine, en se limitant à des fonctions élémentaires. C'est une structure redondante 2/3 active.

- . Le niveau supérieur assure des fonctions plus complexes mais complémentaires de celles du niveau inférieur.

Le rôle principal du μREC est de moduler le débit vapeur par son sous-système de réglage pour assurer :

- le réglage de vitesse,
- le réglage fréquence puissance,
- la maîtrise de la vitesse lors des perturbations brusques,
- le respect des limitations imposées par la chaudière.

Mais le μ REC contient un autre sous-système : c'est le système de sécurité, qui agit en TOR pour assurer la protection des matériels contre:

- la survitesse,
- la montée en pression dans les sécheurs/surchauffeurs,
- etc...

Les chaînes de traitement et de déclenchement sont traitées en combinaison 2/3.

Généralement, ce qui différencie les APS des API est la prise en compte de la notion de sûreté de fonctionnement par les premiers, et ce, d'une manière globalement satisfaisante. Les APS sont souvent constitués de deux types de matériels :

- des matériels destinés à réaliser des fonctions d'automatismes,
- des matériels destinés à détecter les pannes, à les localiser et à les signaler.

Tous ces matériels sont généralement doublés, triplés voire quadruplés, comme c'est le cas du SPIN.

1.3.4. Les calculateurs numériques

Les équipements du niveau 1 (API et/ou APS) assurent, d'une manière générale, des traitements d'automatismes élémentaires, alors que les équipements du niveau 2 (cf. figure 5) doivent assurer des traitements plus élaborés, traiter des informations en temps réel ou différé, par ce fait, dans la plupart des systèmes de contrôle-commande des centrales, les équipements du niveau 1 sont coiffés par des micro et/ou des mini-calculateurs.

Les calculateurs jouent, donc, leur plein rôle au niveau 2. Ce niveau centralise en outre la plupart des moyens de contrôle-commande mis à la disposition de l'équipe de conduite (des écrans pour la visualisation, des pupitres de commande pour le dialogue avec les écrans, un ou des synoptiques du processus, des unités de bande magnétique pour le stockage, des imprimantes etc...).

Les fonctionnalités accomplies par les calculateurs sont de 3 types :

* Les fonctions nécessaires à la conduite, effectuant des traitements vitaux à la bonne conduite de la centrale :

- traitement d'aide à la conduite,
- calculs d'informations élaborés.

* Les fonctions indispensables à la conduite, c'est généralement du traitement en temps réel :

- traitement d'alarmes,
- mise en état d'arrêt sûr en cas d'incident,
- maîtrise de situations incidentelles.

* Les fonctions utiles à cette conduite (traitement en différé) qui offrent une aide à l'opérateur :

- . analyse a postérieure,
- . archivage,
- . journaux de bord

Pour remplir ces fonctions plusieurs calculateurs sont parfois nécessaires avec des logiciels adéquats, comme par exemple, à Creys-Malville [DEC-84] on trouve des calculateurs dédiés au traitement centralisé des informations (TCI) : trois solars 16/65, un frontal, un central et un en secours, traitant environ 8000 informations TOR et 3000 mesures analogiques, à cela s'ajoute des calculateurs complémentaires dédiés à des traitements spécifiques, comme les calculateurs de traitement des températures du coeur (TRTC)...

Les critères de sûreté de fonctionnement sont généralement pris en compte lors de la conception (matérielle et logicielle) [GAR-80] en incluant des :

- mécanismes de contrôle, concordance des informations des sous-ensembles redondés par exemple, pour la détection des défauts,
- mécanismes de localisation de la panne soit par des voyants lumineux, soit par consultation "du journal de maintenance",
- notions de modularités (carte REC, carte mémoire, carte coupleur, carte alimentation...).

1.3.5. Les systèmes de transmission

1. La communication dans un système de conduite :

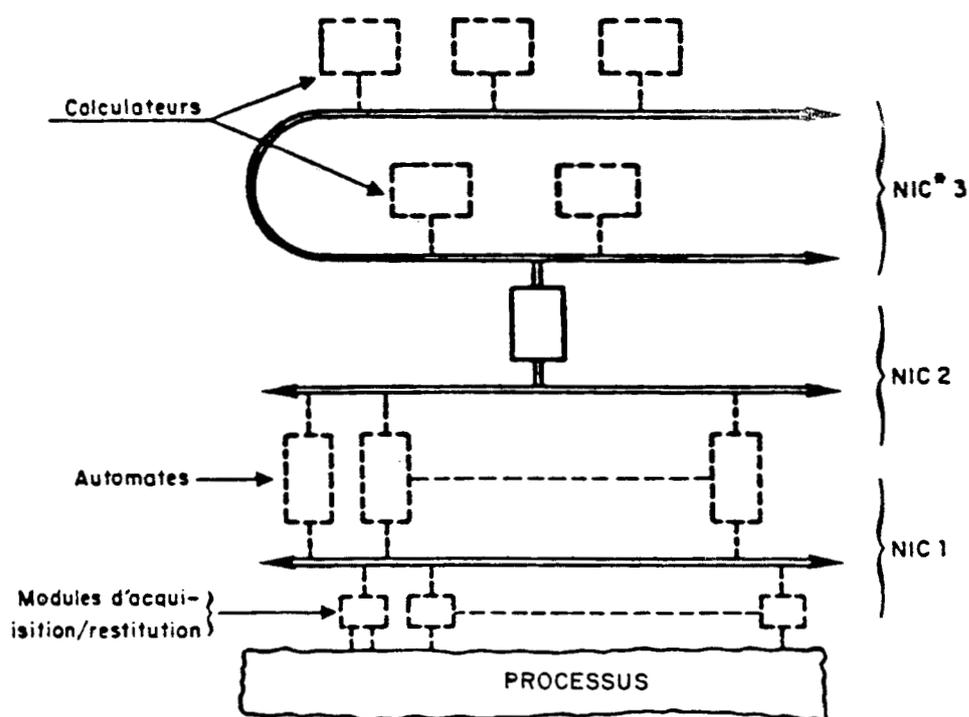
L'évolution technologique n'a pas profité seulement aux équipements décrits dans les paragraphes précédents, mais aussi aux moyens de leur communication. Depuis des décennies, la nature de l'information échangée entre deux équipements ainsi que les supports de communication ne cessent de se transformer [GAL-83], [GAL-85].

L'établissement du dialogue entre plusieurs équipements revient à la définition des technologies de la communication qui régissent ce dernier, c'est-à-dire au choix :

- des médias de transmission : fil, câble électrique, câble optique....,
- des formats de la transmission : parallèle, série, synchrone, asynchrone,
- de la topologie de réseaux : point à point, étoile, arbre, anneau, boucle,
- du protocole d'échanges : maître-esclave, à jeton, à écoute de la porteuse...
- etc.

La hiérarchie dans la structure de commande du système de conduite, décrite au § 1-2-3, est reflétée au niveau de la structure de communication, dans laquelle on distingue trois niveaux. Chacun d'entre eux est occupé par un type de bus de communication dont les caractéristiques générales sont résumées dans la figure 10 et dans le tableau ci-dessous.

Note : La figure 10 représente la tendance, à moyen et à long terme, de l'architecture de la communication à base de bus, qui peut être comparable à celle du futur palier N4 [HAM-87].



(*) niveau communication

Figure 10 : Position de la communication dans un système de conduite

Chaque bus avec les éléments de son raccordement (coffrets d'acquisition, cartes de communication, boîtes de raccordements...) aux équipements des deux niveaux qui l'encadre forme un Réseau Local Industriel (RLI), dont les principales caractéristiques sont décrites ci-dessous (pour plus de détails voir [GAL-84] et [HEN-85]).

- distance inférieure à 3 km,
- nombre d'abonnés limités et déterminés à un instant donné < 100,
- fourniture d'une réponse en temps garanti,
- vitesse de transmission la plus élevée possible.

Niv	Nom du bus	Type d'information véhiculé	caractéristiques du bus
1	bus de données "processus"	- données d'état du processus (TOR, analogique) - ordres élémentaires vers actionneurs	- débit moyen (faible) - grande distance - environnement industriel
2	Bus de données "automatismes"	données échangées entre équipements d'automatisme et salle de commande	- débit moyen - distance moyenne - environnement industriel
3	bus "informatique"	des données, des programmes, des procédures propres aux systèmes informatiques	- grands débits - vitesses élevées

Caractéristiques générales des trois types de liaisons dans un système de conduite

Chaque niveau hiérarchique de la structure de communication est caractérisé par :

- le type d'information qu'il véhicule,
- un débit maximal,
- un temps de réponse garanti,
- etc...

Devant la complexité et l'hétérogénéité des équipements à inter-connecter, dans un système de conduite, le problème de la communication a pris beaucoup d'ampleur. L'étude de la communication est devenue une discipline à part entière, avec ses concepts et ses méthodes, et est par ailleurs complémentaire de l'étude de l'automatisme et indispensable pour une réalisation satisfaisante.

Ceci a motivé l'Organisation Internationale de Standardisation (ISO) à proposer le modèle de référence OSI, composé de 7 couches pour avoir des protocoles indépendants des médias et des machines.

Un protocole est un ensemble de règles de communication permettant de gérer la syntaxe et la sémantique des informations échangées entre deux équipements ou deux systèmes. L'objectif de l'étude de communication est la fourniture d'une architecture de communication, c'est-à-dire la définition des protocoles de l'application.

2. Etat de l'art :

La tendance actuelle et future s'annonce sous le signe de la normalisation des RLI, dans tous les niveaux hiérarchiques de la structure de communication.

Dans le niveau 3, MAP (Manufacturing Automation Protocol) a déjà fait sa place dans plusieurs systèmes, cependant il reste beaucoup à faire dans les autres niveaux.

Au niveau 2 par exemple, chaque constructeur propose son RLI, en essayant de respecter les normes OSI, tant bien que de mal, [AUT-87].

- APRIL propose le réseau JBUS,
- Télémécanique propose le réseau TELWAY
- APTOR propose le réseau FACTOR
- COMPEX propose le réseau LAC
- etc...

Cette diversité de réseaux rend le choix de l'utilisateur délicat, en particulier, s'il doit faire communiquer plusieurs équipements hétérogènes, ce qui est inévitable dans la majorité des grandes installations automatisées.

Mais en ce qui concerne le niveau 1, la ligne est bien tracée pour promouvoir le réseau FIP, dont la signification du sigle a subi bien des transformations, depuis la naissance du projet (Flux d'Information issues du/vers le Processus, Flux Information Protocole, Factory Information Protocol...) alors que son objectif est toujours le même, à savoir le remplacement de la communication fil à fil par une communica-

tion bus-série entre capteurs-actionneurs du côté processus et automates programmables ou systèmes d'automatismes du côté système de conduite.

Le tableau ci-dessous donne un synoptique des trois modèles les plus prometteurs, en ce qui concerne les RLI des systèmes de contrôle-commande.

Niv	Sigle	Signification du sigle	Sociétés promotrices	Compatibilité avec le modèle ISO	Débit brut
3	MAP	Manufacturing Automation Protocol	General Motors soutenu par plusieurs constructeurs - européens, - japonais, - etc...	occupe les 7 couches	10 Mbps*
2	Mini- Map		sous-comité MAP	couches 3 à 6 inutili- sables	5 Mbps
1	FIP	- Factory Ins- tumentation Protocol - Flux Informa- tion Protocol - Flux Informa- tion Processus - etc...	Club FIP, qui regroupe plusieurs sociétés	couches 3 à 6 inutili- sables	3 Mbps

* Mégabits par seconde

Tendance actuelle des Réseaux Locaux Industriels

1.4. Besoins en contrôle et commande généralisé : les Systèmes Automatisés de Production

1.4.1. Interconnexion des différentes fonctions de l'entreprise

Afin de mieux situer le cadre de l'étude de la conception des automatismes, nous précisons la position de cette fonction par rapport à l'ensemble des fonctions nécessaires à l'exploitation d'un P.I.C automatisé.

Nous proposons dans la figure ci-dessous un découpage représentant les fonctions principales de l'entreprise, ce découpage peut dans quelques entreprises correspondre à des services différents, chacun d'entre eux assurant une fonction particulière. Il est évident que ce découpage n'est pas général pour toutes les entreprises, mais dans le cas de l'exploitation d'une centrale ce découpage convient parfaitement.

En effet, l'exploitation d'une centrale peut être décomposée en un ensemble de fonctions formant un réseau complexe dont les liaisons sont constituées d'informations, de décisions, de finances....., nous décrivons le rôle ou la finalité de chacune d'elles, ci-après.

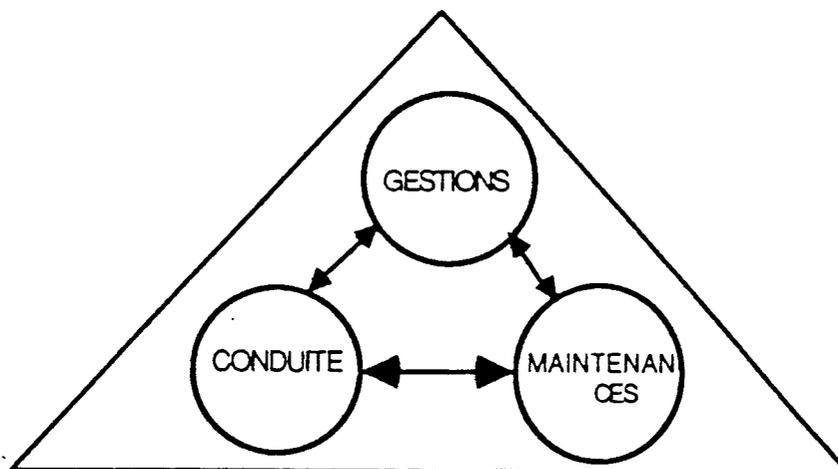


Figure 11 : Les interactions entre les différentes fonctions d'une entreprise

1.4.2. La fonction conduite

La conduite est une notion qui englobe toutes les fonctionnalités des systèmes ou des équipements nécessaires au contrôle-commande d'un processus, depuis les points de prise d'information jusqu'aux éléments finaux de transfert des commande ..., par ce fait ses besoins sont de deux ordres :

- les besoins d'automatismes : pour l'élaboration, d'une manière méthodique, des automatismes qui contrôlent et commandent le processus,
- Les besoins des opérateurs : les opérateurs de conduite doivent être aidés par les automatismes reflexes, ces derniers doivent leur élaborer des informations fiables, synthétiques et crédibles sur l'état et les disponibilités des constituants du processus.

1.4.3. La fonction maintenance

La maintenance est une notion générique, dans laquelle on peut distinguer trois types de maintenance : curative, préventive et prédictive, les besoins se situent donc à trois niveaux.

- besoins en maintenance curative : ils se matérialisent par la détection, la localisation et la signalisation des défauts.
- besoins en maintenance préventive : ces besoins peuvent se concrétiser par application des aides, **systematiques**, au diagnostic: en proposant des tests hors ligne, en comptabilisant les sollicitations de marche arrêt d'un organe, etc.
- besoins en maintenance prédictive : ils se matérialisent par la surveillance des dérives éventuelles des grandeurs caractéristiques du fonctionnemnt...

l'ensemble de ces données peut contribuer à éviter des arrêts inutiles et améliorer la programmation des arrêts prévus.

1.4.4. La fonction gestion technique

La fonction gestion technique est indispensable à l'étude de la rentabilité des constituants d'un système. Ses besoins se situent à plusieurs niveaux :

- statistiques de marche et/ou de panne aidant au choix du matériel le plus fiable, pour les palliers à venir.
- statistique de consommation énergétique pour des calculs de rentabilité de l'installation ...
- etc.

1.4.5. La fonction gestion financière

Cette fonction intègre toutes les activités liées à la gestion de la production (valeur ajoutée chez les économistes) et à l'approvisionnement, elle peut être décrite de la façon suivante :

- approvisionnement : dont le rôle est de procurer la matière première et le personnel nécessaires à la production,
- finances et comptabilité : dont le rôle est une gestion rentable des ressources humaines et matériels pour une production à faible coût,
- commercial : dont le rôle est le recensement des besoins (ici, prévision de la consommation) afin de les satisfaire au mieux.
- etc.

1.4.6. Les freins à la conception et à la réalisation des systèmes d'automatismes

Les automatismes actuels évoluent vers des systèmes de plus en plus complexes.

Les prochains systèmes seront caractérisés par une large intégration de l'ensemble des fonctions nécessaires à la conduite d'un processus.

Cette intégration concerne aussi bien les fonctions dites d'automatismes (analogiques et logique) que les fonctions auxiliaires ou d'aide aux opérateurs.

La conception puis la réalisation des systèmes d'automatisme complexes rencontrent des difficultés, qui sont dues généralement à la non maîtrise de la totalité du projet.

La nécessité d'une approche systémique ainsi que le recours à des outils informatisés d'aide sont apparus de plus en plus utiles. En effet, les deux principaux freins pour la mise en oeuvre des automatismes complexes sont :

- **L'aspect méthodologie** : L'automatisation des P.I.C d'une manière méthodologique permet de mener l'étude plus efficacement, en tenant compte des caractéristiques du processus à automatiser et en intégrant dès le début du projet des fonctions de maintenance, d'aide à l'exploitation ...

Cet aspect nous paraît essentiellement important, l'accent est plus particulièrement mis sur ce sujet dans ce travail, ce qui nous a conduit à proposer une approche méthodologique pour décrire les différentes activités du cycle de vie d'un S.A.P, puis pour sa conception.

A l'issue de cette proposition, une préoccupation importante semble se dégager au niveau de l'étude du processus à automatiser, concernant son analyse fonctionnelle d'une manière méthodique, ceci fait l'objet de la deuxième partie de ce mémoire.

- **L'aspect outils d'aide à l'étude du S.A.P** : L'application d'une méthode quelconque pour l'étude d'un SAP impose des efforts supplémentaires, par rapport à une étude utilisant des moyens traditionnels.

Par ce fait, l'utilisation d'une méthode ne peut être bénéfique qu'à travers un ou des outils d'aide à son application.

Ces outils devant diminuer la durée de certaines activités du cycle de vie du SAP (essentiellement les activités de conception, de réalisation et de mise en service).

NOTA : Notre travail ne porte pas sur "outils d'aide", mais il nous semble opportun de signaler quelques projets ou outils existants, sous formes de produits :

- SPECIF [IGL-83]
- ADJOINT [ADJ-87]
- TACTICIEN [TAC-86]
- le projet P.T.A [PTA-87], regroupant plusieurs industriels,
- etc.

Il est à noter que l'aspect méthodologique est primordial même pour la conception de l'outil, l'expérience montre qu'un outil n'intégrant pas des concepts méthodologiques reste d'une application très restreinte.

1.5. Conclusion

Nous avons voulu donner, dans ce chapitre, un aperçu de ce que sont les équipements et leurs emplacements, dans les systèmes de contrôle-commande des installations de production d'énergie.

Parmi ces équipements, nous avons présenté :

- Les Automates Programmables Industriels (API), qui occupent une place prépondérante dans les centrales hydraulique et dans les centrales expérimentales.
- Les Automates Programmables spécifiques (APS) : Controbloc, SPIN, μZ , μEC ,
- Calculateurs et systèmes de visualisation.

Comme l'ensemble de ces équipements sont ou seront reliés par des bus de communication, nous avons conclu le chapitre par un paragraphe consacré à la tendance future des systèmes de transmission des données à l'intérieur d'un S.C.C, c'est-à-dire des RLI à tous les niveaux.

Il est bien évident que nous n'avons pas épuisé toutes les caractéristiques des équipements d'un S.C.C., et ce, pour une double raison :

- d'une part, parce que le nombre des paramètres à prendre en compte pour caractériser un équipement est très important (presque 300 pour un API par exemple),
- d'autre part, le but de notre travail n'est pas de recenser tous les paramètres nécessaires à tel ou tel équipement, mais plutôt de traiter les problèmes liés à la conception des automatismes ou des traitements assurés par ces équipements, ce que nous entamerons dès le chapitre suivant.

C H A P I T R E - 2

PERSPECTIVES: CONCEPTION ET REALISATION DE Système Automatisé de Production : S.A.P

2.1. PREAMBULE

Après avoir défini les systèmes de conduite et caractérisé leurs équipements dans le chapitre précédent, nous examinons dans ce chapitre les problèmes qui sont liés au développement des automatismes de ces systèmes, et nous situons la phase de conception par rapport aux autres activités, liées à l'automatisation d'un P.I.C.

Ceci nous permet d'esquisser notre processus de travail, et d'étayer les principes généraux de la phase de conception, d'une part, et les concepts de base d'une méthode de conception, d'autre part.

L'objectif que nous nous sommes efforcés d'atteindre est la systématisation de la démarche du concepteur, en utilisant la technique de raffinement, de l'extérieur vers l'intérieur ou de l'abstrait vers le concret, pour aboutir à une conception structurée en niveaux hiérarchisés, dans chaque étape de la phase de conception.

Remarquons dès à présent que le but suivi dans ce travail n'est pas d'axiomatiser la manière de concevoir les automatismes des systèmes de conduite selon notre point de vue, mais plutôt de proposer un ensemble de concepts, qui servent de guide pendant la phase de conception, et un ensemble de techniques (de représentation, d'analyse...) qui ont été éprouvés soit dans le développement des automatismes des systèmes de conduite des centrales soit dans d'autres disciplines (génie logiciel, système de gestion...).

La multiplicité des techniques de représentation et de description des concepts ou des fonctions d'automatismes constitue un inconvénient, mais en même temps ces techniques ont l'avantage d'être complémentaires, ce qui explique leur coexistence lors de la conception.

Nous regroupons l'ensemble de ces techniques en trois catégories :

- Outils d'analyse et de représentation fonctionnelle des automatismes (GRAFSET, langage fonctionnel, concepts de formalisation ...), cf § 2.5.1.
- Outils d'analyse opérationnelle (pour l'analyse des modes de défaillance et l'évaluation des performances opérationnelles), cf § 2.5.3.

- Outils de simulation et d'évaluation des solutions proposées.

Il est à noter que le besoin de "METHODOLOGIE" n'est pas spécifique à E.D.F, mais ressenti dans la plupart des secteurs industriels toutes disciplines confondues, que ce soit dans :

- La réalisation des logiciels d'application,
- La structuration de la communication inter-équipements des systèmes à forte évolutivité,
- La maintenabilité,
- etc.

Les thèmes abordés dans les journées d'études, comme "Automation 87" témoignent de ce besoin [AUT.87]. Les tentatives pour combler ce vide sont nombreuses.

Parmi elles, on trouve le projet P.T.A (Poste de Travail pour l'Automatisation) lancé par un groupe d'industriels (Michelin, Renault, Citroën, Peugeot, Elf...) associés à des laboratoires universitaires comme :

- L.A.M.M : Laboratoire d'Automatique et de Micro-électronique de Montpellier
- L.A.G : Laboratoire d'Automatique de Grenoble
- L.A.C.N : Laboratoire d'Automatique et de Commande Numérique de Nancy
- Etc.

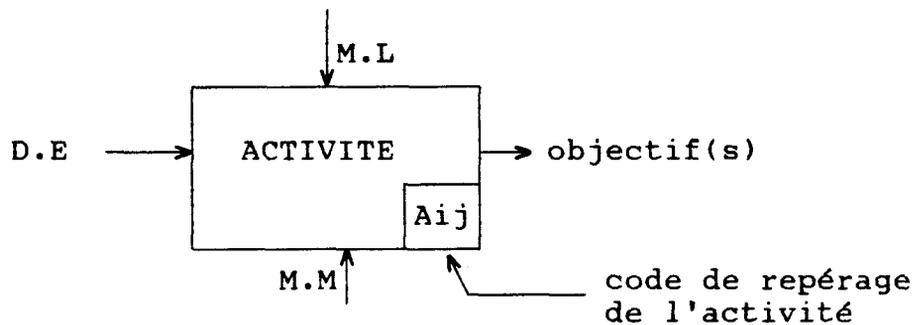
Avant d'entamer notre processus de travail dans le paragraphe 2-4, nous rappellerons dans les paragraphes 2-2 et 2-3 la particularité et les différentes phases de l'automatisation d'un processus industriel complexe, ce qui permettra de situer notre travail dans un tel parcours.

Pour l'approche méthodique que nous proposons dans ce chapitre, nous nous appuyons sur les concepts de la méthode SADT (Structural Analysis and design Technique), dont nous décrivons ici les règles de base, et que nous reprenons dans la deuxième partie et en annexe-1.

SADT est une méthode graphique, conçue au départ pour faciliter la communication des idées au sein d'équipes de travail importantes et à longue durée de vie [FOU-86].

SADT permet une modélisation ou une analyse progressive des systèmes complexes [Annexe 1]. Le résultat de l'analyse d'une activité est représenté sous forme d'actigramme (graphe comportant de 3 à 6 rectangles reliés par des flèches). Chaque rectangle est un tout et intègre à la fois :

- une activité (verbe obligatoirement)
- des données d'entrées (D.E)
- des moyens matériels supportant l'activité (M.M)
- des moyens logistiques ou contraintes (M.L)
- un ou plusieurs objectifs (résultat de l'exécution)



cette technique permet d'avoir des structures "glissantes" se prêtant bien à une approche descendante et structurée des problèmes de conception d'automatismes, comme nous le verrons dans la suite de ce chapitre.

2.2. CYCLE DE VIE D'UN S.A.P

2.2.1. Définition

L'expression "cycle de vie" appliquée à un système automatisé de production désigne la somme des activités d'étude de réalisation et d'exploitation du processus et du système d'automatisme.

Nous regroupons ces diverses activités en trois macro activités :

- une concernant le processus, **cycle de vie processus** : étude, réalisation et mise en service du processus.
- une concernant le système de conduite, **cycle de vie d'un automatisme** : étude, réalisation et mise en service de l'automatisme.
- et la dernière concernant l'exploitation de l'ensemble.

Nous schématisons ces trois macro-activités dans la figure 12, ceci constitue une description générale du cycle de vie d'un Système Automatisme de Production : S.A.P.

UTILISATION	AUTEUR : BELHIMEUR	CONTEXTE
PROJET : Méthode de conception d'automatisme de conduite d'un P.I.C.	LECTEUR	DATE
NOTES :	TRAVAIL	
	PUBLICATION	

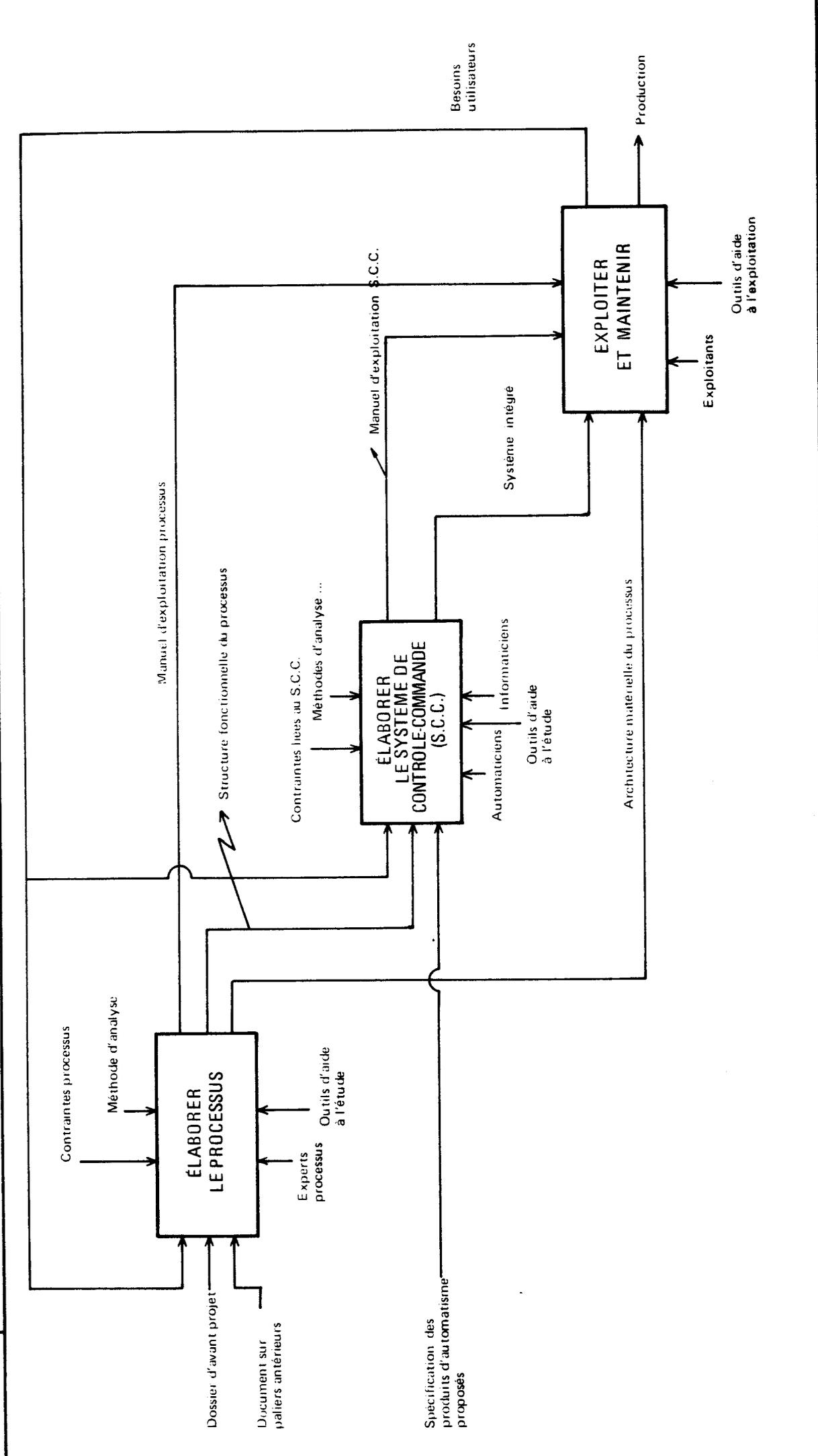


Figure 12

2.2.2. Besoin en matière d'analyse fonctionnelle des PIC

La description des services attendus de l'automatisme est le fait du concepteur du processus, du spécialiste du fonctionnement, du futur utilisateur..., elle est établie sur la base du dossier d'avant projet du processus à automatiser.

Cette description nécessite :

- d'une part, une analyse de la structure fonctionnelle et de la dynamique du processus. La complexité des processus industriels impose une analyse structurée.

Un besoin énorme, du point de vue méthodologie d'analyse fonctionnelle des P.I.C est ressenti dans le milieu industriel, en particulier dans les processus continus et semi-continus dans lesquels l'étude du processus est primordiale pour réussir son automatisation. Dans ce sens, nous consacrons la deuxième partie de ce travail à l'analyse fonctionnelle des processus industriels complexes.

- d'autre part, une analyse des tâches d'exploitation du processus et une répartition des ces tâches entre l'automatisme et l'homme, afin de déterminer le niveau d'automatisme et par conséquence les services attendus du système d'automatisme.

D'autres voies de recherche comme : La recherche en communication Homme-Machine [MIL-86], l'intervention des ergonomes..., pourraient apporter une réponse à ces problèmes complexes.

2.3. L'AUTOMATISATION D'UN P.I.C

2.3.1. Cycle de vie d'un automatisme de conduite

Les dimensions du système de conduite d'un P.I.C sont le reflet de celles de l'installation. Pour aborder l'étude d'un système de conduite, on se trouve en présence d'un nombre important d'équipements et d'une quantité considérable d'informations que ces équipements échangent entre eux, et qui sont par ailleurs nécessaires pour la conduite de ce type de processus.

De telles études nécessitent la collaboration de plusieurs personnes de métiers et de formations différentes (réparties géographiquement et interviennent à des moments différents) dont le seul lien est constitué par les documents qu'ils échangent. On remarque donc que le domaine concerné a une caractéristique principale qui est la "pluridisciplinarité".

Il importe alors de se mettre d'accord sur les différentes activités du cycle de vie d'un automatisme de conduite et sur les tâches attribuées aux différents intervenants : "qui fait quoi et avec qui ?".

Au sein de l'E.D.F, il y a plusieurs terminologies pour l'identification des différentes activités d'un automatisme. Ces activités s'étalent du cahier des charges jusqu'à l'exploitation des automatismes; cette diversité de terminologies a deux origines qui sont :

- D'une part, l'existence de services de production différents (hydraulique et thermique classique ou nucléaire)
- D'autre part l'existence de plusieurs types de systèmes de conduite (par exemple tout calculateurs, tout automates programmables Industriels ou un mélange des deux).

Schématiquement on peut représenter le cycle de vie d'un automatisme [FOU.86] par quatre activités (voir actigramme VO, figure 13).

Chaque activité est caractérisée par un certain nombre de données, de méthodes, d'outils d'aide (s'ils existent). Pour mener à bien l'étude d'une activité il y a nécessité de plusieurs compétences différentes mais complémentaires, et pour pouvoir associer une sous-activité à une compétence on est amené à décomposer chaque activité en un ensemble de phases.

Nous verrons un exemple de cette décomposition dans le paragraphe suivant concernant l'activité 2 (figure 13) "Développer l'automatisme".

La multiplicité d'activités et d'intervenants pose un certain nombre de problèmes qui sont dûs en particulier :

- Au manque de langage Commun compréhensible par tous. On peut remarquer par exemple dans l'activité 3 (figure 13) l'intervention de deux types de personnes (S.S.C.A ou I* et S.P.T**) ce qui peut poser un problème s'ils ne parlent pas le même langage.
- A l'absence de méthodologies structurant les différentes données et Connaissances au niveau du cycle de vie de l'automatisme.
- A l'absence ou au peu de méthodes au niveau de chaque sous-activité (phase dans la suite).
- A l'absence de mise à jour de la documentation après modifications, surtout celles qui interviennent pendant la phase d'exploitation (ce qui est représenté en pointillé sur la figure 13).
- Etc.

Parmi les problèmes rencontrés au cours du cycle de vie d'un automatisme, nous en distinguons deux types :

1) Ceux qui interviennent avant la mise en service de l'automatisme (et c'est le réalisateur qui en subit les conséquences) :

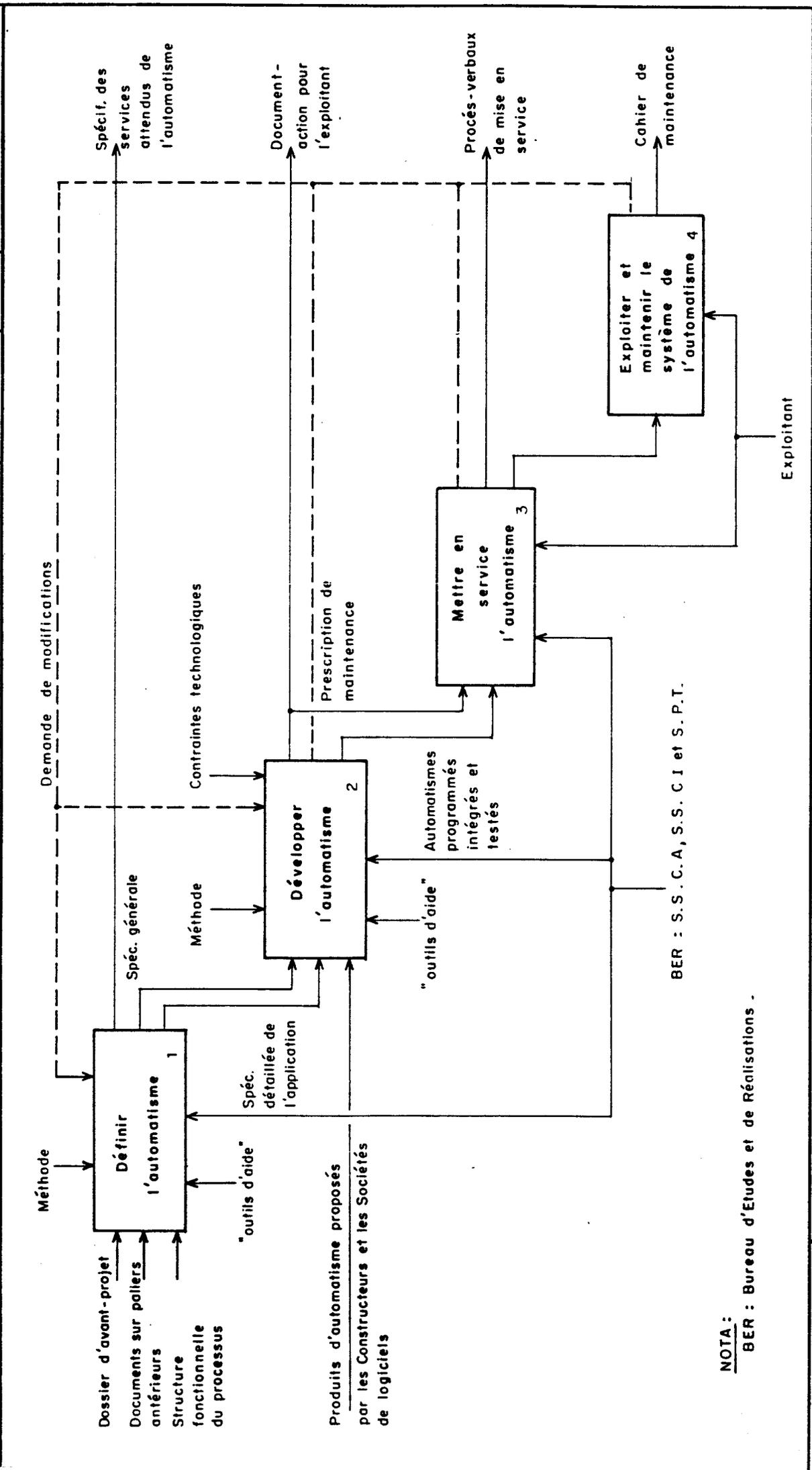
- Nombre d'heures d'essais très importants
- Nombre impressionnant des erreurs dans les logiciels , leur coût représentant environ 25 % du coût total du développement du logiciel [MZA-87].

2) Ceux qui interviennent après la mise en service, dans ce cas, c'est l'exploitant qui les assume : ce sont les problèmes de la maintenance en particulier.

Pour surmonter ces problèmes, il faut agir sur les phases qui sont en amont de la phase de réalisation, en particulier sur la phase de spécification et de conception (ce qui justifie notre travail).

(*) S.S.C.A : Société de Services et conseils en Automatique.
 S.S.C.I : Société de Services et conseils en Informatique.
 (**) S.P.T : Sercive de Production Thermique.

UTILISATION	AUTEUR : BELHIMEUR	CONTEXTE
PROJET : Méthode de conception d'automatisme de conduite d'un P.I.C.	LECTEUR	DATE
NOTES :	TRAVAIL	
	PUBLICATION	
	DATE	



NOEUD : V. O	TITRE : ACTIVITES LIÉES AU CYCLE DE VIE D'UN AUTOMATISME DE CONDUITE D'UN P.I.C.	NUMERO :
--------------	----------------------------------------------------------------------------------	----------

Figure 13

2.3.2. Développement d'un automatisme de conduite

Le but de ce paragraphe n'est pas de traiter l'activité 2 de la figure 13, mais seulement de situer la phase de conception à l'intérieur de cette activité.

Avant cela nous définissons la phase de spécification, qui est une phase parmi d'autres de l'activité 1 mais qui est d'un grand intérêt pour nous, car elle est juste en amont de la phase de conception et par conséquent se trouve en étroite relation avec elle, comme on peut le constater dans la figure 14.

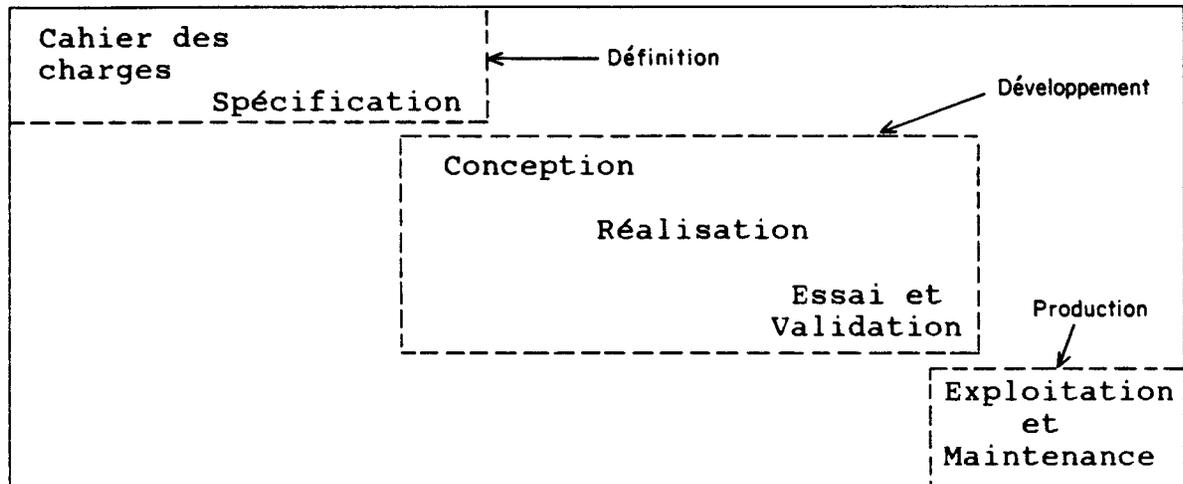


Figure 14 : Cycle de vie simplifié d'un automatisme de conduite

Le rôle du "spécificateur" est double :

- dans un premier temps, il doit analyser et clarifier le cahier des charges, en le formalisant dans la mesure du possible afin d'enlever toute ambiguïté de langage, car un cahier des charges rédigé en langage usuel comporte souvent des besoins implicites le rendant difficilement exploitable,
- dans un deuxième temps, il doit élaborer les spécifications fonctionnelles du processus à automatiser et les spécifications opérationnelles du système d'automatisme à réaliser; on aboutit ainsi à un ensemble de données, comportant toutes les informations nécessaires au bon fonctionnement du processus ainsi que les contraintes à respecter.

Finalement, la phase de spécification doit être une réponse à la question "quoi ?". Qu'est-ce que le système d'automatisme doit faire ?.

UTILISATION	AUTEUR : BELHIMEUR		LECTEUR	DATE	CONTEXTE
	PROJET : Méthode de conception d'automatisme de conduite d'un P.I.C.				
	DATE :				
	REV.				
	NOTES :				
	TRAVAIL				
	PUBLICATION				

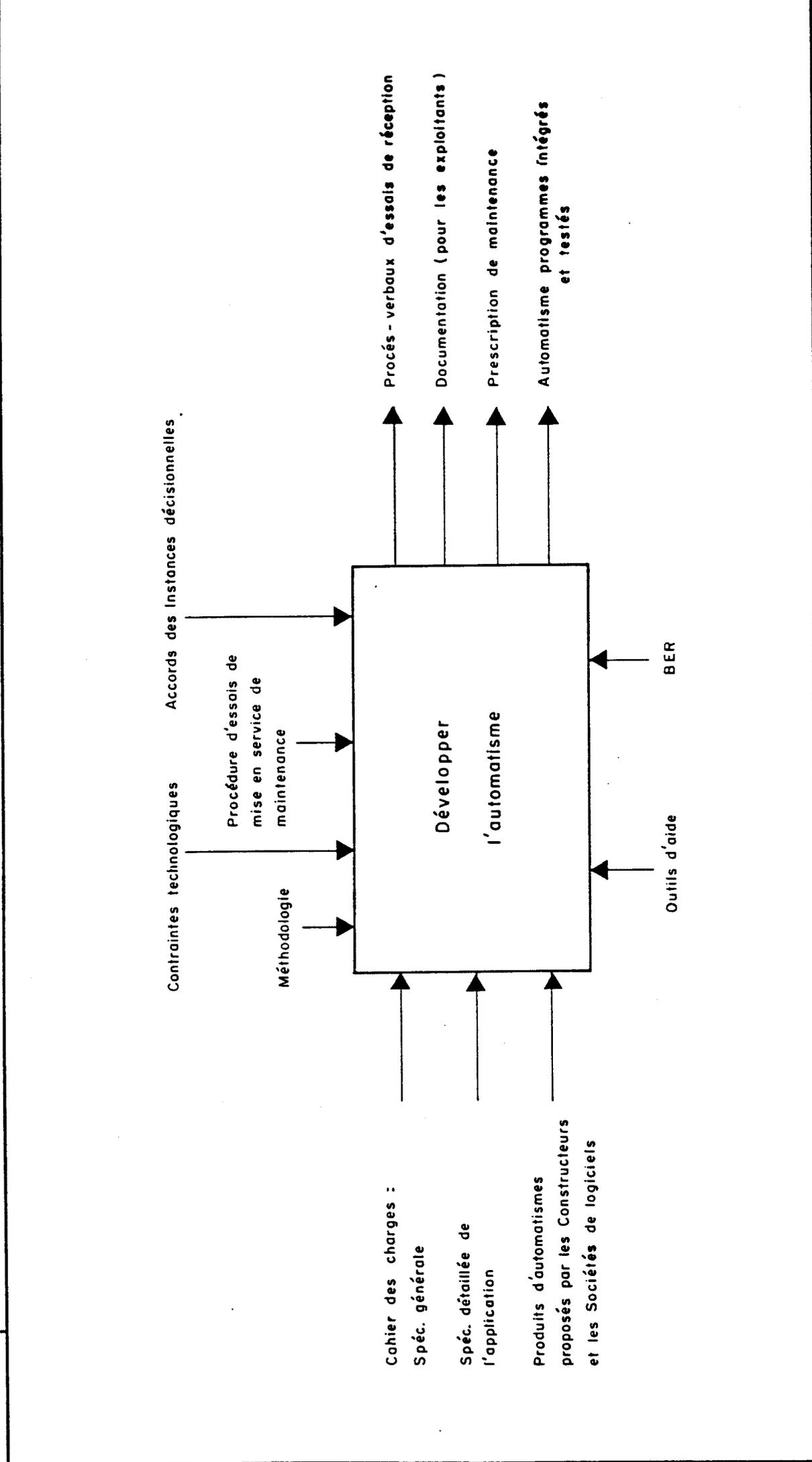


Figure 15

Par contre, la phase de conception doit être une réponse à la question "comment ?". Comment le système d'automatisme doit-il apporter une solution aux problèmes posés?.

La phase de conception est bien connue dans d'autres disciplines, comme dans la réalisation des logiciels par exemple [IGL-84]. Alors qu'en ce qui concerne la réalisation des systèmes de conduite des centrales, cette phase est imbriquée dans celle de spécification et tout ce qui touche à la conception n'est qu'implicite [FOU-85].

Cette imbrication des phases à l'E.D.F est due :

- A la démarche d'automatisation pratiquée par les personnes concernées. Pour chaque nouveau palier, elles se basent sur ce qui était fait dans les paliers précédents et elles essaient d'apporter des améliorations en fonction des besoins et des performances demandées,

- A la pratique intuitive des activités, décrites figure 13 et 14, par des rares personnes ayant acquis une expérience sur le terrain. Une expérience certes précieuse mais non directement transmissible, d'autant plus que les frontières entre les différentes phases ne sont pas clairement délimitées.

En ce qui nous concerne, nous avons essayé de délimiter l'activité 2 de la figure 13 "Développer l'automatisme" (voir figure 15 et 16) et plus particulièrement la phase de conception (cf, § 2-4).

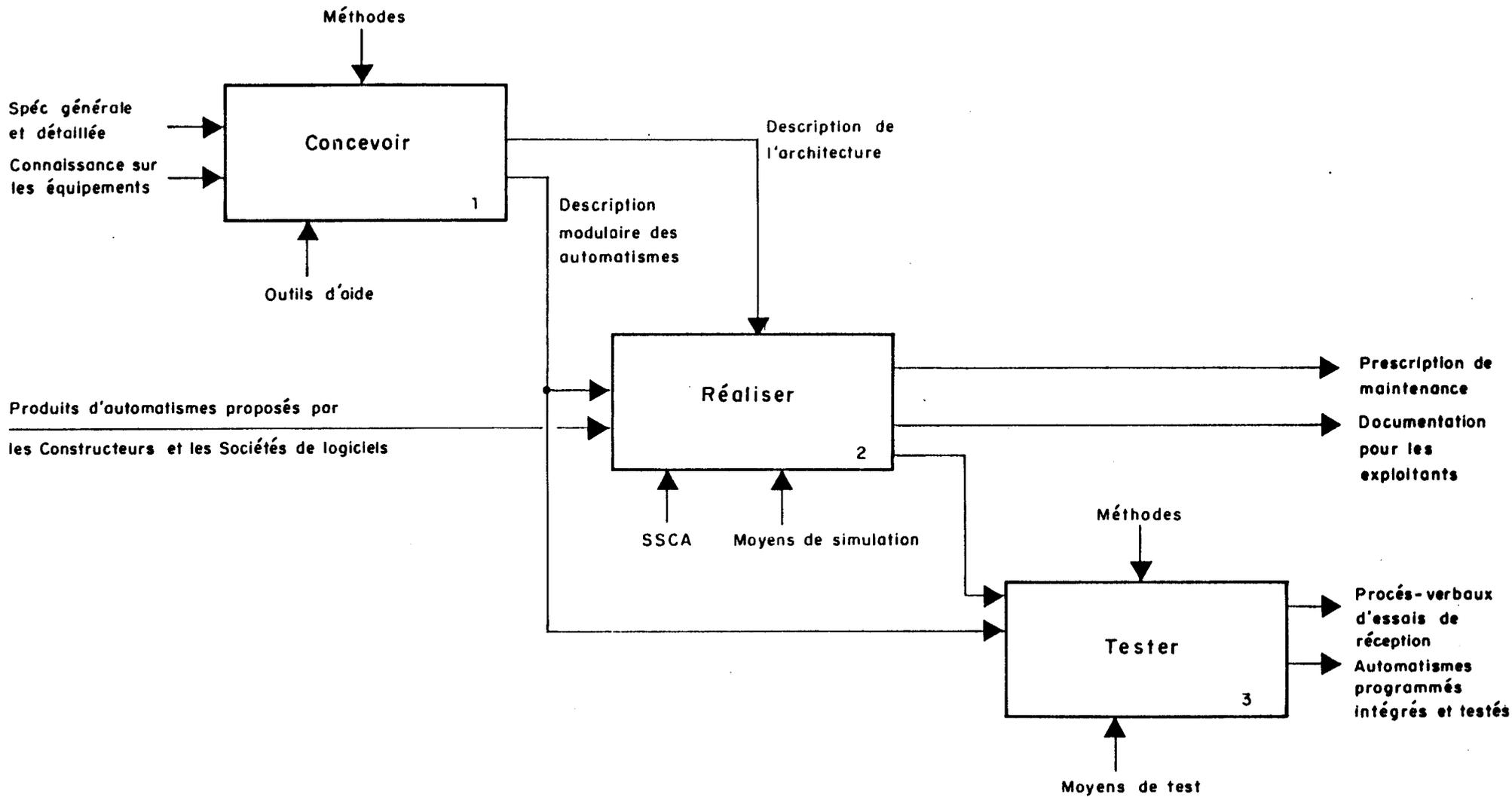
L'étude de l'activité 2 est le fait de l'automaticien dans un premier temps, de l'informaticien dans un deuxième temps. Elle est ainsi un carrefour de rencontres et de dialogues entre plusieurs services et sociétés comme les S.S.A ou I (cf figure 13) et constructeurs des divers équipements des systèmes d'automatismes (calculateur, A.P.I, réseaux locaux...).

Le résultat final de cette activité est la fourniture des automatismes programmés intégrés et testés accompagnés d'une documentation pour leur exploitation et une autre pour leur maintenance, figure 15.

Rien que par les résultats attendus de cette activité, on peut remarquer que celle-ci fait intervenir plusieurs spécialistes, par exemple :

- Des concepteurs pour le dimensionnement et la programmation des automatismes.
- Des réalisateurs pour leur intégration.
- Des testeurs lors de la mise en service, etc.

UTILISATION	AUTEUR : BELHIMEUR	TRAVAIL	LECTEUR	DATE	CONTEXTE
	PROJET : Méthode de conception d'automatisme de conduite d'un P.I.C.				
	NOTES : DATE : REV.	PUBLICATION			



NOEUD : V. 2	TITRE : ACTIVITÉS LIÉES AU DÉVELOPPEMENT DE L'AUTOMATISME D'UN P.I.C.	NUMERO :
--------------	-----------------------------------------------------------------------	----------

Figure 16

Le travail de ces différents intervenants est bien ordonné chronologiquement ; les uns travaillent en fonction des directives et des résultats fournis par les précédents, comme on peut le constater sur la figure 16 qui représente les différentes phases relatives au développement de l'automatisme.

Comme la phase de conception se trouve en amont de toutes les phases de cette activité, le résultat de cette dernière est largement tributaire de la qualité des résultats du travail du concepteur d'où l'intérêt d'accorder beaucoup d'importance et de soin à cette phase, que nous définissons dans le paragraphe suivant.

2.4. LA PHASE DE CONCEPTION ET LA NECESSITE D'UNE METHODE RATIONNELLE D'ETUDE

2.4.1. Intérêts et principes de la méthode de conception

Généralement, lorsqu'on fait appel à une méthode, c'est pour améliorer un ou plusieurs paramètres, en respectant les grandes lignes du chemin à suivre, d'une part, et en exploitant un certain nombre de concepts, de règles ou d'outils que nous fournit la méthode, d'autre part.

La qualité de l'automatisme est l'un des principaux paramètres qui prime pour le concepteur d'automatisme. L'intérêt, donc, d'une méthode de conception est de l'améliorer.

Cette amélioration peut avoir des retombées multiples, par exemple :

- Diminution du nombre d'heures d'essais (tous essais confondus : les essais de qualification, à blanc puis en "fluide").
- Minimisation du nombre d'erreurs résiduelles du logiciel, car la qualité d'un logiciel se traduit généralement par ce nombre.
- Facilité de la maintenance, étant donné que la maintenabilité est définie comme la capacité que peut avoir un logiciel ou un automatisme d'être relu ou modifié. Le choix par exemple des automatismes modulaires et standardisés peut être d'un apport considérable aux agents de maintenance.

Pour concrétiser cette amélioration, il faut que la méthode soit fondée sur quelques principes de base, principes qui doivent être indépendants de toute technologie (ceci lui permet de préserver un caractère d'évolutivité). Parmi ces principes de base on distingue :

- **La rationalisation** : "méthode d'organisation de production tendant à améliorer le rendement" (Larousse). Le fait d'adopter une méthode rationnelle permet d'augmenter le rendement des concepteurs et d'améliorer les performances des automatismes, c'est-à-dire de tirer le meilleur profit de ces derniers.

- **La structuration** : L'utilisation d'une méthode structurée, facilite le déroulement de la phase de conception étape par étape et ceci d'une manière claire, car chaque étape peut être considérée comme un tout, et peut donc être étudiée indépendamment des autres.

Ceci permet d'avoir une approche descendante et progressive des problèmes de conception des automatismes, ainsi chaque intéressé peut aller jusqu'à un certain niveau d'approfondissement dans les différentes étapes de la phase de conception en fonction de ses besoins et de ses objectifs.

On considère dans un premier temps l'ensemble du projet comme une seule unité et par raffinements successifs on obtient des sous-unités. L'ensemble de ces dernières constitue une structure pyramidale composée de plusieurs niveaux.

Au-delà de ces principes, la caractéristique principale de cette méthode de conception est l'intégration de plusieurs outils ou techniques éprouvés pour l'analyse, pour la modélisation ou pour la description, soit de la phase de conception elle-même soit des automatismes à concevoir.

2.4.2. Objectif et limites de la méthode

Les objectifs de la méthode de conception sont une partie intégrante de ceux de la D.D.E * de l'E.D.F.

Le retour d'expérience, des centrales les plus automatisées, (surtout les centrales expérimentales) a montré l'intérêt qu'il faut apporter aux futurs automatismes des systèmes de conduite, mais aussi les difficultés rencontrées pour leur exploitation et pour leur maintenance. Ces difficultés sont dues en grande partie au manque de méthodes de structuration.

Parmi les objectifs de l'E.D.F pour les tranches à venir ou pour le rééquipement des anciennes centrales, on peut citer (liste non exhaustive) :

- L'amélioration des performances opérationnelles (fiabilité, disponibilité ...) des automatismes et des systèmes d'automatisme,

* Direction De l'Équipement, qui assure le développement des automatismes de conduite des centrales.

- L'élévation du niveau d'automatisme, commandes par fonction au lieu des commandes par actionneur par exemple.

Généralement les interventions sont fréquentes et les délais impartis pour ces interventions sont courts dans les installations de production d'électricité; donc, pour des raisons de disponibilité et de sécurité (de matériels et de personnels)...., on se trouve contraint d'élever l'automatisation à son niveau le plus haut. Ainsi, on décharge l'opérateur de plusieurs actions répétitives et fastidieuses et on garantit une réponse dans les délais prévus (c'est le rôle des automatismes réflexes).

- Avoir des systèmes évolutifs, ce qui permet d'avoir des systèmes de conduite reconfigurables, s'adaptant aux différentes situations du processus d'une part, et au rééquipement des centrales dans l'avenir d'autre part.

- Maîtriser la communication entre les différents équipements du système de conduite (de mêmes niveaux et/ou de niveaux différents).

En plus de ces objectifs, la méthode de conception doit rationaliser le travail du concepteur, afin d'aboutir à une réalisation des automatismes d'une manière efficace, répondant au mieux aux spécifications fonctionnelles et aux performances attendues du système.

L'élévation du niveau d'automatisme entraîne une hiérarchie dans la structure de commande ; donc, l'objectif primordial de la méthode est la structuration et la modularité des automatismes (du point de vue logiciel et matériel).

Dans la suite, nous nous limitons à la phase conceptuelle, étant donné que les paramètres à prendre en compte lors de la conception des automatismes varient d'un projet à un autre.

2.4.3. La phase de conception

Comme il a été mentionné dans le §2-3-2, la conception doit être avant tout une réponse à la question : "Comment?". Comment le système d'automatisme va-t-il apporter une solution (en termes de logiciels et de matériels) aux problèmes posés?.

La réponse à cette question est tout le fondement du système d'automatisme, elle doit être claire et satisfaisante à la fois :

- Une réponse claire, puisque c'est à ce stade qu'il faut déterminer l'architecture d'automatisme (choix des équipements, de leurs interconnexions...).

- Une réponse satisfaisante, car c'est à ce stade du cycle de vie de l'automatisme qu'il faut prendre toutes les décisions techniques, relatives aux performances opérationnelles attendues du système, et aux phénomènes de sûreté de fonctionnement

La figure 17 montre l'activité de la phase de conception, en incluant les besoins du concepteur (données) et les objectifs (résultats). En effet, le concepteur a besoin de deux types de données pour le déroulement de son travail :

- D'une part, des données en provenance de la phase de spécification, exprimant toutes les spécifications (fonctionnelles, opérationnelles..)

- D'autre part, des connaissances des caractéristiques fonctionnelles, opérationnelles et techniques des équipements des systèmes de conduite, existant sur le marché, afin que le concepteur puisse faire son choix, en fonction des directives reçues de la part du "spécificateur" et de la direction du projet.

Cette dernière a, d'ailleurs, toujours son mot à dire dans le choix d'une architecture ou d'un ensemble d'équipements du système de conduite, ceci d'une manière implicite, par le biais de ses directives, qui sont souvent financières et/ou temporelles (sous évaluation de la durée d'un projet). Ces directives deviennent quelquefois des contraintes et peuvent avoir des conséquences fâcheuses dans la suite du projet, par exemple :

- Dans le choix des équipements, qui n'obéit pas forcément aux performances attendues du système

- Dans la réalisation prématurée du système en tronquant quelques phases d'études etc...

L'objectif principal de la phase de conception est le dimensionnement des systèmes d'automatismes, c'est-à-dire la fourniture :

- d'une architecture matérielle
- d'une architecture logicielle.

Les mieux structurées possibles, en répondant aux performances opérationnelles (fiabilité, disponibilité, maintenabilité...) attendues du système, afin de permettre une réalisation aisée dans les meilleurs délais et de faciliter l'organisation de la maintenance, car une maintenance bien organisée favorise une disponibilité accrue.

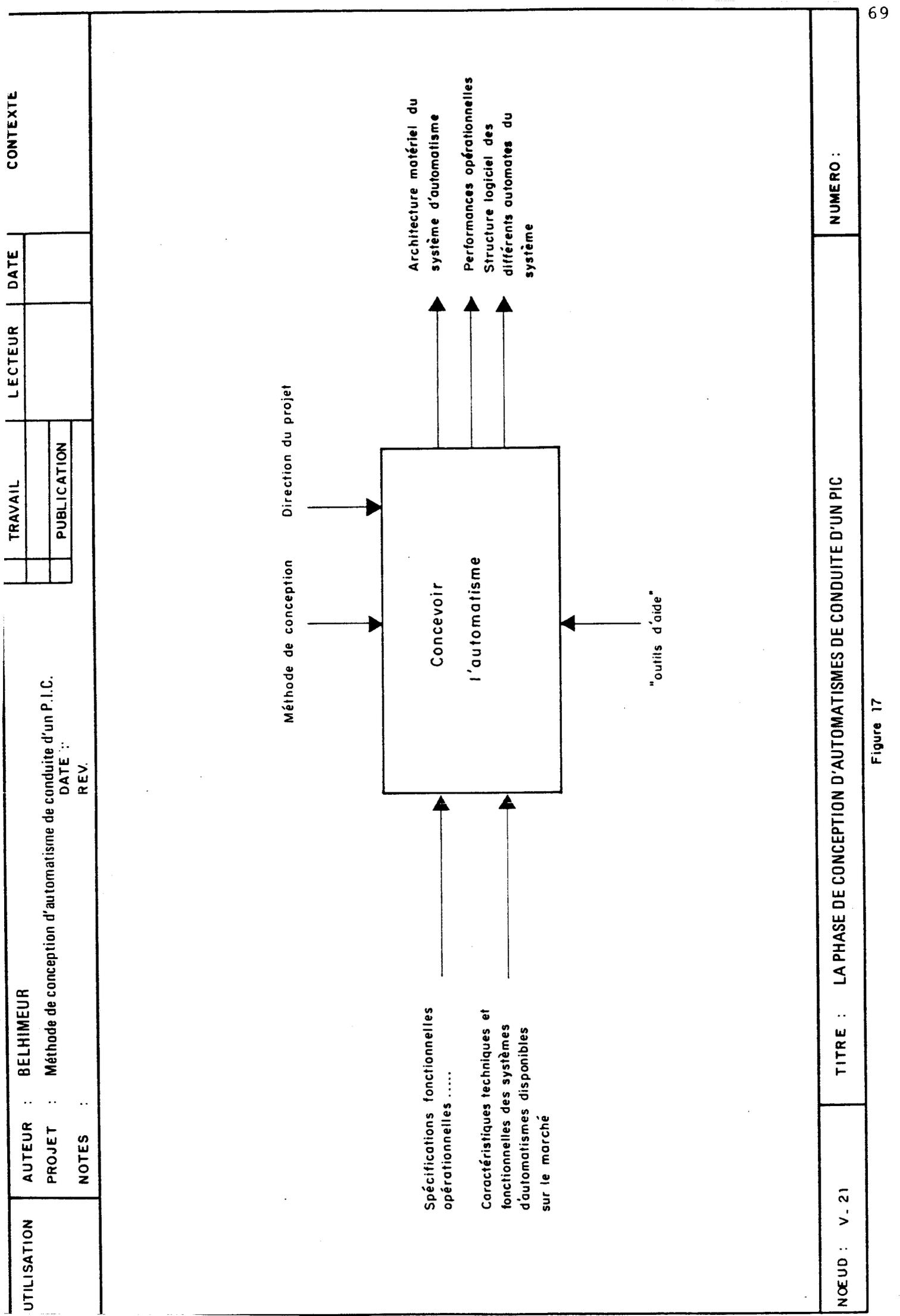


Figure 17

De par sa position, la phase de conception dans le cycle de vie d'un automatisme, se voit confier un rôle très important, qui est la validation et l'expérimentation des concepts élaborés pendant la phase de spécification.

S'il y a insuffisance, incompatibilité ou encore une erreur dans la phase de spécification, ceci peut être détecté dès la phase de conception, ce qui permet d'éviter la propagation, et en même temps le coût des conséquences de ces anomalies (coût qui augmente exponentiellement au fur et à mesure qu'on parcourt le cycle de vie de l'automatisme).

Le travail du concepteur sera souvent marqué par des retours en arrière (itération). Ces retours peuvent se limiter au niveau interne de la phase de conception, si les modifications se rapportent seulement aux étapes de la phase de conception, (figure 18) mais peuvent aller au-delà de cette phase, si des corrections doivent se faire à partir de la phase de spécification.

Ces arguments ne font que confirmer le besoin d'une méthode de conception, afin que le concepteur puisse aborder son travail de manière rationnelle et organisée.

Mais pour tirer le meilleur profit d'un travail méthodique, il faut penser aussi aux outils d'aide à la décision pour la synthèse des solutions qui permettent de supporter les concepts de la méthode.

2.5. NOTRE APPROCHE DE LA CONCEPTION DES AUTOMATISMES DES SYSTEMES DE CONDUITE

PREAMBULE

Après la définition de la phase de conception dans le paragraphe précédent, nous entamons ici sa description de manière sommaire

L'analyse de ce que peut être le travail du concepteur, montre que celui-ci peut se dérouler suivant quatre étapes.

L'enchaînement des différentes étapes constitue pour nous la phase de conception qui est une sous-activité de l'activité 2: "développement de l'automatisme", comme le représente la figure 18.

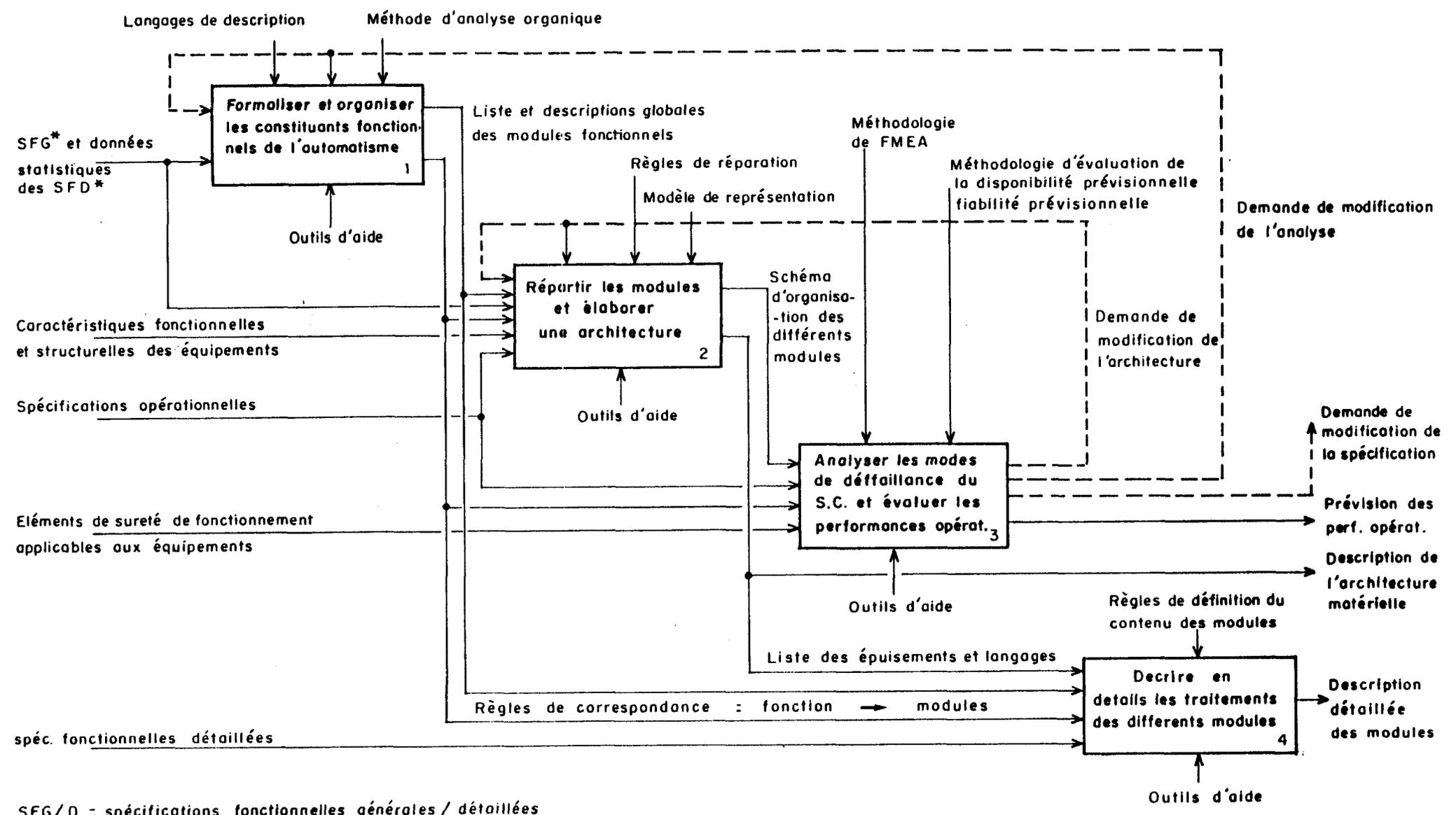
Chaque étape est caractérisée par ses données d'entrée, qui peuvent être externes ou internes à la phase de conception, par ses objectifs ou résultats, qui peuvent servir de données d'entrée pour d'autres étapes ou pour d'autres phases, et finalement par ses techniques de description et de représentation ou de modélisation.

On peut constater (figure 18) que chaque étape vient enrichir les étapes qui sont en amont. Ceci nous permet d'avoir des solutions de plus en plus détaillées, donc de plus en plus précises, au fur et à mesure qu'on progresse dans l'analyse.

Notre approche de la conception est donc de décomposer cette phase en quatre étapes dans un premier temps, de distinguer les données et les techniques de représentation de chaque étape dans un deuxième temps. Ceci nous permet d'analyser finement les activités de chaque étape.

Des besoins similaires aux nôtres sont ressentis dans des domaines variés. Des approches méthodiques sont proposées suivant des cycles vie, propres à leur préoccupation, on trouve par exemple : En automatique, les travaux de CALVEZ [CAL-82], de LHOSTE [LHO-85]... et la méthode pratiquée par IGL en informatique [IGL-84].

UTILISATION	AUTEUR : BELHIMEUR	TRAVAIL	LECTEUR	DATE	CONTEXTE
	PROJET : Méthode de conception d'automatisme de conduite d'un P.I.C.	PUBLICATION			
	NOTES :	DATE :			



NOEUD : V. 21	TITRE : LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE LA PHASE DE CONCEPTION D'AUTOMATISMES DE CONDUITE DE PIC	NUMERO :
---------------	--------------------------------------------------------------------------------------------	----------

Figure 18

2.5.1. ETAPE 1: FORMALISATION ET ORGANISATION DES CONSTITUANTS DE L'AUTOMATISME

Habituellement, les constituants de l'automatisme de conduite sont décrits dans les Diagrammes Fonctionnels Logiques et Analogiques : D.F.L et D.F.A (chapitre 6 des D.S.E*), cette description concerne en particulier, les automatismes de contrôle et de commande des différents constituants matériels du processus (vannes, pompes, électrovannes...).

C'est une description trop détaillée dans laquelle les notions de structuration sont quasiment absentes, le but recherché dans cette étape est donc :

- d'une part, d'arriver à une représentation structurée et synthétique de ces automatismes.

- d'autre part, de pousser l'analyse à des niveaux plus élevés, que ceux représentés dans les D.F.L et les D.F.A, afin d'aboutir à une structure fonctionnelle de conduite : S.F.C, qui sera compatible avec la structure fonctionnelle du processus : S.F.P, cf troisième partie.

Notre intérêt est de mettre en relief des concepts, qui seront manipulés dans les automatismes de conduite; la structure ne sera donc qu'une représentation simplifiée des différents constituants. Néanmoins, elle peut nous renseigner, d'une manière rapide, sur les mécanismes et les liens nécessaires au bon fonctionnement de tel ou tel équipement.

L'objectif principal de cette étape est l'organisation : c'est-à-dire, le passage d'un état désordonné à un état ordonné, avec trois mots clés : STRUCTURATION, MODULARITE et EVOLUTIVITE. Atteindre ces qualités, c'est le but que nous nous sommes fixés dans cette étape, en essayant d'analyser et de formaliser au mieux les constituants de base intervenant dans la S.F.C.

Pour ce faire, nous procédons à une analyse fonctionnelle des automatismes des S.C.C en nous appuyant sur une modélisation fonctionnelle du processus (voir deuxième partie), en allant d'une description générale vers une description de plus en plus détaillée.

Vu la taille et la complexité des automatismes des S.C.C concernés, on se rend compte qu'une telle analyse ne peut être menée à bien sans un travail méthodologique.

La démarche que nous pratiquons s'inspire dans un premier temps des techniques déjà utilisées dans d'autres disciplines: génie logiciel, analyse des programmes complexes..., mais dès

* D.S.E : Dossier des Systèmes Elémentaires

qu'on arrive à un certain niveau d'approfondissement, on entre dans un domaine spécifique qui nécessite des techniques de représentation particulières, que nous verrons dans la suite de ce rapport.

Malgré la diversité des techniques de représentation utilisées, elles ont toutes des points communs comme le concept de la hiérarchisation, qui est par ailleurs un des principes de notre méthode.

Pour mener à bien cette analyse, le concepteur a besoin: des données spécifiques à son processus et des techniques pour leur structuration, c'est ce que nous décrivons ci-après.

1.1 LES SPECIFICATIONS FONCTIONNELLES:

Ce sont des données sur lesquelles doit se baser l'analyse et, dans lesquelles on distingue:

D'une part, les Spécifications Fonctionnelles Générales : SFG, qui sont des documents établis par "le spécificateur" dans lesquels, il précise le cadre fonctionnel de l'étude. On y trouve :

- La nature de la spécification, c'est-à-dire, la façon dont on doit aborder l'analyse:

- . tranche par tranche
- . système élémentaire par système élémentaire
- . fonctionnalité par fonctionnalité ...

- Le type de repérage adopté pour les constituants processus et pour les informations, cf chapitre 1 § 1-1-2.

- Les différents types de fonctions à prendre en compte,

- etc.

D'autre part, les Spécifications Fonctionnelles Détaillées : SFD, elles servent, d'habitude, à l'élaboration des DFL et des DFA.

Les SFD sont des documents établis en fonction des objectifs de l'utilisateur, en respectant les recommandations et les principes avancés dans les SFG. Dans les SFD, on doit préciser les différentes tâches qui doivent être exécutées par les équipements de l'automatisme, comme par exemple :

- 1) Acquisition des données en précisant:

- leur type binaire/numérique
- leur cadence d'acquisition
- les grandeurs physiques qu'elles représentent ...

- 2) Traitement des informations:

- calcul des fonctions booléennes
- traitement numérique

3) les différentes informations à restituer, etc.

1.2 LES TECHNIQUES OU LANGAGES DE DESCRIPTION

D'une manière générale, les tâches d'un automatisme sont décrites:

- soit, par les données,
- soit, par traitements.

Le choix, d'un type ou d'un autre, dépend de la nature de l'application, mais, souvent, ce choix est influencé par l'outil de travail disponible (de simulation ou de prototypage).

Description par traitement : L'expérience montre qu'un langage séquentiel, GRAFCET par exemple, est mieux adapté à ce type de description, en particulier pour les automatismes logiques.

Description par les données : Les schémas fonctionnels sont les plus utilisés pour décrire les automatismes par des données, cette description se résume à l'assemblage des blocs fonctionnels. On ne s'intéresse qu'à leurs E/S, en ignorant totalement ce qui se passe à l'intérieur de ces blocs.

Cette dernière description suppose en fait que lors de la spécification fonctionnelle la description s'est faite seulement par les E/S et pour les traitements, on fait référence à des traitements standards. Une description un peu plus détaillée de ces langages est faite dans l'étape 4.

Mais, ce qui importe pour nous : c'est la structuration des traitements avec une description fonctionnelle hiérarchique couvrant les divers niveaux fonctionnels, chose qui n'est pas possible avec les langages mentionnés ci-dessus.

Nous utilisons, donc, d'autres techniques de représentation macroscopique et qui peuvent intégrer, à des niveaux fonctionnels plus bas, les langages décrits ci-dessus ou d'autres langages mieux adaptés. C'est ce que nous verrons dans la troisième partie de ce travail.

2.5.2. ETAPE2: ELABORATION D'UNE ARCHITECTURE DU SYSTEME

A ce stade du développement, on a besoin des éléments concrets sur les équipements qui vont supporter l'architecture fonctionnelle élaborée dans l'étape précédente; afin de générer une architecture matérielle "virtuelle" répondant au mieux aux différentes spécifications fonctionnelles formulées par le "spécificateur".

Ces éléments représentent les diverses spécifications, attendues du constructeur, que nous décrivons ci-dessous.

5.2.1 SPECIFICATIONS TECHNOLOGIQUES: S.T

Les S.T sont des données établies par les constructeurs et doivent contenir les caractéristiques fonctionnelles et structurelles, de leurs équipements, nécessaires au dimensionnement du système d'automatisme à réaliser. Nous donnons ci-dessous un aperçu de ces données:

1 - Nature exacte des différents équipements:

- type de langage supporté par chaque équipement,
- nombre des entrées / sorties,
- taille mémoire,
- possibilité d'extension ou non,
- " de supporter des cartes spécialisées ou non, etc

2 - Caractéristiques relatives aux éléments de communication:

- type de liaison: série / parallèle,
- nature du support de communication,
- vitesse de transmission utile,
- protocole de communication,
- constituants physiques de communication: carte, module..
- type de signaux qu'il est possible d'acquérir et de transmettre, etc.

3 - Caractéristiques des sources d'alimentation

- les diverses tensions possibles: continues, alternatives avec leurs plages de variation,
- la fréquence,
- le facteur de distorsion,
- comportement en cas de coupure d'alimentation électrique (avec durée de l'autonomie), etc.

Plusieurs guides plus ou moins complets existent dans la littérature, comme [CTA-86] dans lequel les auteurs décrivent les différents paramètres d'évaluation d'un API et une méthode graphique pour le qualifier.

5.2.2 LES SPECIFICATIONS OPERATIONNELLES:

On exprime habituellement les conditions de fonctionnement du processus et les performances attendues du système de contrôle-commande dans les spécifications opérationnelles.

C'est le contenu de ces dernières qui conditionne le choix des solutions matérielles et logicielles à adopter.

La structure matérielle et logicielle, à choisir pour la réalisation d'un système, doit répondre à des critères stricts, décrits dans les spécifications opérationnelles, des critères qui doivent répondre aux exigences de sûreté et de sécurité imposées par la nature même du processus d'une part, et qui seront acceptables du point de vue sûreté de fonctionnement du système d'automatisme d'autre part.

L'utilisateur formule ses besoins dans deux types de dossiers:

5.2.2.1 DOSSIERS DES EXIGENCES PROCESSUS

L'utilisateur exprime dans ces dossiers des besoins relatifs au fonctionnement de son processus, comme par exemple:

* Les caractéristiques de chaque fonction, c'est-à-dire:

- le temps nécessaire à son exécution, pour respecter les objectifs temps réel imposés par le fonctionnement du processus,
- les critères de sûreté de fonctionnement auxquels doit obéir la fonction: tolérance ou non à sa perte...

* les différents modes de disponibilité régissant le fonctionnement des constituant de chaque fonction,

* les contraintes opérationnelles : conditions imposées par l'environnement (les plages de variation de la température, de pression, d'humidité...), qui conditionnent, à leur tour, les moyens de dialogue et de maintenance.

5.2.2.2 EXPRESSION DES BESOINS OU DES PERFORMANCES ATTENDUES DU SYSTEME D'AUTOMATISME

L'utilisateur doit préciser ses besoins en terme de sécurité de fonctionnement et d'objectifs de coûts ou de performances spécifiques, dans des clauses de sûreté de fonctionnement.

Dans ces documents l'utilisateur précise concrètement les performances qu'il souhaite avoir dans son futur système d'automatisme, comme par exemple:

* les concepts de maintenance à respecter:

- choix de constituants réparable ou non,
- choix de constituants interchangeable ou non, etc.

* les différents modes de fonctionnement acceptables:

- mode nominal,
- mode dégradé avec dégradation de plusieurs niveaux ou non,
- etc.

* les objectifs à atteindre du point de vue sécurité, fiabilité disponibilité...

Par exemple, prenant le cas de conception d'un système sûr, les objectifs de disponibilité peuvent être exprimés suivant divers angles. En effet, on peut se trouver devant trois cas de figures possibles:

1) envisager une disponibilité (de production) nulle: c'est-à-dire, qu'une défaillance du système d'automatisme entraîne l'arrêt de l'installation (pour assurer la sécurité du matériel et/ou du personnel); cette solution peut être acceptée, dans la mesure où l'arrêt, par exemple, d'une unité de production a des conséquences très limitées. Ce type de système est rencontré dans les centrales hydrauliques de faibles puissances.

2) envisager une disponibilité partielle (disponibilité maintenue) : l'installation continue à fonctionner en mode dégradé, en cas de défaillance partielle ou totale du système d'automatisme.

3) envisager une disponibilité totale (survivalité) : l'installation continue à marcher normalement malgré une défaillance du système d'automatisme.

A chaque type de besoin, exprimé dans les spécifications opérationnelles, va correspondre une structure des équipements du système d'automatismes d'une part, et des moyens ou modes de détection et de signalisation des défauts (matériels et logiciels) d'autre part.

Remarque, en guise de conclusion partielle:

- les spécifications fonctionnelles servent à exprimer les besoins, utilisateur, en termes de fonctionnement,
- et les spécifications opérationnelles servent à exprimer ses besoins en termes de sécurité de fonctionnement et plus particulièrement en termes de performances.

Après avoir décrit les données, externes à la phase de concep-

tion, nécessaires à l'élaboration d'une architecture matérielle, on doit maintenant s'intéresser à leur exploitation.

En effet, lorsqu'on se trouve en présence de ces données externes et des autres données internes (résultat de l'étape 1) c'est-à-dire, de l'ensemble des modules fonctionnels, une question se pose: comment répartir ces modules sur un ensemble d'équipements, en fonction des diverses exigences mentionnés auparavant?.

La réponse à une telle question ne peut être immédiate, c'est un travail laborieux et qui nécessite:

- des contacts avec des constructeurs; pour faire dans un premier temps le choix d'une gamme et dans un deuxième le choix d'un fournisseur,
- le choix des modèles de représentation,
- le choix des outils de simulation,
- l'élaboration des règles de répartition, dont nous précisons le contenu, ci-après.

5.2.3 CRITERES DE REPARTITION DES MODULES D'AUTOMATISMES SUR UN ENSEMBLE D'EQUIPEMENT

La répartition des modules, élaborés dans l'étape 1, sur un ensemble de matériels, doit être fondée sur un certain nombre de critères :

C1: Capacité de l'équipement en question:

C11: capacité de traitement [PIA-84], [GRE-87]

- puissance de calcul ou temps d'exécution moyen par 1K mots de programme, s'exprime généralement en ms/Kmot,
- taille mémoire disponible pour l'application.

C12: capacité d'échange d'information

- nombre maximum des entrées/sorties,
- nombre et nature des cartes de communication.

C2: Critères liés à la sûreté de fonctionnement

C21: duplicata

Pour assurer la disponibilité d'une fonction, il faut pouvoir assurer sa duplication par une redondance matérielle ou logicielle.

C22: éviter les défaillances en mode commun; pour assurer une bonne fiabilité et pour ne pas perdre les avantages de la redondance, suite à une défaillance unique.

C3: Critères liés aux performances

C31: possibilité d'extension, qu'il faut exploiter au maximum. On peut augmenter la capacité de traitement d'un processeur en lui ajoutant des mémoires, ou améliorer son rendement en lui ajoutant des coprocesseurs,

C32: minimiser la communication inter-équipement, il faut tenir compte de ce facteur, afin de conserver au système sa grande rapidité. IL faut donc que la répartition des modules soit faite de façon qu'en fonctionnement normal, un processeur n'ait pas besoin d'attendre les données en cours de traitement dans un autre processeur (recherche du maximum de parallélisme).

L'intérêt de cette mesure est double: éviter la saturation des modules de communication d'une part, et éviter l'allongement des temps de réponse d'autre part.

5.2.4 DEFINITION D'UNE ARCHITECTURE MATERIELLE

Globalement, une architecture matérielle d'un système d'automatisme peut être considérée comme un ensemble, structuré, d'équipements: API, APS, système de communication, cartes spécialisées...

L'élaboration d'une architecture revient à l'organisation de ces équipements au sein d'une même structure (cf §1-2-3, chapitre 1), mais cette organisation peut être aussi intrinsèque à un seul équipement:

* l'organisation intrinsèque, c'est-à-dire, ne concernant que les constituants d'un équipement, permet une adaptation de l'équipement à l'application; en jouant sur ses entrée/sorties, sur ses cartes mémoires et éventuellement sur des cartes spécialisées.

* Par-contre, l'organisation extrinsèque concerne l'ensemble des équipements, par exemple:

- le choix des automates et de leur nombre,
- le choix des supports de communication et de leur topologie (cf § 1-3-5, chapitre1), etc.

Ces choix doivent évidemment se faire dans l'optique de respecter les différentes spécifications décrites ci-dessus.

2.5.3. ETAPE 3 : ANALYSE ET EVALUATION DES PERFORMANCES OPERATIONNELLES DU SYSTEME

L'architecture élaborée, dans l'étape précédente, peut ne pas répondre forcément aux objectifs formulés par l'utilisateur. Une évaluation de ses performances opérationnelles s'impose avant la réalisation. C'est tout l'intérêt de cette étape.

Pour ce faire, on a besoin des paramètres d'appréciation et des méthodes d'évaluation prévisionnelle de ces performances, c'est ce que nous décrivons ci-dessous.

3.1 ELEMENTS DE SURETE DE FONCTIONNEMENT DES EQUIPEMENTS D'AUTOMATISMES

3.1.1 GENERALITES

3.1.1.1 Préambule

Les caractéristiques techniques classiques sont insuffisantes pour qualifier les systèmes d'automatismes des centrales de production d'électricité, et plus particulièrement ceux des centrales nucléaires.

On doit donc faire appel de plus en plus à d'autres caractéristiques qui sont liées à la sûreté de leur fonctionnement.

Il est impensable, actuellement, de parler des caractéristiques (techniques) d'un équipement ou d'un système en ignorant ses performances opérationnelles qui régissent son comportement, dans un milieu hostile où la moindre erreur aura de lourdes conséquences.

Il nous semble, alors, opportun d'entamer la description de cette étape par le rappel des différents paramètres qui traduisent la sûreté de fonctionnement d'un équipement industriel.

Il est à noter que les paramètres, que nous décrivons ci-après sont plutôt applicables d'une manière intrinsèque (sur équipements ou modules isolés).

Dans le cas d'un système complexe, il faut faire appel à des méthodes d'analyse et de quantification des performances opérationnelles de l'ensemble du système.

3.1.1.2 Définition

La sûreté de fonctionnement d'un système est l'aptitude à ne pas exécuter d'ordre non souhaité. C'est donc une notion générique, exprimant la qualité de service rendu par ce dernier.

La sûreté de fonctionnement est un vecteur, constitué par un certain nombre de paramètres ou de fonctions mesurables ou observables; parmi eux, on distingue : la fiabilité, la disponibilité, la sécurité, la maintenabilité, pour ne citer que les grandeurs les plus utilisées.

L'élévation du degré d'automatisme et la complexité des systèmes d'automatismes se traduisent par une confiance accrue, qu'on accorde aux différents éléments qui constituent ces systèmes; dans ce cas, la prise en compte dès l'étude des bons paramètres de sûreté de fonctionnement est un atout pour réussir une automatisation.

La conception et la réalisation des systèmes d'automatismes dans l'optique d'une meilleure sûreté de fonctionnement ajoutent un facteur important dans le travail du concepteur, car il sera amené à utiliser un certain nombre de méthodes ou de modèles pour déterminer les différents paramètres cités ci-dessus.

Nous décrivons succinctement les principaux paramètres de sûreté de fonctionnement, pour plus de détail voir [ARS-80], [FRO-86], [LEG-85] ET [LYO-86]. En ce qui concerne les techniques et les méthodes d'analyse et d'évaluation de ces paramètres, dans un système complexe, nous les verrons au paragraphe 5.3.3.

3.1.2 PARAMETRES D'APPRECIATION DES PERFORMANCES OPERATIONNELLES D'UN SYSTEME

3.1.2.1 Durée de vie des matériels, taux de défaillances

Le comportement des matériels ou plutôt leur taux de défaillances décrit une courbe dite "courbe en baignoire" sur laquelle on distingue trois périodes de défaillances.

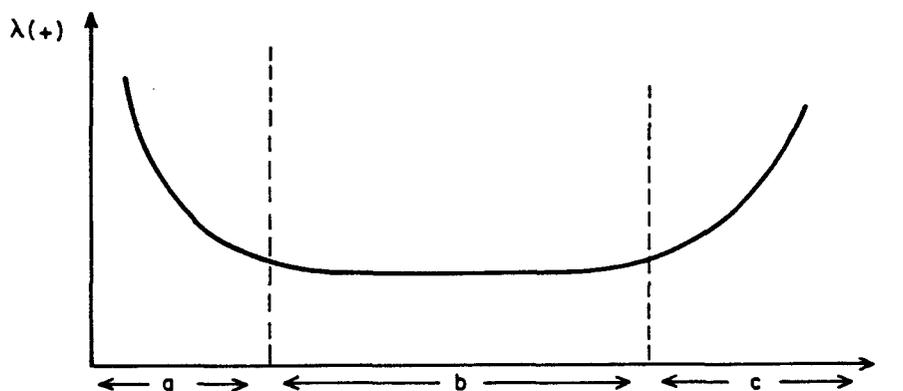


figure 19 : Courbe de taux de défaillance en "baignoire"

- La période a : représente les défauts de jeunesse,
- " " b : représente les défauts de maturité,
- " " c : représente les défauts de vieillesse

$\lambda(t)$ représente le taux de défaillances c'est-à-dire la probabilité d'avoir une défaillance du matériel entre les instants t et $t + dt$. Les valeurs de $\lambda(t)$ s'obtiennent à chaque instant t_i par la formule

$$\lambda(t_i) = \frac{n_i}{N_i \Delta t}$$

avec $\left\{ \begin{array}{l} \Delta t = t_{i+1} - t_i \text{ intervalle de temps observé} \\ N_i = \text{nombre de survivants au début de la tranche } t_i \\ n_i = \text{nombre de constituants défaillants pendant } t_i. \end{array} \right.$

La période la plus intéressante dans le cycle de vie d'un matériel est la période de maturité ; elle est caractérisée par un taux de défaillances très faible et presque constant, en particulier dans les systèmes électroniques.

Pour amener un matériel à la période de maturation, on pratique un déverminage sur ce dernier afin d'éliminer les faiblesses de jeunesse, ce qui consiste à mettre le matériel en fonctionnement accéléré.

Dans le cas où $\lambda(t)$ constante (période de maturité), elle devient inversement proportionnelle à la Moyenne du Temps de Bon Fonctionnement : MTBF, ou en anglais MTTF (Mean Time To Failure).

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} = \frac{1}{\text{MTTF}}$$

3.1.2.2. La fiabilité

La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) définit la fiabilité comme "la caractéristique d'un matériel, exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise, dans des conditions données et pendant une durée donnée" ; en d'autres termes, c'est la probabilité de survie d'un équipement à tout instant $t > 0$, c'est une probabilité de succès et non une durée de vie.

La fiabilité est quantifiée par une fonction notée $R(t)$ et représentée par la relation :

$$R(t) = \text{EXP} \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right] \quad (\text{cf, chapitre 1, [GON-80]})$$

Cette relation se simplifie dans le cas où $\lambda = \text{cte}$ et devient :

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

si un constructeur mentionne pour son matériel :

un $\lambda = 2.10^{-6}$ défaillance/heure, pendant $t = 500$ h

Ceci correspond à une : $MTBF = 5 \cdot 10^5$ h
 et à une : $R(500 \text{ h}) = 0,999$

donc, le matériel en question représente une fiabilité de 99,9% qui est une valeur courante. Mais le plus important dans un système complexe, c'est la fiabilité de l'ensemble. Dans ce cas, il faut recourir aux modèles et aux calculs de probabilités, chaîne de Markov... [RIC-82], pour extraire des valeurs de fiabilité, à moins qu'on n'assimile le système à des structures simples en série ou en parallèle. On utilise alors des formules simples, comme on peut le constater sur les exemples suivants :

* **système série** : un système est en série, du point de vue sûreté de fonctionnement, si la défaillance d'un seul élément entraîne la défaillance totale du système.

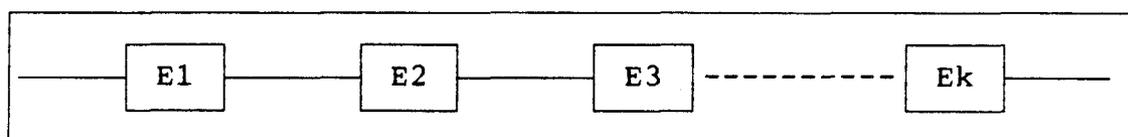


Figure 20 : Schéma bloc d'un système série

Dans ce cas, et pour une durée de fonctionnement t fixée :

- son taux de défaillance total $\lambda_s = \sum_{i=1}^k \lambda_i$

- et sa fiabilité est le produit des fiabilités élémentaires

$$R_s = \prod_{i=1}^k R_i$$

On constate donc avec des λ_i constants que :

- $\forall \lambda_i ; \lambda_s > \lambda_i$
- et $\forall R_i ; R_s < R_i$

Sachant que les systèmes les plus fiables sont ceux qui possèdent une valeur de fiabilité le plus près possible de l'unité, un système série sera moins fiable que le maillon le plus critique, du point de vue fiabilité de sa chaîne.

* **Système parallèle** : on considère un système comme parallèle, du point de vue sûreté de fonctionnement si, malgré la défaillance d'un ou plusieurs de ses éléments, le système continue sa mission ; ceci traduit généralement des structures redondantes.

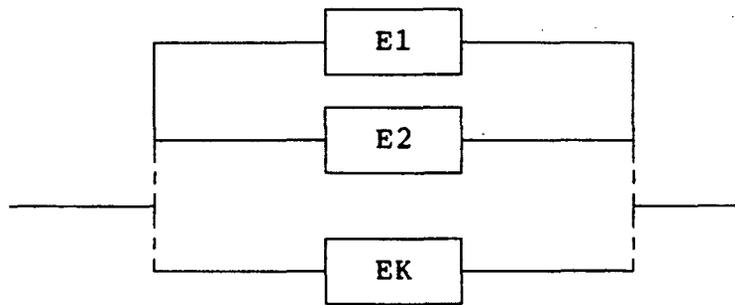


Figure 21 : Schéma bloc d'un système parallèle

- son taux de défaillance est le produit des taux de chaque élément :

$$\lambda_s = \prod_{i=1}^k \lambda_i$$

- alors que sa fiabilité est obtenue par la relation :

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - R_i)$$

On remarque dans ce cas que, $\lambda_s < \lambda_p$ (λ_p le taux de défaillance le plus petit) ce qui correspond à une meilleure fiabilité du système que celles des différents éléments pris séparément.

Cette remarque peut servir pour l'amélioration de la fiabilité d'un système par une redondance de ses constituants ayant un très grand taux de défaillances. Cependant pour les systèmes réparables on a besoin d'autres paramètres pour quantifier la qualité de service rendu, comme la disponibilité, la maintenabilité

3.1.2.3. La maintenabilité

La maintenance englobe l'ensemble des opérations permettant de maintenir un système en état de service normal ou spécifique. On distingue ici deux sortes de maintenance, cf § 1.4.3 chapitre 1 :

- maintenance préventive et prédictive: opérations d'entretien, de surveillance, (visites, contrôles ...) pour diminuer la probabilité de défaillance.

- maintenance curative : c'est l'aspect de la maintenance le plus connu. Elle intervient après défaillance et consiste à faire des diagnostics, des dépannages, des réparations ... leur efficacité nécessite des dispositifs supplémentaires, qu'il faut prévoir dès la phase de conception.

La maintenance préventive ne peut faire l'objet que d'un programme de prévention et de contrôles périodiques ou conditionnés, alors que la maintenance curative peut être quantifiée par un taux de réparation $\mu(t)$ d'une part, et par la fonction de maintenabilité $M(t)$ d'autre part.

$M(t)$ exprime "La probabilité qu'après une défaillance, le système soit remis en service en un temps t , "t" exprime le temps moyen de réparation, qui est communiqué généralement sous son sigle anglo-saxon MTTR (Mean Time To Repair).

La relation générale exprimant la maintenabilité d'un système, sachant qu'il est tombé en panne à l'instant 0 et restauré à l'instant t , est :

$$M(t) = 1 - \text{Exp} \left[- \int_0^t \mu(x) \cdot dx \right] \quad (\text{cf, chapitre 1, [GON-80]})$$

$\mu(t)$ peut être considéré comme constant, dans le cas où une politique de maintenance est mise en oeuvre dès la phase de conception du système.

S'il est conçu par exemple d'une manière modulaire et si une défaillance entraîne un échange standard du module défaillant et si la réparation proprement dite est faite hors ligne, alors le MTTR est fixé, la relation ci-dessus devient donc :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t}$$

Mais malgré cette simplification, le MTTR reste d'un emploi plus fréquent que la fonction de maintenabilité $M(t)$ et ceci pour la simple raison que l'amélioration de la maintenabilité est avant tout une diminution du MTTR. Il faut donc mettre tout en oeuvre pour réduire ce dernier, par exemple :

- détecter et signaler les éléments défaillants automatiquement
- concevoir des systèmes dans l'optique d'une maintenance facile (modularité, interchangeabilité) et rapide (utilisation d'une fonction de gestion permettant d'avoir des pièces de rechange disponibles, personnel qualifié),
- etc.

3.1.2.4. La disponibilité

La disponibilité est quantifiée par une fonction $A(t)$, qui exprime la probabilité d'avoir le système en mesure d'accomplir sa mission (disponible à tout instant $t > 0$), pour des cas simples $A(t)$ a l'allure ci-dessous :

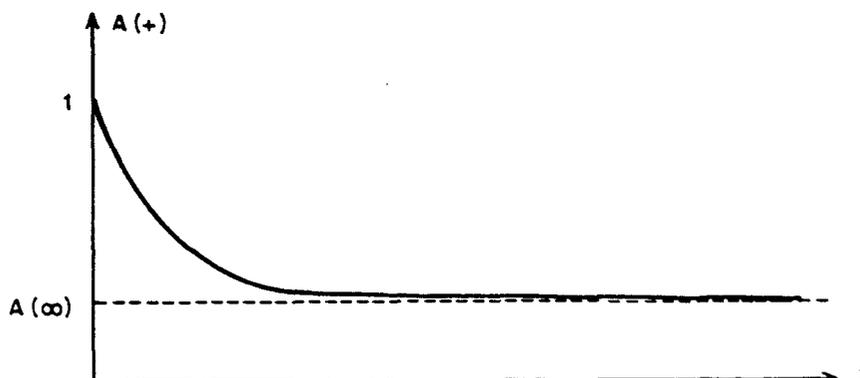


Figure 22. : Allure de la disponibilité d'un système simple

Dans le cas d'une disponibilité intrinsèque (élément isolé) et compte tenu des hypothèses faites dans les paragraphes précédents $\mu = \text{cte}$ et $\lambda = \text{cte}$, la disponibilité à long terme $A(\infty)$, qui correspond au régime permanent, est donnée par

la relation suivante $A(\infty) = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$.

Par contre, dans le cas d'un système complexe, il faut faire une étude de disponibilité opérationnelle ou calculer la disponibilité à partir du graphe d'états, voir à ce sujet, [GON-80] où des exemples sont traités en appliquant des chaînes de MARKOV, ou voir encore [RIC-82] où un cas réel est traité (bus de transmission multiplexé KSU).

3.1.2.5. La sécurité

Dans n'importe quel système d'automatismes aussi sophistiqué soit-il, le risque d'avoir des défaillances est loin d'être écarté totalement. L'accident de la navette spatiale ou de la centrale nucléaire de Tchernobyl sont là pour témoigner des conséquences d'une défaillance.

Assurer le bon fonctionnement d'un système, c'est aussi éviter ou maîtriser les conséquences de ses défaillances (peu importe leurs origines ou leurs causes).

Les études consacrées à la sécurité consistent à prévoir les conséquences des différents modes de défaillances ce qui les différencie des études de fiabilité qui sont consacrées aux taux de défaillance. La sécurité s'exprime par l'expression suivante :

$$S = 1 - \frac{\text{Nombre de défauts dangereux}}{\text{Nombre total de défauts}}$$

Un élément est considéré comme sûr si son degré de sécurité $S = 1$. Voir par exemple (cf § 1.3.2, chapitre 1) pour les techniques appliquées dans le cas des automates programmables pour assurer leur sécurité et celle de leur environnement.

Généralement, pour améliorer la sécurité d'un élément, on fait appel à des circuits complémentaires de cohérence.

Ceci a pour conséquence l'augmentation de λ , c'est-à-dire, une augmentation de risque de défaillances; d'où la recherche difficile d'un compromis entre sécurité et fiabilité : qui sont même parfois en opposition, ce qui ne facilite pas la tâche des analystes.

Ce type de réflexion, nous amène à la remarque suivante.

Remarque:

La recherche de tous ces paramètres n'est pas nécessaire et quelquefois même inutile, pour l'appréciation des performances d'un système; en effet, la présence de quelques paramètres peut prêter à confusion si on ne prend pas des précautions lors de la comparaison de plusieurs architectures, comme on peut le constater dans l'exemple ci-dessous:

Lorsqu'on essaie de qualifier une architecture suivant son MTBF, on souhaite que sa valeur soit la plus grande possible.

Soit, donc : un système de structure simple avec un $MTBF = MTBF_1$ et le même système mais avec une structure triple (redondance d'ordre 3) avec le critère 2/3; dans ce cas, le système redondant aura un $MTBF = MTBF_2$ avec : $MTBF_2 < MTBF_1$.

Si on veut tirer une conclusion hâtive à partir de ce résultat on arrive au résultat suivant: la redondance pénalise le fonctionnement du système, alors qu'en réalité, c'est que le MTBF est en général un mauvais critère de comparaison entre deux architectures.

Cette conclusion condamne aussi le taux de défaillance, mais étant donné que $R(t)$ la fonction de fiabilité est fonction de λ ceci impose la recherche de λ sans le considérer pour autant comme un des critères de comparaison et moins d'évaluation.

La valeur de λ sert donc à évaluer $R(t)$ qui constitue un bon critère de comparaison car, $R(t)$ évolue en fonction du temps et c'est ce qui importe dans un système : c'est-à-dire la durée de sa mission.

Finalement, le taux de fiabilité est un paramètre nécessaire mais pas suffisant pour l'observation de la fiabilité d'un système. La figure ci-dessous illustre ces propos :

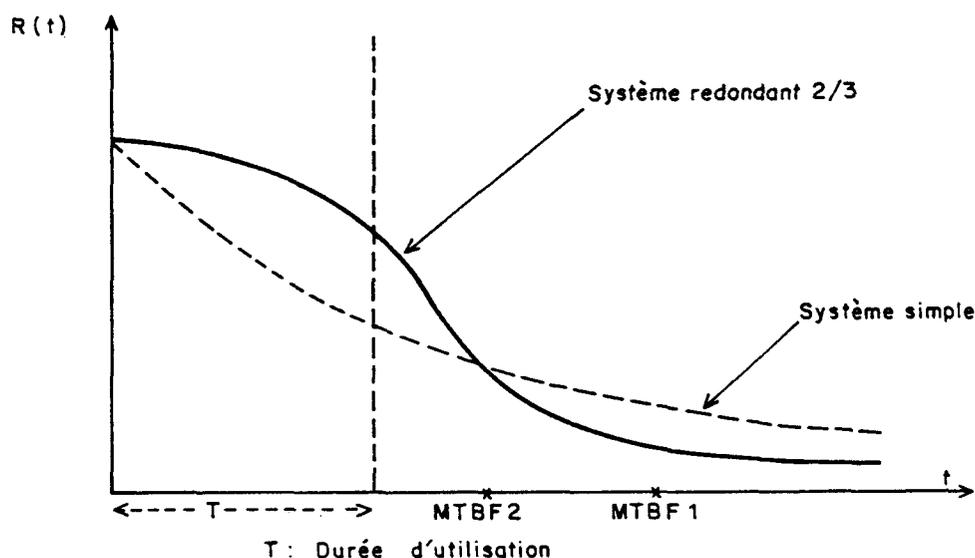


Figure 23 : Fiabilité de deux structures différentes

3.2 CRITERES DE QUALIFICATION D'UN SYSTEME, DU POINT DE VUE SURETE DE FONCTIONNEMENT

Afin de pouvoir évaluer les performances opérationnelles d'une architecture, le concepteur a besoin des éléments de sûreté de fonctionnement applicables aux équipements retenus dans l'étape 2.

Ces éléments sont établis par le constructeur dans des documents précisant les différents critères pris en compte, pour assurer le bon fonctionnement de son équipement et les directives à suivre pour assurer sa sécurité et sa maintenabilité. Deux types d'information doivent être fournis :

D'une part, des informations quantitatives, concrètes, comme le vecteur de sûreté de fonctionnement, plus particulièrement :

* le(s) taux de défaillance d'un équipement, s'il est en monobloc, ou des constituants d'un équipement s'il est modulaire, comme les automates, pour le calcul de la fiabilité du système.

* les taux de défaillance et de réparation, pour le calcul de la disponibilité du système.

* le taux de couverture des pannes, qui caractérise le % des défaillances détectées et signalées.

D'autre part, des informations qualitatives:

* renseignements sur le comportement d'un équipement en cas de défaut interne. Pour les A.P.I par exemple un comportement parmi les 5 types définis dans la NFC 63850 (voir chapitre 1, § 1.3.3).

* les moyens de détection des pannes utilisés, matériel et/ou logiciel, au niveau :

- des unités de traitement, comme le chien de garde...

- des sorties comme l'autocontrôle, rebouclage des sorties sur des entrées (prévues pour cela), ou le contrôle temporisé.

- des entrées comme une double lecture des entrées ou encore l'adjonction d'entrées complémentaires.

* comportement de l'équipement en présence de défauts externes

- fonctionnement en présence de parasites: électriques, électromagnétiques...

- comportement en cas de coupure de tension d'alimentation.

* les différents concepts de maintenance pris en compte :

- interchangeabilité : possibilité ou non de changement des modules ou des cartes sous ou hors tension,

- existence ou non d'unités redondantes.

* etc ...

5.3.3 EVALUATION DES PERFORMANCES OPERATIONNELLE D'UN SYSTEME

3.3.1 INTRODUCTION:

Après que le concepteur ait choisi les équipements de son système, se pose le problème de la méthodologie d'évaluation prévisionnelle de ses performances, afin de juger de la sûreté de son fonctionnement [ARS-80], [GON-80], [GER-84] ...

Pour résoudre ce problème une réflexion préliminaire s'impose sur le choix de l'objectif à atteindre, étant donné que cette évaluation peut se faire suivant divers axes, comme le montre la figure ci-dessous.

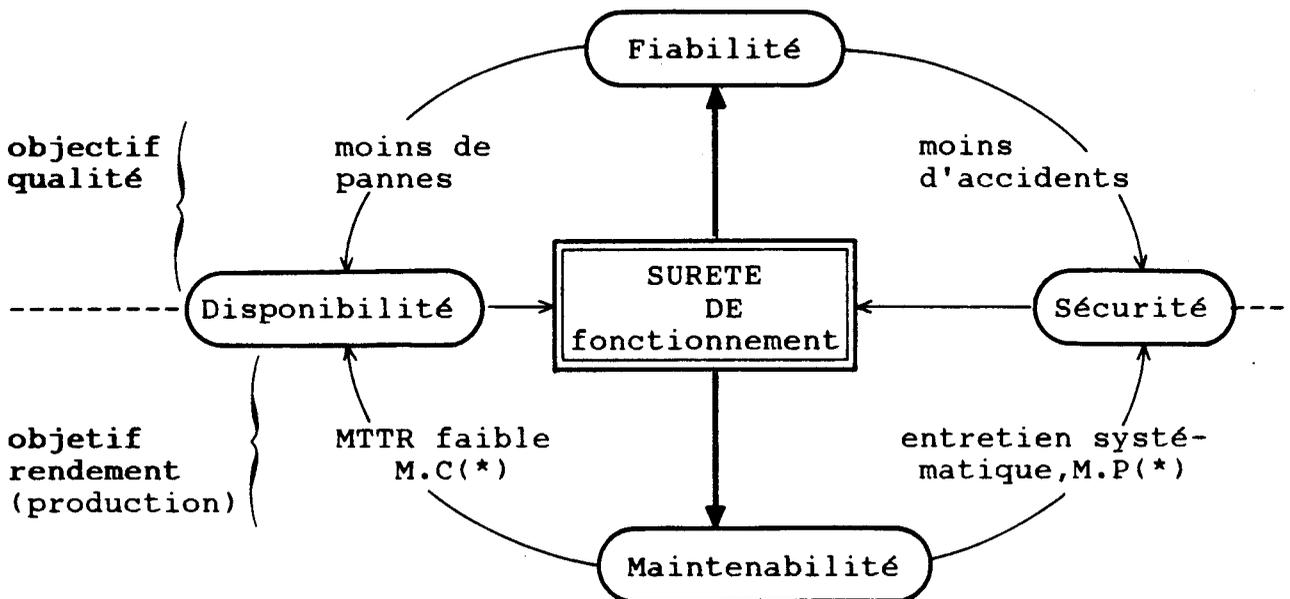


Figure 24 : La corrélation entre les divers éléments de sûreté de fonctionnement.

* M.C / P: Maintenance Corrective / Préventive.

3.3.2 EXEMPLE : ETUDE SUIVANT L'AXE " fiabilité "

Intérêt d'une étude de fiabilité:

Elle s'applique à des systèmes relativement complexes, pour une meilleure connaissance de leurs constituants, afin de choisir des produits de qualité meilleure.

Lorsque on se trouve en présence de processus industriel potentiellement dangereux, ce qu'on attend, entre autres, de son S.C.C c'est qu'il soit fiable.

Par ce fait, l'étude de la fiabilité de ces systèmes doit occuper une place prépondérante tout le long de leur cycle de vie.

Cette étude est échelonnée dans le temps, puisqu'on distingue trois types d'étude de fiabilité :

- une étude de fiabilité prévisionnelle
- une étude de fiabilité expérimentale
- et une étude de fiabilité en exploitation.

Nous décrivons ci-après les avantages et les inconvénients du premier type, puisque c'est le seul qui se déroule dans la phase de conception.

1) Avantages d'une étude de fiabilité prévisionnelle:

- elle permet, avant la réalisation d'un système, de s'assurer que l'on respecte effectivement les objectifs préalablement fixés, dans les diverses spécifications, (elle traite le mal dès son origine et évite ainsi des problèmes de modification dans la suite).

- elle permet de repérer les éléments faibles du système.

2) Inconvénients d'une étude prévisionnelle:

On peut parler d'inconvénient, si l'étude concerne des produits nouveaux; car dans ce cas, on est amené à extrapoler des données tirées d'une utilisation antérieure de produits similaires (risque d'erreur plus ou moins important, selon que les hypothèses prises sont plus ou moins réalistes).

Une confirmation de ces résultats "théoriques" est nécessaire :

- soit par des essais : fiabilité expérimentale,
- soit par des retours d'exploitation.
- soit par simulation

Ceci dit, les résultats de cette étude restent prédominants et font que l'étude de la fiabilité prévisionnelle reste une approche fondamentale dans la définition d'un système.

3.3.3 METHODOLOGIE D'EVALUATION DES PERFORMANCES OPERATIONNELLES

D'une manière générale, l'évaluation des performances opérationnelles d'un système se déroule suivant deux phases : une phase d'analyse qualitative et une phase d'analyse quantitative. Ci-dessous on décrit brièvement l'intérêt ainsi que le déroulement de chacune de ces deux phases.

3.3.3.1 ANALYSE QUALITATIVE

Le but de l'analyse qualitative est l'élaboration du modèle de dysfonctionnement du système afin d'effectuer une investigation des défaillances et de mesurer les retombées de la panne d'un quelconque constituant du système.

Pour mener à bien cette analyse, plusieurs étapes sont, généralement, nécessaires:

E1 - Etablissement : de schémas fonctionnels, décrivant le bon fonctionnement du système ou de schémas électriques (dans le cas de systèmes simples) décortiquant les fonctions de chaque automatisme.

E2 - Définition des objectifs par l'ensemble d'événements indésirables.

E3 - Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets "AMDE", cette méthode est plutôt connue sous le sigle "FMEA" Failures Mode Effects Analysis. C'est une étude qui se présente sous forme d'un tableau, comme le montre la figure ci-dessous.

identificateur du composant	fonctions états	modes de défaillances	causes possibles d'une défaillance	effets sur le système	...

Figure 25 :.Structure d'une étude "AMDE"

E4 - Etablissement de l'arbre de défaillances : les schémas et les tableaux ci-dessus servent d'éléments de base à l'établissement de l'arbre de défaillances, cette analyse de défaillances peut s'effectuer de deux manières:

- suivant une méthode déductive (descendante) : On spécifie le type d'événement indésirable et on cherche à déterminer les différentes causes possibles de sa réalisation à un niveau fonctionnel plus bas, l'arbre de défaillance est bien adapté à cette méthode ([GON-80], chapitre 2).

- suivant une méthode inductive (ascendante) : On cherche dans un premier temps, tous les modes de défaillances possibles au plus bas niveau fonctionnel et ensuite, pas à pas, les modes de défaillances des hauts niveaux. Mais l'expérience montre que cette méthode ne convient qu'aux cas simples; car, dans le cas des systèmes complexes on arrive à une explosion des combinaisons des événements qui rend les diagrammes incompréhensibles.

Remarque : de toute manière, il n'existe pas de méthode générale valable pour l'analyse qualitative de n'importe quel système. Toutefois, quelques indications peuvent faciliter la tâche de l'analyste :

I1 : une décomposition claire du système en unités fonctionnelles selon les critères suivants :

- L'unité fonctionnelle doit représenter des structures simples, son fonctionnement doit être simple à modéliser,
- Les entrées, les sorties et les signaux de contrôle de chaque unité doivent être bien définis,
- Il faut respecter l'intégrité physique des unités.

I2 : l'observation des défaillances "mode commun", ainsi que leur conséquences.

En conclusion, l'analyse qualitative sert à recenser les différentes pannes et à décrire les différentes situations dans lesquelles peut se trouver le système, et ce, sous divers formes, [AUT-87], [ARS-80], [GON-80], [RIC-83], [SIE-82] :

- + Diagramme d'états ou graphe de MARKOV,
- + Diagramme de fiabilité,
- + Arbre de défauts,
- + etc ...

Nous donnons ci-après un aperçu de la méthode la plus utilisée pour l'analyse des modes de défaillances: c'est la méthode des arbres de défaillances.

Méthode des arbres de défaillances

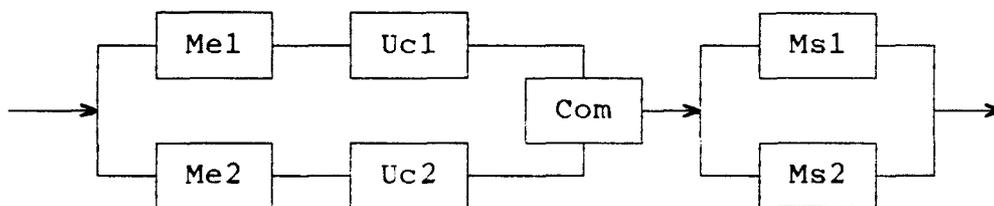
Un arbre de défaillance est la représentation, de manière logique (en utilisant des portes logiques ET/OU), de l'enchaînement des événements nécessaires à la réalisation d'un événement indésirable [GON-80],[KRO-86].

Nota: le mot événement est à considérer ici au sens le plus large; il peut être: la perte d'une fonction, d'un module, d'une carte...

L'arbre de défaillance est construit à partir d'un ensemble de symboles normalisés, (voir page suivante). C'est la représentation la plus parlante du dysfonctionnement d'un système. Par ce fait, elle favorise l'échange d'information entre divers spécialistes.

Nous traitons ci-dessous un exemple d'application de cette méthode. On trouvera dans [GON-80] une étude détaillée sur les diverses représentations de la logique d'un système, comme les diagrammes de fiabilité, les arbres de défaillances etc,...

Considérons, par exemple, le système représenté par son diagramme de fiabilité suivant:



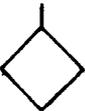
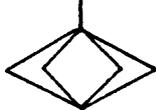
Avec: Mei: Module d'entrée; Msi: Module de sortie,
Uci: unité centrale; Com: commutateur.

Le système est en panne* si les deux voies, sans commutateur, sont en pannes ou si seulement le commutateur est en panne, puisque il représente un point commun des deux voies.

La figure 26 représente l'arbre de défauts du système décrit si-dessus, conformément aux concepts des arbres de défaillances que nous rappelons dans le tableau suivant.

(*) Le système est en panne du point de vue fonction de sécurité, car le système peut se trouver dans un état dégradé avec mission assurée.

nom du symbole symboles sigification du symbole

Nom du symbole	Symbole	Signification du symbole
Rectangle		Représentation d'un événement résultant de la combinaison d'autres événements.
Cercle		Représentation d'un événement de base
Losange		Représentation d'un événement non élémentaire mais dont les causes sont non développées
Double losange		Événement dont les causes seront développées ultérieurement.
Maison		L'événement associé à un fonctionnement normal.
Triangle		Il manque une partie de l'arbre développé par ailleurs.
Condition		Se plaçant sur une porte (et, ou) ajoutant une condition supplémentaire à la réalisation de l'événement de sortie.

Extrait des symboles logiques employés dans les arbres de défaillances d'après [GON-80], chapitre 2.

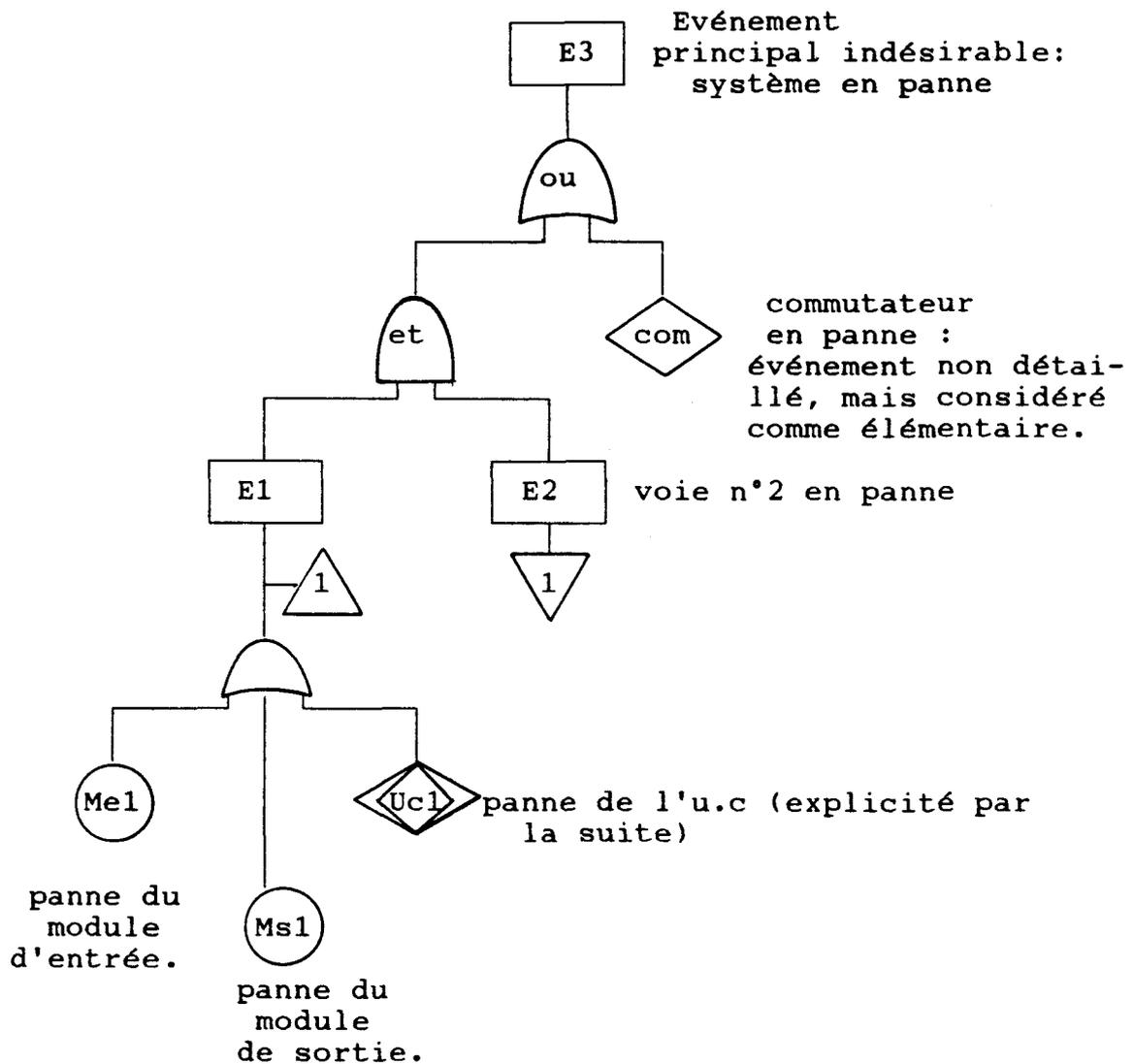


Figure 26 : Un exemple d'arbre de défaillance

3.3.3.2 ANALYSE QUANTITATIVE

Si l'analyse qualitative permet de recenser les événements indésirables, de décrire l'état de fonctionnement d'un système en présence de telle ou telle défaillance ou tout simplement de représenter le système par une structure de défaillance, l'analyse quantitative quant à elle, permet d'évaluer numériquement les différentes grandeurs concernant sa sûreté de fonctionnement.

Lorsqu'il s'agit de systèmes de structures simples organisées, sous forme série ou parallèle ou encore sous forme série/parallèle, le calcul de certaines grandeurs de la sûreté de fonctionnement, en particulier la fiabilité, peut se faire directement à partir d'une représentation donnée du système en appliquant certaines formules moyennant quelques hypothèses simplificatrices (§ 3.1.2.2).

Mais, dans le cas des systèmes complexes, on doit faire appel à des formules déduites des méthodes "probabilistes" pour l'évaluation quantitative de ces paramètres.

La méthode la plus connue à cet égard est celle de MARKOV, mais elle est plutôt adaptée aux systèmes de petite taille ou de complexité moindre, son utilisation dans des systèmes complexes n'est rendue possible qu'au moyen de l'informatique.

Plusieurs codes sont été développés à ces fins, comme le logiciel "SURF" [KRO - 86].

L'analyse quantitative est une discipline à part entière, qui nécessite beaucoup de connaissances dans plusieurs domaines : comme le traitement statistique des données, la modélisation par les processus stochastiques, la simulation monte-carlo etc, pour plus de détails on se rapporte utilement aux ouvrages de [ARS-80],[GON-80] ET [LYO-86] .



2.5.4. ETAPE 4 : DESCRIPTION DETAILLEE DES MODULES D'AUTOMATISMES

5.4.1 DEFINITION

Le but de cette étape est l'élaboration du logiciel de contrôle-commande, c'est-à-dire des codes directement exploitables par les machines cibles.

Il est à rappeler que les automatismes que nous traitons occupent normalement le niveau 1, dans la structure du S.C.C (cf § 5, chapitre 1). Ce sont donc des automatismes réflexes qui sont généralement assurés par des A.P.I et/ou des A.P.S.

Par ce fait, nous ne décrivons que des langages adaptés à ces derniers. Parmi les plus répandus, on distingue :

- le GRAFCET, qui passe pour une norme à l'échelle nationale (il est adopté par la majorité de constructeurs),
- ainsi que les langages à base de blocs fonctionnels qui se répandent de plus en plus.

Si les étapes précédentes nous ont permis de lister les différents modules d'automatismes avec la description de leur organisation dans une architecture donnée, à ce stade on doit détailler les traitements accomplis par chacun d'eux et décrire les moyens de leur évolution au sein de la structure qui doit être établie dans l'étape 1, c'est-à-dire, leur activation, leur synchronisation, leur communication, etc.

Il est à noter que l'étude qualitative de la fiabilité, par exemple, constitue une aide à cette description; étant donné que lors de cette étude, on doit définir entre autres :

- les modes de détection des pannes, pour les fonctions de maintenance,
- les éléments à contrôler en permanence ou par des actions conditionnelles, pour les fonctions de gestion technique, etc.

5.4.2 LE LANGAGE SEQUENTIEL: GRAFCET

Le GRAFCET est le langage séquentiel le plus répandu. Il est conçu autour de deux concepts de base: l'Etape et la Transition; l'évolution d'un GRAFCET est déterminée:

- d'une part, par les conditions logiques ou réceptivités R_i associées à chaque transition TR_i ,

- d'autre part, par les actions A_i , B_i ... associées à chaque étape E_i , ces actions ne sont exécutées que si l'étape E_i est active, de même E_i n'est active que si la réceptivité R_i associées à T_{R_i} est validée.

Le GRAFCET se prête, en principe, aussi bien à la programmation d'automatismes à déroulement séquentiel (cyclique) qu'à ceux à déroulement simultané (synchrone), c'est-à-dire, de plusieurs tâches interdépendantes, et ceci, par l'intermédiaire des variables de synchronisation ou d'attente au niveau des réceptivités.

Mais, en réalité cette simultanée n'est que fictive, en particulier lorsqu'il s'agit d'une seule unité de traitement. Pour plus de détail sur la pratique du GRAFCET cf [ROO-83].

Le succès du GRAFCET a été couronné par l'arrivée sur le marché des outils et des logiciels pour : sa représentation, sa simulation et même de génération de codes, directement exploitables par des automates programmables.

Il existe donc des logiciels constructeurs, ils sont généralement destinés seulement à leurs gammes. Mais, il existe aussi, et c'est le plus important à nos yeux, des logiciels intégrés indépendants de toutes machines et capables de générer des codes automates à partir d'un ordinateur personnel "P.C".

c'est le cas par exemple du logiciel ADJOINT développé par ETA-MAX cf [ADJ-85]; bien que le côté convivial soit un peu négligé, actuellement, ainsi que les séquences de traitement du temps, ce type de logiciel est d'un apport non négligeable dans un bureau d'étude.

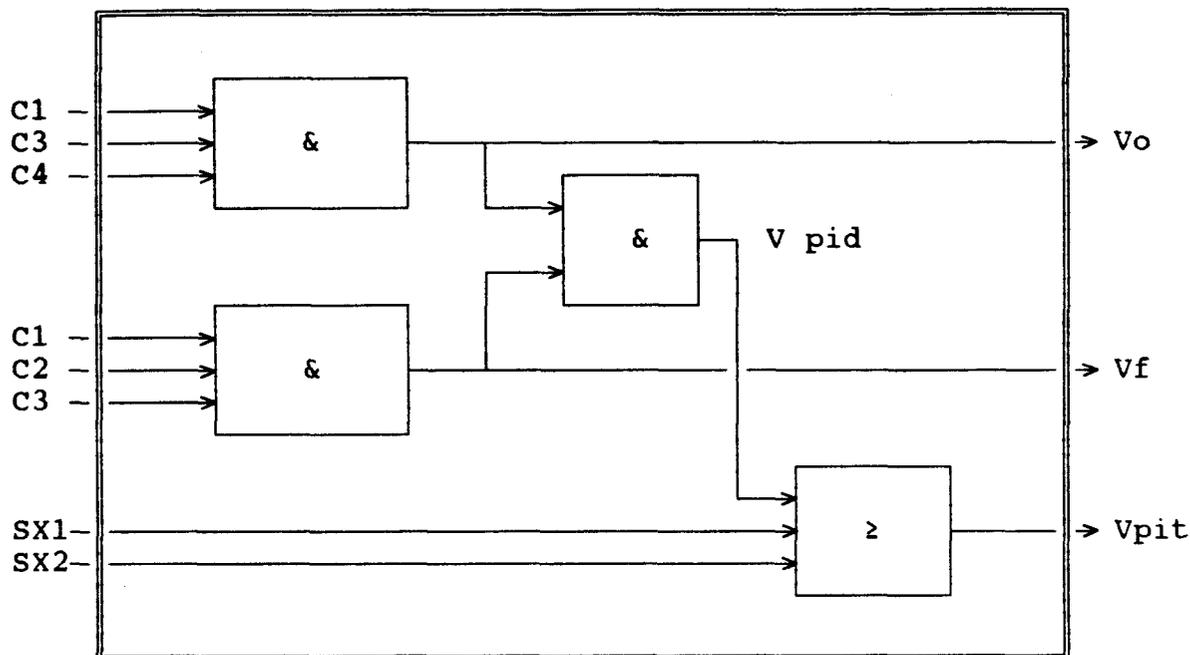
5.4.3 LA PROGRAMMATION PAR BLOCS FONCTIONNELS

Les langages à base de blocs fonctionnels créés pour répondre à un besoin particulier, qui est lié à la régulation continue, n'ont pas cessé d'évoluer et de s'étendre à d'autres domaines comme la régulation logique, le contrôle et la commande...

C'est un langage qui satisfait plutôt les automaticiens (car il est plus près de leur état d'esprit) qui sont habitués à travailler avec les fonctions de transferts.

Beaucoup de traitements peuvent être assurés seulement par l'enchaînement d'un certain nombre de blocs fonctionnels, qu'on appelle aussi des boîtes noires, étant donné que ces blocs sont fermés vis-à-vis du programmeur, n'ayant accès qu'à leur entrées ou qu'à leur sorties.

A titre d'explication, nous présentons ci-dessous, une structure possible d'un mode d'identification d'état d'une vanne Tout Ou Rien: TOR, à base de blocs fonctionnels du langage PROCONTROL P10 de BBC: cf [PHI-84], [DEL-88].



avec : C_i et S_{xj} représentent des signaux issus des capteurs
 V_o/V_f : vanne ouverte/fermée
 V_{pit}/pid : vanne en position intermédiaire/indéterminée

Figure 26 : Partie d'un module d'identification d'état d'une vanne TOR

On constate que le module de commande est, en fait, composé de blocs fonctionnels de base. Ces derniers sont mémorisés dans la partie résidante, indépendante de toute application, et peuvent être appelés à différentes reprises dans le programme d'application.

L'intérêt de ce type de langage est double:

- d'une part, une diminution colossale du nombre d'instructions nécessaires à l'exécution de la fonction composée. La programmation se résume à l'utilisation de quelques instructions d'appel et de commande des entrées et des sorties des blocs fonctionnels.

D'après [PHI-84], une fonction de régulation à temps optimisé n'utilise que six instructions au lieu de 58 nécessaires à l'élaboration de ce type de fonction, ce qui représente un gain de temps de 80 % pour la programmer.

- d'autre part, une diminution du nombre d'erreurs due à la programmation, puisque les fonctions de bases sont pré-programmées et mémorisées une fois pour toute.

D'après cette description succincte, on constate qu'il y'a une certaine complémentarité entre ces deux types de langages.

Leur intégration au sein d'un même outil d'aide à la conception sera certainement d'un apport considérable au concepteur.

Mais on constate avec regret que "les outils d'aide" à la conception qui existent actuellement, bâtis autour des langages décrits ci-dessus, ne sont en réalité que des outils d'aide au dessin, et n'offrent pas de moyens permettant de guider l'imagination du concepteur et de rationaliser son effort, chose qui est indispensable dans le cas de conception d'automatismes d'un système complexe.

Dans la suite de ce travail, nous essayons de combler ce vide en offrant une structure et une ossature sur lesquelles doit s'articuler un système d'aide à la conception.

2-6. CONCLUSION

Nous avons présenté, dans ce chapitre, le cycle de vie des automatismes d'un système de contrôle-commande.

Nous avons proposé un modèle de représentation, à base de technique SADT, contenant quatre activités:

- Définir l'automatisme,
- Développer l'automatisme,
- Mettre en service l'automatisme,
- Assurer la maintenance de l'automatisme.

Plus particulièrement, nous avons défini et situé la phase de conception, à l'intérieur de ces activités, qui est une phase parmi d'autres de l'activité " DEVELOPPER L'AUTOMATISME ".

Ensuite, nous avons mentionné l'intérêt, les principes (qui sont au nombre de trois: la rationalisation, la structuration et la hiérarchisation) et les limites de la méthode de conception préconisée.

Après avoir défini la phase de conception et la méthode à suivre dans le paragraphe 2.4, chapitre 2, nous avons proposé notre approche de conception des automatismes des systèmes de contrôle-commande; cette dernière consiste:

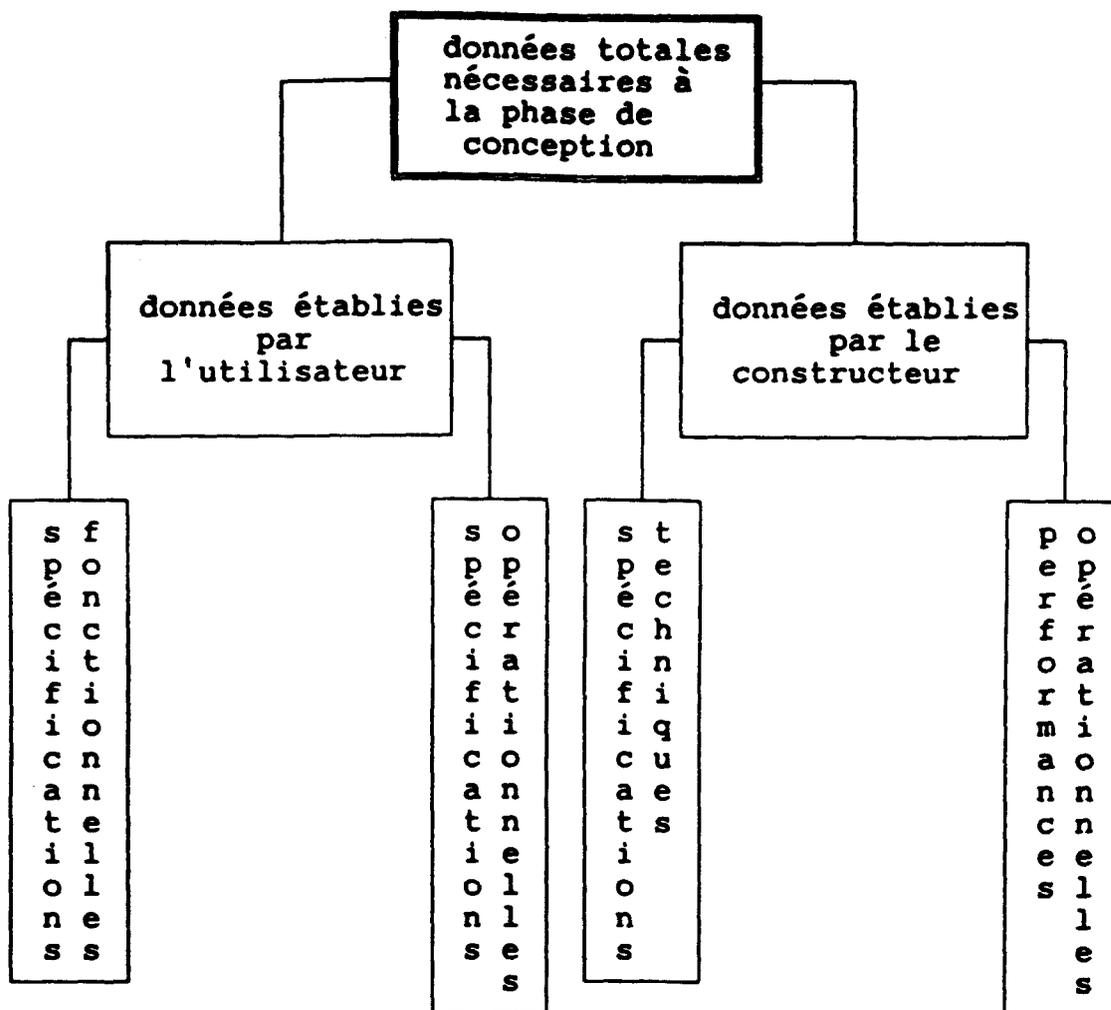
* dans un premier temps, à décomposer la phase de conception en quatre étapes, qui sont:

- Etape 1: formalisation et structuration des constituants de l'automatisme,
- Etape 2: élaboration d'une architecture matérielle,
- Etape 3: analyse et évaluation des performances opérationnelles du système,
- Etape 4: description détaillée des traitements de chaque module ou génération des codes machine.

* et dans un deuxième temps, à proposer les différentes techniques nécessaires à l'analyse ou à la représentation des éléments au niveau de chaque étape.

Cette proposition été accompagnée par l'analyse des données indispensables pour chaque étape de la phase de conception.

Nous avons regroupé l'ensemble de ces données ci-dessous.



A la lumière de l'analyse menée dans ce chapitre, on constate qu'il y a plusieurs lacunes, en ce qui concerne les méthodes ou techniques de modélisation et en particulier dans l'étape 1, ce qui nécessite un effort particulier et ceci pour une double raison:

- premièrement, une raison de bon sens, étant donné que c'est la première étape de la phase de conception, donc le résultat et le travail du concepteur sont largement tributaires des résultats de cette étape.

- deuxièmement, c'est dans cette étape qu'il manque le plus de méthodes d'analyse et en particulier de structuration. C'est ce que nous essayerons de combler dans la suite de ce travail.

La troisième partie sera donc consacrée à l'élaboration de l'ossature des éléments de base à manipuler ainsi que les moyens de structuration des automatismes des systèmes de contrôle-commande. Alors que la deuxième partie sera dédiée à l'analyse fonctionnelle des processus à automatiser.

deuxième partie

CONTRIBUTION
A L'ANALYSE
FONCTIONNELLE
D'UN PROCESSUS

INTRODUCTION	108
CHAPITRE-1 : L'ANALYSE FONCTIONNELLE	110
1. PROBLEMATIQUE DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE	110
1.1. Préambule	110
1.2. Structuration	111
1.2.1. La notion de modularité	111
1.2.1.1 définition	111
1.2.1.2 décomposabilité	112
1.2.1.3 composabilité	113
1.2.1.4 continuité	114
1.2.1.5 protection	114
1.2.1.6 encapsulation	115
1.2.2. La notion de hiérarchisation	116
1.2.3. La description des modes de fonctionnement	118
1.3. Association matériel-fonctionnel	122
1.3.1. La description mécanique	122
1.3.2. La notion d'architecture fonctionnelle et les contraintes opérationnelles	123
1.4. Utilisation du modèle.	127
2. ETAT DE L'ART	128
2.1. L'analyse descendante et ascendante	128
2.2. Les outils d'analyse fonctionnelle	129
3. CONCLUSION	130
CHAPITRE-2 : LA METHODE SADT	131
1. Introduction	131
2. SADT et la structuration	131
3. SADT et l'analyse du fonctionnement	132
4. Utilisation du modèle SADT	133
5. Conclusion	134

CHAPITRE-3 : LA METHODE "FLOW-MODEL"	135
3.1. Introduction	135
3.2. Présentation de la méthode	137
3.2.1. Description du principe	137
3.2.2. Description des règles de représentation	140
3.2.2.1 Une vue générale sur la représentation "FLOW-MODEL"	140
3.2.2.2 condition de réalisation d'un noued	141
3.2.2.3 les modes de liens	142
3.2.2.4 amélioration de la méthode "FLOW-MODEL"	144
3.2.3 Le pragmatisme dans la mise en application	148
3.3. Evaluation de la méthode par rapport aux notions de l'analyse fonctionnelle	151
3.3.1. "FLOW-MODEL" et la structuration	151
3.3.1.1. La modularité	151
3.3.1.2. La hiérarchisation	
3.3.1.3. Les différents modes de fonctionnement	151
3.3.2 "FLOW-MODEL" et l'analyse du fonctionnement	152
3.4 Utilisation du modèle "FLOW-MODEL"	153
3.4.1. "FLOW-MODEL" et le contrôle-commande	153
3.4.2. "FLOW-MODEL" et l'aide à la conduite	154
3.4.3. "FLOW-MODEL" et l'aide au diagnostic	154
3.5. Conclusion	156
CHAPITRE-4 : UNE APPLICATION D'ANALYSE FONCTIONNELLE PAR LA METHODE DE "FLOW-MODEL"	157
4.1. Description du sous-ensemble de la centrale étudié	
4.1.1. Préambule	157
4.1.2. Caractéristiques et description du processus étudié	158
4.2. Application de la méthode "FLOW-MODEL"	159
C O N C L U S I O N	163

I N T R O D U C T I O N

La spécification et la conception des systèmes d'automatismes constituent une part importante pour la réalisation du SCC des processus industriels, la connaissance du système physique est un préalable pour ces phases.

La représentation de cette connaissance peut être d'un apport considérable, si elle est bien structurée, d'où la nécessité d'une méthode d'analyse fonctionnelle permettant de répondre à ce besoin.

Une représentation mentale du processus est déjà élaborée par les opérateurs de conduite, de maintenance et de gestion.

Des études effectuées sur le comportement de l'opérateur humain [TYR-84], [MIL-87]....., ont montré que :

l'image mentale que possède l'opérateur de son installation, repose sur un découpage fonctionnel des matériels et des liaisons qui existent entre les divers composants.

Par ailleurs, le système de contrôle-commande doit générer un certain nombre d'informations et l'un des rôles de l'analyse fonctionnelle est de les mettre en évidence.

Pour aider les opérateurs dans leurs décisions, il nous semble opportun de mettre à leur disposition des informations pertinentes, ces informations peuvent être classer en différentes catégories correspondant aux différents niveaux liés à leur images mentales :

- Les informations de conduite, pour l'élaboration de l'image mentale technique, de l'opérateur de conduite ;
- Les informations de surveillance, pour l'élaboration de l'image mentale sécurité, de l'opérateur de maintenance ;
- Les informations de gestion technique, pour l'élaboration de l'image mentale économique, de l'opérateur de gestion.

Une approche d'analyse du processus s'appuyant sur une représentation du fonctionnement à l'aide d'objectifs, de systèmes, de circuits et de composants est primordiale si nous voulons réduire l'écart pouvant exister entre l'image du processus fourni par le concepteur et l'image que se fait l'opérateur de son unité opérationnelle, et par ce fait diminuer les incertitudes sur les réactions des opérateurs devant telle ou telle situation.

Le but de notre analyse est de mettre en évidence les diverses fonctions, régissant le bon fonctionnement du processus, et ce, aux différents niveaux fonctionnels et opérationnels.

Différentes méthodes ou techniques d'analyse existent, Le choix pour une méthode dépend essentiellement de trois critères de nature différente :

- présence des concepts de structuration, afin d'améliorer l'homogénéité des traitements du côté contrôle-commande, en favorisant l'émergence d'entités fonctionnelles ou matérielles (standards) de structures fonctionnelles répétitives susceptibles de faire l'objet de traitements analogues.

- possibilité de représenter les interactions entre les deux univers : matériel et fonctionnel.

- possibilité de parcourir le modèle, obtenu après analyse, dans le sens descendant et ascendant, ce qui peut être utile par exemple, pour l'étude de dysfonctionnement du processus, car la structure fonctionnelle du processus pourrait être mise à profit pour faciliter la conception de tous types d'automatismes (de conduite, de protection, de démarrage/arrêt...).

CHAPITRE 1 : L'ANALYSE FONCTIONNELLE

1. PROBLEMATIQUE DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE

1.1. PREAMBULE

L'analyse fonctionnelle des processus industriels complexes est le passage obligé pour la compréhension de leur fonctionnement et, pour la modélisation de leur comportement.

Le résultat de cette analyse est la représentation du processus réel par une structure fonctionnelle et/ou matérielle.

Un processus est vu comme un ensemble de systèmes physiques, (sous-processus) coopérant entre eux pour la réalisation des objectifs de fonctionnement et en respectants des contraintes de protection (garantissant le respect des objectifs de protection des équipements et des fluides) et d'utilisation (liées à l'emploi d'une ressources fonctionnelle ou matérielle partagée).

Le modèle à obtenir doit présenter une hiérarchie de divers niveaux et la liste des objets fonctionnels et matériels à considérer à ces divers niveaux.

Il doit constituer un moyen de structuration des connaissances communes aux divers intervenants (au concepteur processus, au spécialiste du fonctionnement, à l'automaticien, à l'agent de conduite ...)

Le savoir faire en matière d'analyse fonctionnelle des processus est encore fragmentaire, les difficultés rencontrées sont nombreuses, car il faut tenir compte :

- d'une part, des problèmes associés aux moyens (ou concepts) utilisés pour cette analyse, sachant qu'une solution a des qualités attendues (structuration, évolutibilité ...)
- d'autre part, des problèmes attachés à la complexité des processus étudiés.

Afin de pouvoir diminuer l'ampleur de ces contraintes, l'analyse fonctionnelle doit être le résultat d'un découpage :

- hiérarchique, relatif à la complexité des processus,
- modulaire, pour éviter un travail répétitif.

Les paragraphes suivants décrivent les principes sur lesquels repose un tel découpage.

1.2. STRUCTURATION

1.2.1. La notion de modularité

1.2.1.1 définition

Un grand nombre de processus industriels mettent en oeuvre des sous-processus comparables, la notion de "réutilisabilité" est donc centrale dans toutes méthodes d'analyse de ces processus, cette notion repose sur la possibilité de décomposer des problèmes complexes en modules simples interconnectés et éventuellement réutilisables sur plusieurs applications.

La modularité est apparue comme un moyen de structuration dans plusieurs disciplines, comme dans les langages de conception et de structuration des applications de conduite des processus industriels [ZAK-84], [ELF-85] ou encore pour la conception et la programmation orientées objets [MEY-88].

La modularité est une technique fondamentale, qui consiste à découper une application complexe en un ensemble d'entités, afin de satisfaire plusieurs buts :

- réduire la complexité globale d'un problème,
- réduire la complexité de vérification de conformité d'un sous-processus par rapport à ses spécifications,
- obtenir une structure plus facile à gérer, et pouvant être traitée par plusieurs personnes,
- obtenir des objets réutilisables...

Il n'y a pas de définition communément admise des règles de modularité, nous appliquons celles proposées par MEYER [MEY-88], sur lesquelles nous reviendrons tout au long de ce paragraphe.

Parmi l'ensemble des principes généraux de modularité décrits par MEYER, nous en retenons cinq, qui nous concernent directement : la décomposabilité, la composabilité, la continuité, la protection et l'encapsulation.

1.2.1.2 DECOMPOSABILITE

Une méthode d'analyse fonctionnelle satisfait au principe de décomposabilité si elle aide l'analyste à décomposer son processus, qui est par nature complexe.

C'est en fait une division du processus en sous-processus indépendants et des sous-processus en d'autres sous-processus plus petits ..., il rejoint par ce fait le principe des méthodes descendantes.

Le critère principal de ce principe est de minimiser l'échange entre les sous-processus obtenus à chaque étape de décomposition. La décomposition peut aboutir à plusieurs types de structures, cf figure-1, l'approche descendante met en évidence des structures hiérarchique que nous développons dans § 1.2.2 .

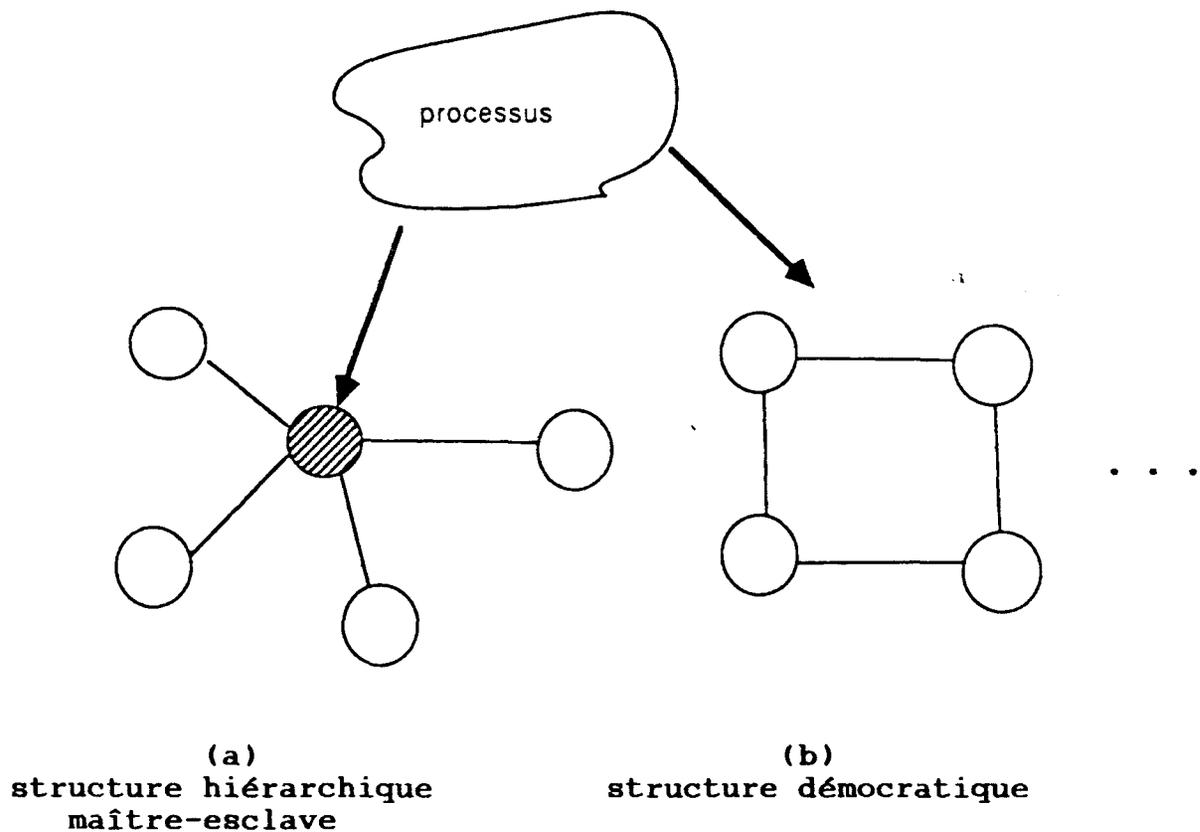


Figure 1 : Les différentes structures obtenues après une décomposition

Afin de prendre en compte ce principe, il faut mettre l'accent sur l'indépendance des modules (sous-processus) c'est-à-dire :

- minimiser les relations entre les sous-processus,
- maximiser les relations entre les constituants internes aux sous-processus.

Ceci revient en fait à organiser le découpage du processus de telle sorte que les constituants fortement liés soient dans un même sous-processus, les éléments de chaque sous-processus sont caractérisés par une cohésion maximale.

1.2.1.3 COMPOSABILITE

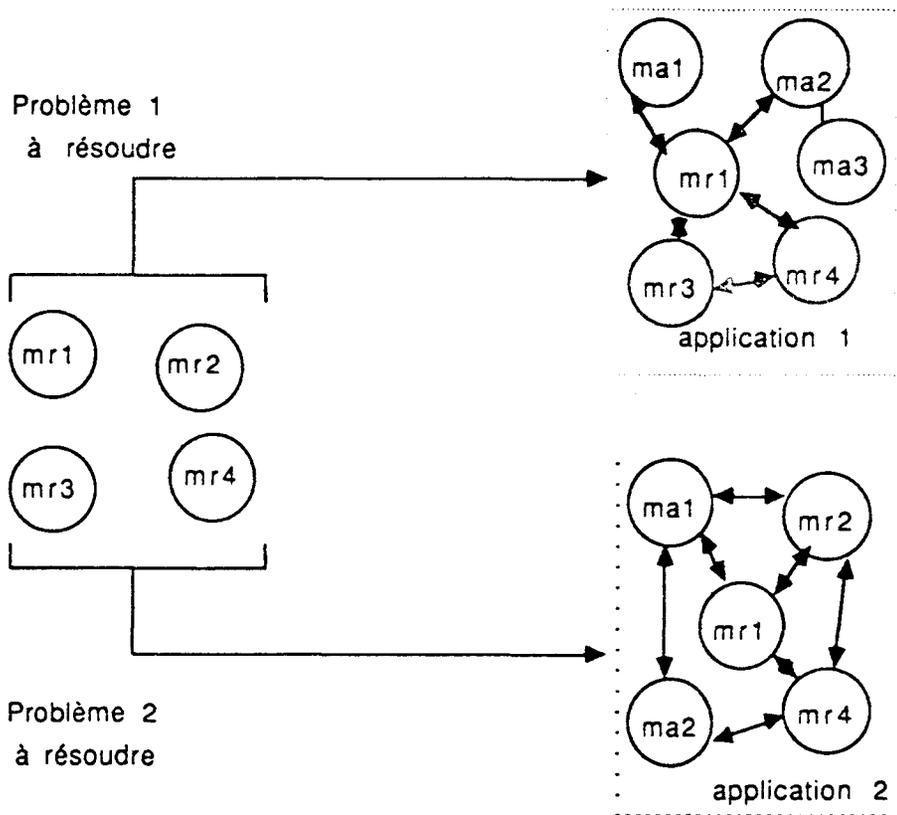


Figure 2 : composition d'un objet à partir de divers modules

Une méthode d'analyse satisfait au principe de composabilité si elle favorise la production de constituants des processus, qui peuvent être facilement combinés les uns avec les autres lors de l'analyse d'un sous-processus ou pour analyser un nouveau processus (réutilisabilité).

C'est la définition des modules ou des objets fonctionnels, réutilisables éventuellement dans des environnements très variés, décrivant le plus souvent des invariants des processus industriels, qui peuvent être stockés dans une base de données.

Ce principe est à considérer avec beaucoup de prudence, car il va à l'encontre des principes des méthodes descendantes, cf 2-1, étant donné que nous partons des objets de plus bas niveau pour construire des objets d'un niveau supérieur.

En fait, il n'y a pas contradiction entre réutilisabilité et analyse descendante, car à chaque niveau dans l'analyse descendante on teste si les objets obtenus existent ou non dans la base de données des modules réutilisables. L'analyse n'est pas guidée par l'existant.

1.2.1.4 CONTINUITÉ

Si on considère une méthode d'analyse comme une fonction de transformation : processus \longrightarrow structure fonctionnelle, alors la méthode satisfait au principe de continuité si elle produit des structures telles qu'un petit changement dans le processus, ajout d'instrumentation par exemple, aura pour résultat des changements d'analyse limités à un petit nombre de modules et non pas une remise en cause de la structure obtenue.

1.2.1.5 PROTECTION

Une méthode d'analyse satisfait au principe de protection si elle produit une structure fonctionnelle telle que le résultat d'une erreur est limité à un petit nombre de modules, c'est donc une qualité de la structure trouvée.

Corollaire de la protection : sûreté, confinement des erreurs, ou des pannes.

C'est un principe qu'on rencontre plutôt lors de la spécification des automatismes, cf troisième partie, ou dans la conception des logiciels.

1.2.1.6 ENCAPSULATION (ou masquage de l'information)

Chaque module ne doit être connu du monde extérieur qu'à travers une interface officielle, publique.

Le reste des propriétés du module constitue l'ensemble de ses "SECRETS" et doit être inaccessible de l'extérieur.

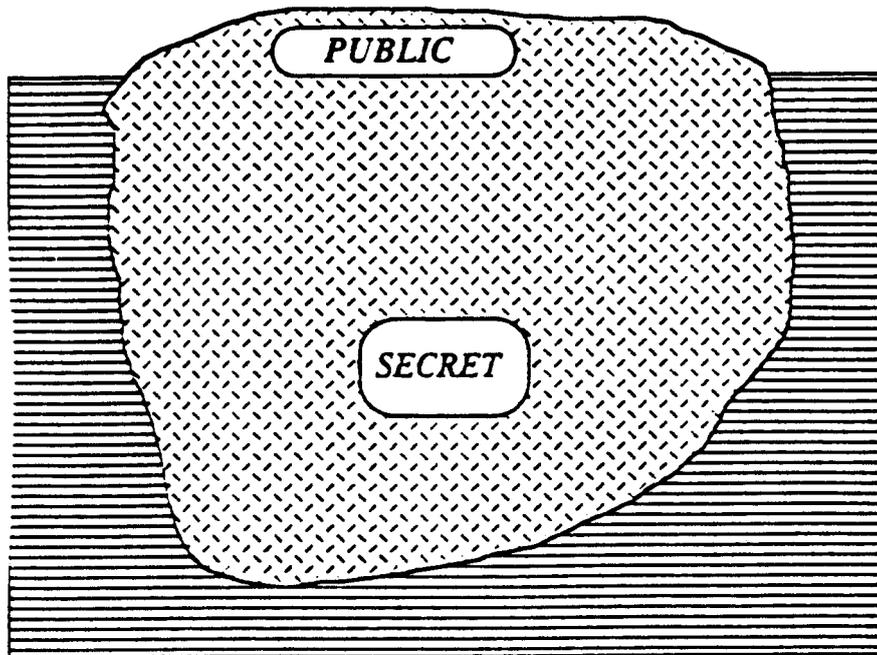
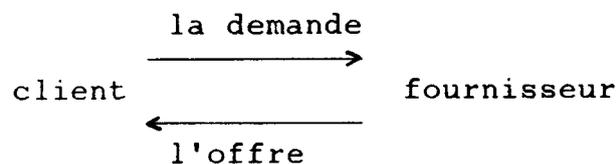


Figure 3 : Illustration du principe d'encapsulation [MEY-88]

Ce principe exclut en fait la coopération entre modules et n'autorise que des relations de type :



En réalité un module doit avoir deux types d'interfaces :

- une interface d'échange d'information intermodulaire, description par des entrées/sorties sans dire le comment, dans un niveau d'analyse donné,

- et une interface de configuration ou d'extension, afin de pouvoir agir sur le contenu du module (évolutivité) ou de le composer, dans ce cas le secret d'un niveau supérieur peut être dévoilé dans les niveaux inférieurs.

1.2.2. La notion de hiérarchisation

Les processus industriels complexes sont caractérisés par une grande variété de sous-processus et par conséquent par une grande variété des flux d'informations.

La complexité peut être réduite soit par :

- la structuration de l'information, structuration des données : datagramme en SADT, MERISE ...

- la structuration des systèmes (recherche de structures hiérarchisées) organisées par niveaux d'abstraction.

Face à un processus complexe, sur lequel on veut réaliser une fonction de commande complexe, l'approche de commande à plusieurs niveaux est apparue comme une idée centrale [TIT-75], notre objectif est d'en faire autant du côté structure fonctionnelle du processus, afin d'aboutir à deux structures pyramidales qui nous faciliteront le passage d'un domaine à l'autre.

La décomposition du processus en sous-processus doit suivre une démarche permettant de définir progressivement les différentes fonctions du processus.

Lorsqu'on parle de démarche, on pense évidemment à une méthode, mais il est difficile d'avoir une méthode précise de découpage.

On peut faire remarquer que si le processus existe la décomposition est fortement influencée par l'architecture de l'installation. Dans ce cas certains critères se dégagent d'une manière naturelle :

- "critère géographique" la répartition géographique de deux sous processus peut justifier leur séparation,

- "critère fonctionnel" deux sous-processus fonctionnellement et géographiquement séparables mais dont les fonctions sont fortement corrélées (participent au même objectif) peuvent être regroupés sous le même ensemble fonctionnel (exemple : circuit d'alimentation G-V et évacuation de vapeur, cf chapitre-4 pour plus de détail).

Mais, généralement, il n'existe à priori pas de règle fondamentale permettant d'aboutir à une décomposition unique d'un processus [LHO-85].

Les trois remarques suivant peuvent constituer un guide de découpage :

R-1 : relation de causalité

Soit deux sous-processus, si le début (ou la fin) de fonctionnement de l'un nécessite l'arrêt (ou la marche) de l'autre, on dit que les deux sous-processus sont consécutifs, ils sont liés par une relation de causalité.

Il doivent donc garder le même niveau d'abstraction, pour avoir des données de même nature.

R-2 : relation d'exclusion mutuelle

Il peut arriver qu'un objectif, suivant sa valeur, peut être satisfait par un sous-processus ou par un autre.

```

si valeur_objectif < valeur_max-1 alors sous-processus-1
                                     sinon sous-processus-2

```

A tout instant, l'un au plus des deux sous-processus est en activité, on dit que les deux sous-processus sont en exclusion mutuelle, ceci nécessite donc leur séparation lors du découpage fonctionnel du processus.

R-3 : sous-processus disjoints

Deux sous-processus sont disjoints, si ils ne sont ni consécutifs ni en exclusion mutuelle, c'est-à-dire, peuvent évoluer d'une manière complètement indépendante, alors :

- leur séparation est nécessaire,
- leur composabilité est inutile.

Nous résumons ici la démarche de décomposition à suivre :

on peut considérer que tout processus assure un objectif en réalisant une fonction ou "macro-activité".

Cette fonction pouvant être elle-même aisément fractionnée en un certain nombre d'activités de niveau inférieur.

Le critère, de décomposition, préconisé est alors un critère physique lié aux potentiels (ou aux fonctionnalités) du processus et aux moyens matériels mis en oeuvre.

Grâce à ce découpage hiérarchisé du processus, nous pouvons favoriser, dès le départ de l'analyse, une structuration des fonctions du système de contrôle-commande en correspondance avec la structuration en sous-processus.

1.2.3. La description des modes de fonctionnement

La décomposition du processus, en plusieurs entités élémentaires, permet de présenter le système physique dans un mode de fonctionnement donné, en fonction d'un objectif d'exploitation, généralement dans le mode de fonctionnement normal.

Un mode de fonctionnement est défini comme une configuration particulière du processus.

Chaque mode de fonctionnement correspond à l'activation d'un ensemble d'objets, bien précis, constitué :

- d'objets fonctionnels (fonction, sous-fonction) d'un système élémentaire, ou d'un circuit principal comme le générateur de vapeur par exemple.

- d'objets matériels (circuit, actionneurs principaux, robinetteries ...).

Toutes les variables qui régissent le fonctionnement d'un processus sont mesurées sur l'une des deux échelles (R, (0,1)).

Nous séparons ces variables en deux types, chacun d'eux est représenté par un vecteur, soit :

- X vecteur, de dimension N, de toutes les variables logiques du processus,

- Y vecteur, de dimension M, de toutes les variables analogiques du processus,

Un mode de fonctionnement doit être défini tout d'abord par une formulation claire, en fonction de l'ensemble de ces variables.

Si $E_i = \{ e_{i1}, e_{i2}, e_{i3}, \dots, e_{ip} \}$ est l'ensemble des objets mis en service dans le Mode de Fonctionnement n°i : MF_i , alors un mode de fonctionnement peut être défini par le couple (X_1, Y_1) , issu de la séparation du couple précédent (X, Y) en $(X=(X_1, X_2), Y=(Y_1, Y_2))$ avec :

- X_1 vecteur des points logiques fixés, de dimension $N_1 \leq P$,

- Y_1 vecteur des intervalles fixés, de dimension $M_1 \leq P$,

- et X_2, Y_2 représentent respectivement les points et les intervalles libres.

Chaque mode de fonctionnement est caractérisé par un parc de variables physiques, que nous introduisons au fur et à mesure que nous progressons dans l'analyse.

Au niveau le plus bas nous devons avoir donc l'ensemble de ces variables, comme nous le verrons par la suite, dans l'application de la méthode de "FLOW-MODEL".

Par contre, une structure fonctionnelle, voir figure-4, relative à un mode de fonctionnement, sera définie par le triplet:

$$\Sigma = (E_i, U_{ij}, S_{ij})$$

U_{ij} et S_{ij} désignent respectivement les variables de commandes et de contrôles pour chaque objet e_{ij} de E_i .

Par exemple, si en pleine charge tous les actionneurs doivent être ouverts, et en basse charge une partie de ces actionneurs doit rester fermée, comme la vanne V_x par exemple, alors si un ordre d'ouverture lui est envoyé l'un de nos objectifs, en introduisant la notion de mode de fonctionnement, est de le confiner (i.e l'ordre doit rester transparent pour la vanne).

A chacun des objets cités ci-dessus, nous pouvons associer un (des) objectif(s) et une (des) condition(s) d'obtention de ce(s) objectif(s).

Les conditions sont différentes suivant le niveau qu'occupe l'objet, pour :

- un objet fonctionnel, les conditions concernent son état,
- un objet matériel, les conditions concernent son bon fonctionnement d'une part et sa disponibilité relative d'autre part (sa capacité à satisfaire l'objectif qui lui est assigné).

Par exemple, une vanne qui ne peut pas être ouverte à plus de 50% de sa capacité maximale, est alors dans un état dégradé :

- pour un objectif qui ne nécessite qu'une ouverture de 30% de la vanne, la vanne est disponible,
- par contre pour un objectif qui nécessite une ouverture de 70% de la vanne, elle est indisponible.

Mais une question se pose à ce stade de description des modes de fonctionnement. Comment identifier un mode de fonctionnement?.

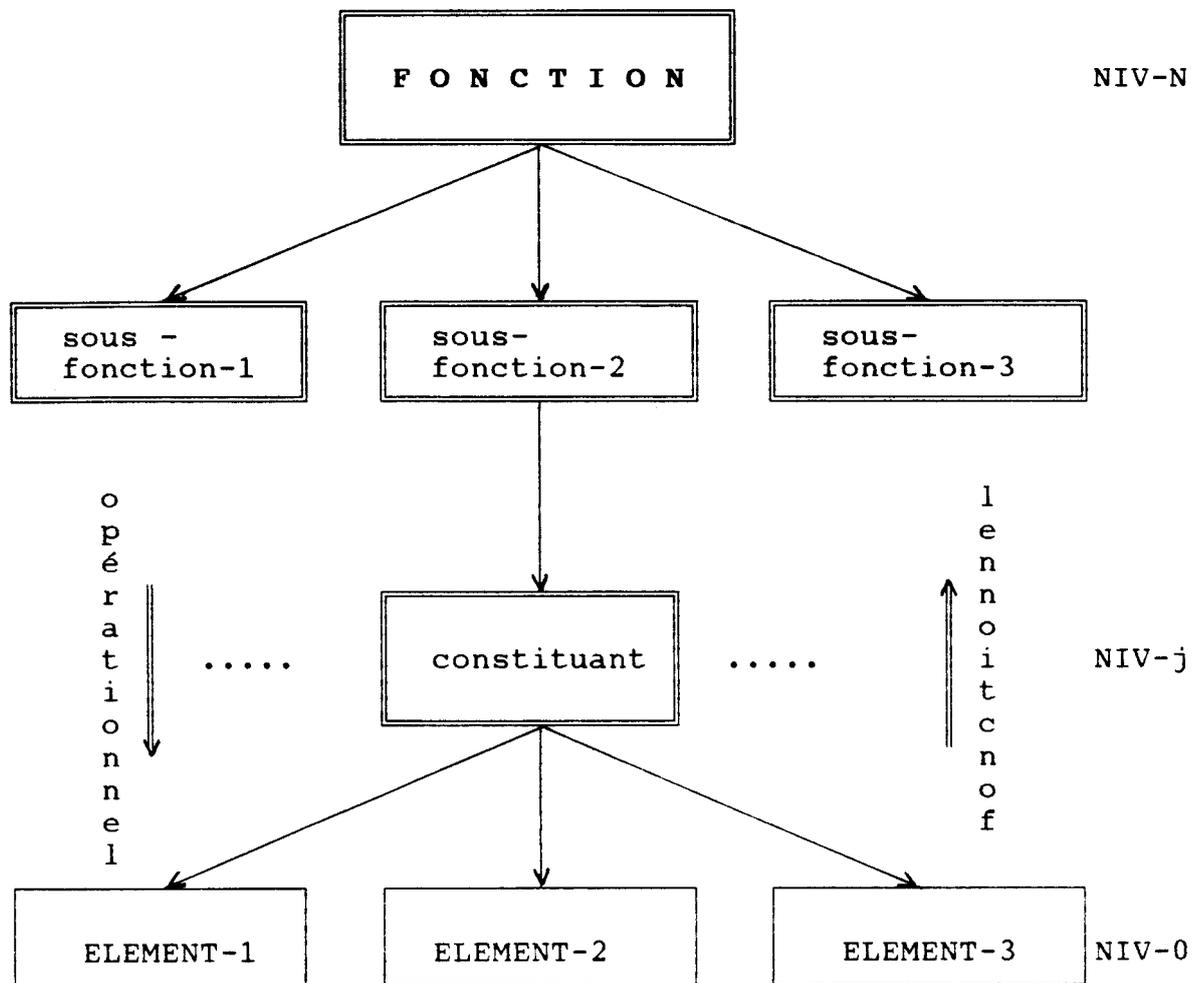


Figure 4 : Représentation conceptuelle du fonctionnement d'un processus

Afin de dégager une typologie des modes de fonctionnement, rencontrés lors d'une analyse fonctionnelle, nous définissons un attribut qui vise à caractériser la nature normale ou incidentelle du mode, cet attribut est lié en fait au caractère nominal ou non du fonctionnement du processus. Nous distinguons ainsi deux catégories principales :

- **mode de fonctionnement normal** : il s'agit de modes associés au fonctionnement normal du processus, que ce mode soit stable ou transitoire(*),
- **mode de fonctionnement incidentel** : c'est un mode pour lequel un au moins des objets recensés dans la structure fonctionnelle du processus, relative à un mode de fonctionnement normal, présente une potentialité inférieure à la potentialité minimale désirée dans ce mode.

nous avons donc la définition suivante :

ATT(mode de fonctionnement) = NORMAL
 $\Leftrightarrow \exists \text{OBJET}_i / \text{pot_OBJET}_i < \text{pot_OBJET}_i \text{ min}$

ATT(mode de fonctionnement) = INCIDENTEL
 $\Leftrightarrow \exists \text{OBJET}_i / \text{pot_OBJET}_i < \text{pot_OBJET}_i \text{ min}$

La valeur de cet attribut est en fait lié aux contraintes opérationnelles (voir §1-3-2) que chaque objet doit respecter.

(*) la stabilité d'un mode peut aussi être définie par un attribut, suivant la définition suivante :

- un mode stable est un mode pour lequel l'écart entre l'objectif à atteindre et l'objectif constaté peut être considéré comme constant,
- par opposition, un mode transitoire sera tel que cet écart est fonction du temps; nous pouvons donc traduire ces définitions de la manière suivante :

ATT(mode de fonctionnement) = stable
 $\Leftrightarrow |\text{objectif_référence} - \text{objectif_constaté}| \leq \text{cste}$
 ATT(mode de fonctionnement) = transitoire
 $\Leftrightarrow |\text{objectif_référence} - \text{objectif_constaté}| = f(t)$

1.3. Association matériel-fonctionnel

1.3.1. La description mécanique

Souvent lors de l'analyse des systèmes complexes on met, plus, l'accent sur la partie commande.

Le résultat de telle analyse est une structure pyramidale de la partie commande [TIT-79], alors que l'analyse du processus se résume, dans les meilleures des cas, à sa répartition en un certain nombre de sous-processus.

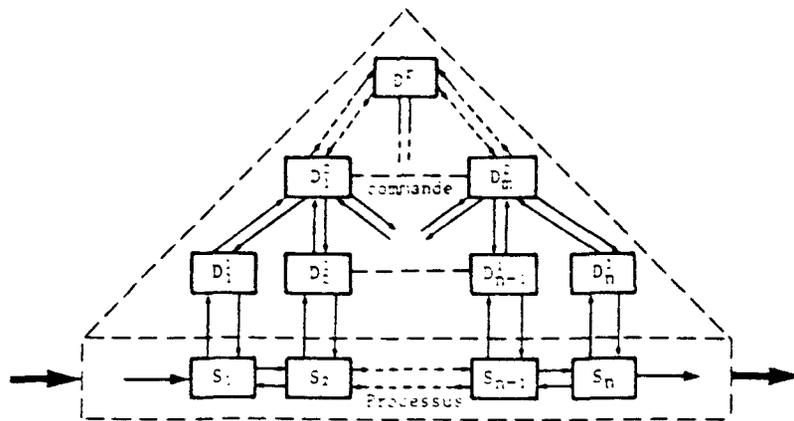


Figure 5 : Structure classique "système de commande-processus"

Il est évident que cette répartition ne prend en compte que le caractère typologique de l'installation, c'est donc une décomposition purement mécanique, et par ce fait, elle ne peut aboutir qu'à une description statique du processus.

Mais dans n'importe quelle installation industrielle les constituants mis en jeu ne sont pas inertes et n'opèrent pas d'une manière indépendante les uns des autres.

Il nous semble donc qu'une description dynamique du processus, permettant de mettre en évidence les interactions, des phénomènes physiques régissant le fonctionnement du processus..., est nécessaire.

Une description fonctionnelle du processus, d'une manière hiérarchique, nous paraît intéressante pour approcher le problème, étant donné que dans ce type de description nous pouvons mettre en évidence les relations fonction-matériel support, ainsi que leur coordination par des fonctions des niveaux supérieurs.

Le bon état d'un matériel est le garant de la réalisation de la fonction associée; omettre ce principe, revient à déconnecter le matériel de son contexte fonctionnel

Lors de l'analyse fonctionnelle nous devons veiller à ce que la méthode utilisée :

- favorise ce type de relation d'une part,
- prenne en compte les contraintes opérationnelles (voir § 1-3-2) d'autre part.

1.3.2. La notion d'architecture fonctionnelle et les contraintes opérationnelles

1.3.2.1 Définition des contraintes opérationnelles

Chaque mode de fonctionnement, appartenant aux modes de fonctionnement répertoriés, est caractérisé par des phénomènes physiques déterminant les conditions de fonctionnement du processus dans ce mode.

Si ces phénomènes ne sont pas respectés, on peut constater, soit :

- une dérive du fonctionnement du processus vers un autre mode de fonctionnement, ceci peut se passer sans à coup si la dérive est bien maîtrisée,
- un changement brutal de mode, ce qui en général n'est pas sans conséquences.

Par ce fait, nous préférons appeler ces phénomènes physiques "des contraintes opérationnelles", qu'il convient de respecter si on veut rester dans un mode donné.

Les contraintes opérationnelles sont de diverses natures, et varient d'un mode de fonctionnement à un autre et en fonction des objectifs assignés à l'analyse fonctionnelle elle même (production, sécurité ...), il nous semble donc impossible de traiter ce problème d'une manière efficace, nous nous contentons alors de donner quelques indications en s'appuyant sur des exemples simples.

Les contraintes opérationnelles expriment, en fait, les exigences fonctionnelles sur chaque matériel du processus, chapitre 5 du D.S.E), comme par exemple :

- le débit traversant le tuyau (x) doit être limité à une valeur de référence (en fonction de la température, pression, concentration du fluide ...),

- pour un clapet on peut s'intéresser par exemple, à son temps de fermeture (pour un but de maintenance par exemple), mais on peut aussi s'intéresser à ses couples (pression,débit), en son entrée et à sa sortie, pour un but de sécurité, vérification de son étanchéité, dans ce dernier cas nous pouvons schématiser le clapet par une diode.



Si $P_e > P_s \implies Q_e \neq Q_s$
 Si $P_e < P_s \implies Q_s = 0$

- la différence de pression entre les limites d'un circuit doit être limitée à une pression de référence,

- Le débit traversant un circuit parallèle doit être limité à une valeur de référence, de même qu'à l'intérieur de ce circuit, le débit dans chaque branche peut être lié par une relation linéaire au débit de référence et au débit maximal qui peut traverser la branche en question, etc.

D'une manière générale, Les contraintes opérationnelles se concrétisent par des relations du type :

$$H(z) \leq 0$$

avec $z = (x,y)$ variables du processus.

Ces relations sont établies, soit :

- à partir des valeurs, fournies par le constructeur, dans ce cas on parle de contraintes d'utilisation,
- à partir des variables ou de leur dérivées, qui proviennent des contraintes liées soit aux matériels, soit à l'environnement fonctionnel.

Finalement, un mode de fonctionnement est défini par un certain nombre de contraintes opérationnelles, si ces contraintes se sont pas respectées alors on change de mode.

1.3.2.2 Notion d'architecture fonctionnelle

Nous avons distingué dans § 1-2-3 deux catégories de modes de fonctionnement : normal et incidentel.

La catégorie de mode de fonctionnement normal regroupe un ensemble de modes. Nous pouvons envisager, pour une centrale nucléaire par exemple, les modes de fonctionnement suivants, liste non exhaustive :

- Arrêt,
- Démarrage,
- Ilotage, fonctionnement normal exceptionnel dû généralement à incident extérieur,
- Fonctionnement normal,
- Essais
- etc.

Ces modes peuvent être répertoriés, donc identifiés. Par contre dans la deuxième catégorie le choix des différentes situations incidentelles et par voie de conséquence des situations post-incidentelles nous paraît assez délicat. Ce qui suit ne concerne donc que la première catégorie.

Les modes de fonctionnement sont sélectionnés par l'opérateur ou imposés par des contraintes externes.

Quel que soit le mode de sélection, il y a passage d'un mode de fonctionnement à un autre (figure-6), et c'est l'une des problématiques de l'analyse fonctionnelle, car il faut prévoir les constituants du processus qu'il faut activer/désactiver d'une part, et les traitements à assurer d'autre part, sans oublier que la plupart des modes de fonctionnement précités peuvent se décomposer en sous-modes de fonctionnement, comme par exemple le mode arrêt, dans lequel on peut considérer :

- l'arrêt à chaud (mise en veille de la centrale pour un proche démarrage),
- ou l'arrêt à froid (lors de la mise hors service de la centrale pour une période de longue durée).

Le passage d'un mode de fonctionnement stable vers un autre, stable aussi, peut être exprimé par les trois conditions suivantes :

- définition du mode de fonctionnement initial et final,
- un intervalle de temps,
- et éventuellement un ensemble de trajectoire.

Ces mêmes conditions peuvent être utilisées pour l'identification d'un mode de fonctionnement transitoire normal.

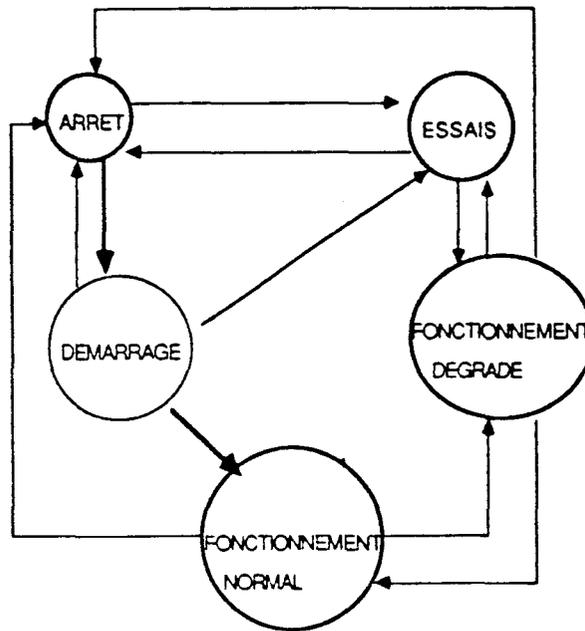


Figure 6 : Liens entre les différents modes de fonctionnement

A chaque mode de fonctionnement, répertorié, est associé une représentation de la structure fonctionnelle du processus qui est calquée sur le principe d'analyse hiérarchisée, décrit précédemment, l'ensemble de ces représentation constitue l'architecture fonctionnelle du processus.

Cette architecture peut être une macro-représentation du processus englobant toutes les représentations fonctionnelles relatives aux divers modes de fonctionnement, ou un ensemble de représentations individuelles avec leurs différents liens.

1.4 Utilisation du modèle

Les modèles obtenus, après analyse fonctionnelle, peuvent être exploités à plusieurs fins (spécification des automatismes de contrôle-commande, analyse des modes de défaillance ...), par ce fait le modèle doit :

- permettre l'identification des différentes fonctions du processus, en tenant compte des liens avec leurs matériels supports,
- mettre en évidence les variables nécessaires à l'exploitation et à la compréhension du fonctionnement du processus.
- permettre une description "situationnelle", étant donné que dans chaque mode de fonctionnement, ou sous-mode, on met en service des matériels et des fonctions différents. Ceci est nécessaire car les activités des processus que nous étudions ne sont pas toujours assurées "simultanément" par l'ensemble des sous-processus qui les constituent. Il peut y avoir, par exemple, deux sous-processus qui s'excluent mutuellement en fonction du mode de fonctionnement. Si SPi est en fonctionnement dans un mode donné SPj (qui remplit la même fonction que SPi mais dans un autre mode de fonctionnement) doit être en l'arrêt et vice-versa.

Généralement, dans un processus industriel :

- les objectifs à satisfaire se propagent du haut en bas, donc le caractère hiérarchique est essentiel dans un tel modèle,

- alors que les défauts prennent généralement naissance au niveau le plus bas et se propagent vers les niveaux supérieurs, par ce fait, les modèles fonctionnels peuvent être utilisés sur deux plans :

- * sur un plan, ils serviront au suivi de la réalisation des objectifs formulés aux niveaux élevés, parcours des modèles du haut en bas,

- * sur un autre plan, ils serviront de base à l'élaboration de synoptiques permettant d'évaluer, au moins grossièrement, les conséquences d'une défaillance, en terme de menace sur les fonctions de niveau supérieur. Cette deuxième utilisation nous permet aussi de disposer d'informations synthétiques.

2. ETAT DE L'ART

Il existe assez peu de publications concernant directement le problème de la méthodologie d'analyse fonctionnelle d'un P.I.C, cependant il est tout d'abord essentiel de trancher entre les deux principales approches qui existent : l'approche ascendante ou l'approche descendante,

2.1. L'analyse descendante et ascendante

2.1.1. L'analyse ascendante

L'utilisation d'une stratégie ascendante se révélerait en pratique inacceptable [TIT-79], car ceci suppose une concentration de l'effort initial d'analyse sur un seul constituant ou sous-processus relativement bien connu. Leur variété rend impossible la modélisation du fonctionnement de tout le processus dans tous ses détails.

La première structure est obtenue par interconnexion de ces sous-processus, elle peut être elle même une sous-structure d'une structure d'un niveau supérieur et ainsi de suite.

Un tel cheminement est inadapté, pour les raisons suivantes :

- Les connexions de chaque sous-structure avec son environnement sont déterminées, a priori, sans connaissance de cet environnement, des retours en arrière sont alors nécessaires et ceci à chaque niveau,
- les erreurs sur le choix du niveau d'agrégation n'apparaîtront que beaucoup plus tard, il se révélera : soit insuffisant compte tenu des besoins des autres structures soit trop fin, il aura accru la complexité de façon inutile.

2.1.2. L'analyse descendante

Une stratégie descendante est en fait la seule cohérente avec l'esprit "problèmes complexes" (analyse de processus, système technique, social, économique), car le problème y est envisagé globalement dès le début.

Cette démarche est intéressante, car elle intègre la plupart des concepts de structuration développés précédemment :

- la modularité, l'approche descendante favorise celle-ci, étant donné que l'analyse se déroule par décomposition, qui est l'un des principes de la modularité,

- la hiérarchisation, La démarche est descendante, le processus est vu dans un premier temps comme un seul module "abstrait" ou comme une seule entité de transformation au sens de LIND (cf chapitre 3), ensuite par raffinements successifs nous aboutissons à une dernière étape décrivant une structure modulaire hiérarchique.

2.2. Les outils d'analyse fonctionnelle

Les travaux concernant cet aspect ont été développés, mais généralement ce ne sont que des travaux ponctuels, et par conséquent ils ne couvrent pas tous les besoins et/ou les contraintes d'analyse fonctionnelle des processus.

Nous pouvons cependant noter que certains travaux ont tendance à développer une approche plus structurée des problèmes d'automatisation d'une manière générale [CAL-82], [DUF-86], [PTA-87] ...

La plupart des techniques utilisées pour l'analyse fonctionnelle des processus font appel à des concepts basés sur quelques principes de structuration, parmi ces techniques nous distinguons trois catégories :

* une technique universelle : SADT,

* des techniques dérivant directement de SADT, c'est :

- la méthode GRAI [DUF-86], /GRI et al 85/,

- LHOSTE [LHO-85], GUINET [GUI-88],

- ASA : Analyse de Spécification et Automates , développé par VERILOG, celle-ci permet la spécification de contrôle-commande. ASA est développée autour de deux outils : IDEF0, outil de modélisation statique type SADT, complété par un outil de modélisation dynamique, à base d'automates communicants.

* des techniques ciblées analyse des processus BOND GRAPHS /THO et al 75/ et "FLOW-MODEL" [LIN-79].

3. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons essayé de poser les problèmes liés à l'analyse fonctionnelle des P.I.C, ces problèmes sont exprimés principalement sous trois aspects :

- **Aspect structuration de l'analyse** permettant d'étudier plus efficacement les processus complexes, en tenant compte : de leur complexité (par la hiérarchisation), de leur constituants communs (par la modularité) et de leur différentes configurations (par les modes de fonctionnement).

- **Aspect dynamique** en mettant l'accent sur les liens fonction/matériel d'une part et en tenant compte des contraintes opérationnelles d'autre part.

- **Aspect utilisation du modèle**, obtenu après l'analyse, ce qui nous a conduit à esquisser des concepts pouvant être à la base d'une méthode d'analyse fonctionnelle.

Dans les chapitres suivants, nous présentons tout d'abord SADT vis-à-vis de l'analyse fonctionnelle des processus industriels, à cause de son intérêt structurel, puis les grandes lignes de "FLOW-MODEL", chapitre 3, la méthode que nous conseillons pour l'analyse fonctionnelle des processus et finalement son application dans le chapitre 4.

CHAPITRE 2 : LA METHODE SADT

1. Introduction

S.A.D.T est une méthode bien définie avec ses règles ses concepts [cf, annexe 1], et qui est utilisée dans plusieurs disciplines, en particulier dans la spécification des grands systèmes. Elle permet de bien comprendre le problème posé avant de chercher à en concevoir une solution.

2. SADT et la structuration

L'analyse de tout problème est généralement menée de manière descendante et linéaire, cf figure-7.

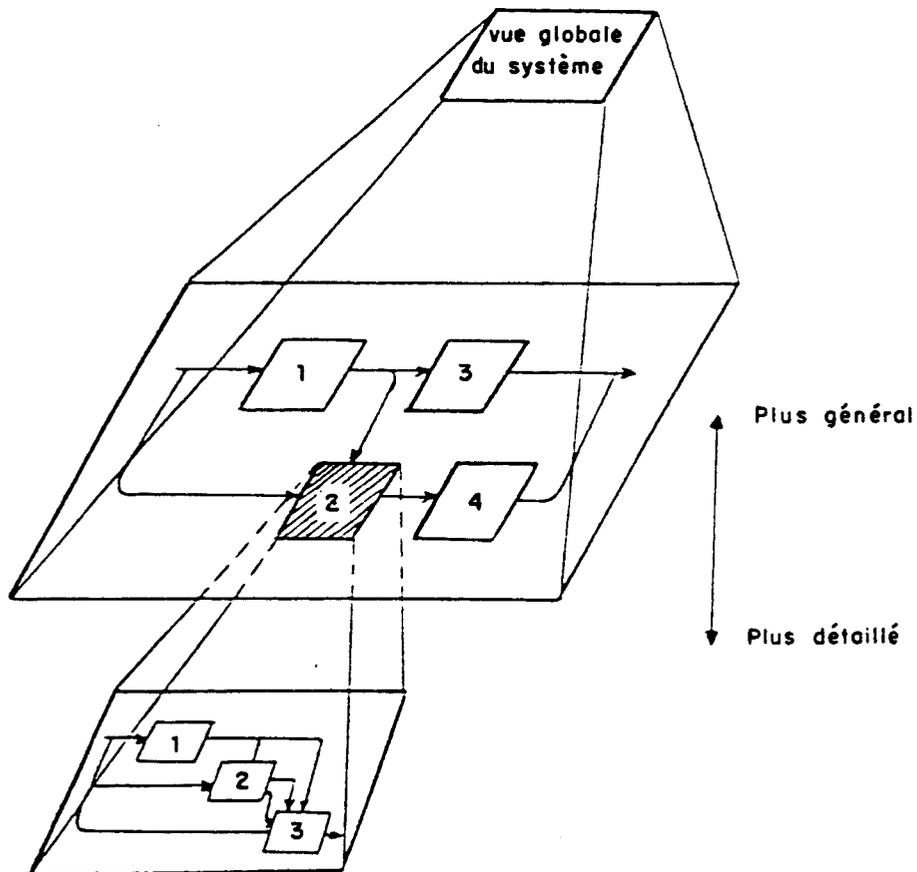


Figure 7 : Structure hiérarchique des diagrammes SADT

SADT, dans un mode de fonctionnement donné, met facilement en évidence l'ensemble des fonctions (et leur hiérarchisation) qui représentent les activités d'un processus et en même temps les liens entre fonctions et matériels support (processus, sous-processus ...) de plus en plus explicites au fur et à mesure qu'on descend dans la structure.

La représentation planaire de SADT, dans chaque niveau, est intéressante, car la hiérarchie est aussi bien respectée du côté alignement des verbes (activités) que du côté des données ou des contraintes (flèches entrantes).

3. SADT et l'analyse du fonctionnement

Lors de l'analyse fonctionnelle on a besoin de définir les différents modes de fonctionnement d'un processus ou les différents modes opératoires d'une même fonction. SADT étant une méthode linéaire (manque des moyens de choix), pour prendre en compte le choix des modes, deux possibilités sont envisageables :

- prendre en compte l'ensemble des modes de fonctionnement, ce qui n'est pas pratique, puisque il faut démarrer l'analyse par un niveau décisionnel très élevé. De plus le résultat de l'analyse sera un nombre très important de folios.

- l'autre possibilité, conduit à faire l'analyse mode de fonctionnement par mode de fonctionnement, ce qui peut poser un problème de coordination dans l'analyse et finalement de gestion des structures obtenues.

Mais quelle que soit la structure obtenue, elle n'est qu'une représentation STATIQUE DU FONCTIONNEMENT du processus. Ceci est loin d'être satisfaisant pour une analyse fonctionnelle du processus, qui se veut être dynamique.

Une représentation du fonctionnement dynamique nécessite donc un enrichissement du modèle en associant à chaque module des traitements, un tel enrichissement est réalisé dans le logiciel ASA par exemple.

Il n'est pas possible d'exploiter le modèle, obtenu, à des fins de contrôle-commande. En effet, les informations nécessaires dans ce cadre ne sont pas incorporées dans le modèle et en particulier les informations concernant l'état des constituants du processus.

Un autre modèle est nécessaire pour les faire paraître, citons à ce sujet les travaux de LHOSTE [LHO-85], qui consacre une étude complémentaire pour le matériel support, sous-forme de "mécanigramme", ce qui nécessite de distinguer la description fonctionnelle de la description des mécanismes supportant une fonction.

Même en tenant compte de cette complémentarité, le modèle global doit être enrichi pour prendre en compte l'état de ces matériels supports, et exprimer les rapports entre le bon état d'un élément et la bonne ou mauvaise exécution de la fonction associée, mais il n'existe pas actuellement de logiciel pouvant combler cette lacune.

4. Utilisation du modèle SADT

SADT est avant tout une méthode d'aide, qui permet à un groupe de personnes de se mettre plus au moins d'accord sur les différentes activités du sujet traité.

Chacun des participants peut y trouver son compte sans qu'il soit pour autant tout à fait d'accord sur le nombre de folios, le nombre d'activités de chaque folio, les verbes employés pour désigner chaque activité, le nombre de flèches ...

Le résultat de cette analyse est un ensemble de folios dont le nombre est imprévisible avant l'étude, ainsi que le contenu de chaque folio (le nombre d'activités de chaque folio).

Nous pouvons avancer, par exemple, que si N personnes indépendantes doivent faire une même analyse quelconque par SADT, il y aura au moins N représentations différentes.

Ceci est dû à la principale difficulté de la méthode SADT : à quel niveau doit-on arrêter la décomposition d'un processus?. Généralement la décomposition s'arrête lorsque les fonctions élémentaires obtenues peuvent être considérées comme bien connues par les différents utilisateurs de la méthode.

On constate alors que la méthode conserve un certain empirisme en ce qui concerne les critères d'arrêt de la décomposition (décomposition verticale) ce qui est vrai aussi lors de la décomposition d'une activité en ses sous-activités (décomposition horizontale). Il est à remarquer que les deux types de décomposition sont fortement liées.

Contrairement au concept hiérarchique linéaire de SADT, lors de l'analyse fonctionnelle d'un processus, on doit mettre en évidence un double sens pour parcourir le modèle, cf 1-4.

Si SADT satisfait pleinement le parcours dans le sens descendant (de l'abstrait vers le concret) il n'en est pas de même dans l'autre sens (ascendant). Il est pratiquement impossible de partir d'un niveau bas pour déterminer ses liens avec les niveaux supérieurs.

5. Conclusion

La structuration est le concept le plus intéressant de la méthode. On peut considérer SADT, dans l'ensemble, comme une méthode suffisante, mais à enrichir, pour une description de l'ensemble des activités (fonctions) représentant le fonctionnement d'un processus.

Mais il ne faut pas perdre de vue que S.A.D.T n'est qu'une méthode d'aide ou de support de réflexion, pour structurer des idées et faciliter les échanges d'informations entre plusieurs personnes, elle facilite par ce fait le travail d'équipe.

C'est une méthode, se voulant plus universelle, pourvue d'un outil graphique. Celui-ci, même s'il est bien codifié, reste très général, ses règles d'utilisation sont avant tout des règles syntaxiques qui ne peuvent prétendre à la validation de la structure obtenue, pour une application donnée.

Finalement SADT est une méthode de structuration plutôt que d'analyse fonctionnelle, par ce fait elle satisfait un seul critère sur les trois intéressants pour le choix d'une méthode d'analyse fonctionnelle.

CHAPITRE 3 : LA METHODE "FLOW-MODEL"

3.1. INTRODUCTION

L'analyse fonctionnelle est le maillon nécessaire pour l'étude du fonctionnement des processus complexes, et de leur système de contrôle-commande. Pour mener à bien ces études une méthode d'analyse est souhaitable.

La méthode développée par MORTIN LIND [LIN-82] peut apporter une solution partielle au problème posé par l'analyse fonctionnelle, c'est la méthode dite de "FLOW-MODEL".

La méthode "FLOW-MODEL" prise dans son état initial est considérée comme un moyen de dialogue entre les tenants du fonctionnement (les gens chargés de la modélisation et des études de fonctionnement du processus) d'une part, et les tenants du contrôle-commande d'autre part, comme le montre la figure ci-dessous.

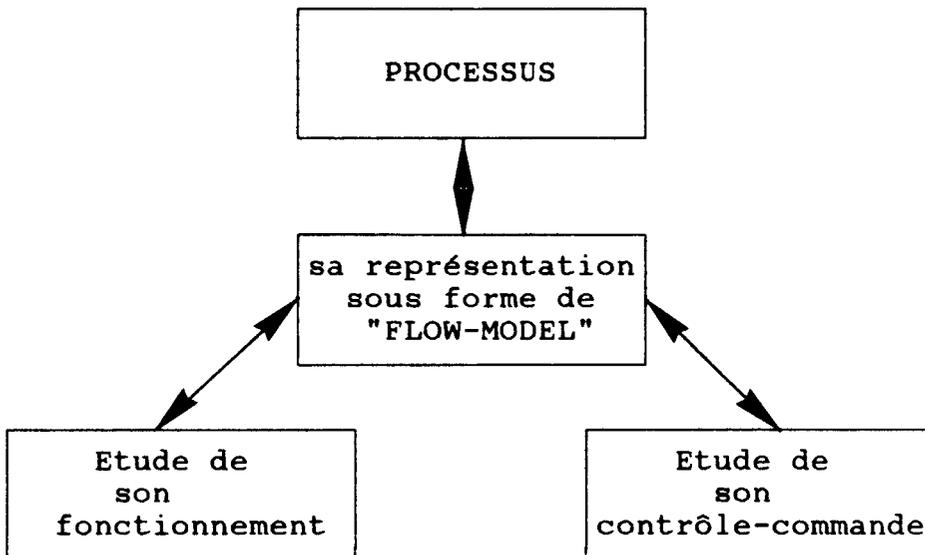


Figure 8 : Position de "FLOW-MODEL" par rapport aux autres études

La méthode "FLOW-MODEL" permet la représentation et la description thermodynamique du processus.

Elle est basée principalement sur la représentation des transferts d'énergie et de masse entre les différents constituants du processus.

"FLOW-MODEL" est un outil graphique permettant la représentation et l'organisation hiérarchisée des objectifs, des fonctions, des circuits et des composants qui forment un processus, comme le montre la figure-9. Elle met, par ce fait, en évidence l'image mentale que possède l'opérateur de son installation.

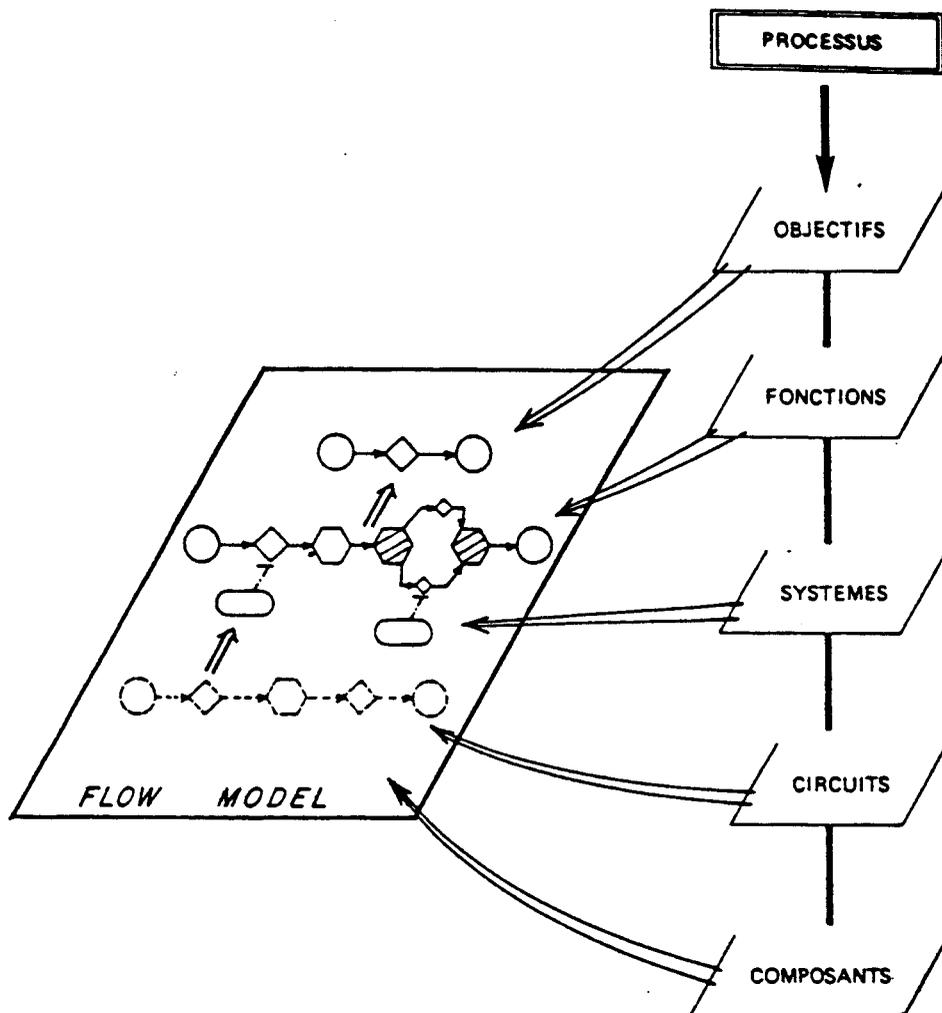


Figure 9 : Relation entre le processus et sa représentation par "Flow-Model" [TYR-83]

Le "FLOW-MODEL" du processus complet est un ensemble de "FLOW-MODEL" élémentaires, chacun d'entre eux obéit au concept général de la méthode, à savoir que : chaque "FLOW-MODEL" doit satisfaire un objectif.

Nous décrivons ici l'ensemble de ces concepts ainsi que leur utilité vis-à-vis de l'analyse fonctionnelle, avant de passer à l'application dans le chapitre suivant.

3.2. PRESENTATION DE LA METHODE

3.2.1. DESCRIPTION DU PRINCIPE

La méthode "FLOW-MODEL" s'appuie sur une modélisation essentiellement qualitative, des transferts de masse et d'énergie entre les différents constituants d'un processus. Par ce fait, les concepts de base de la méthode sont étroitement liés aux phénomènes thermodynamiques, qui régissent le fonctionnement de chaque constituant du processus.

Le but principal de "FLOW-MODEL" est la description de la structure fonctionnelle du processus à partir, de l'interconnexion d'un ensemble de structures élémentaires de transformation ou de transfert de masse et d'énergie, et ce, aux différents niveaux d'agrégation fonctionnels ou matériels, avec une limitation au strict minimum des entités de base manipulées, que nous rappelons dans la figure 12 et que nous définissons ci-dessous.

Nous distinguons deux types d'entités :

*** les entités liées à la description du processus :**

- **stockage** : représente la propriété d'accumulation de masse ou d'énergie d'un constituant, le paramètre caractérisant son état ou son fonctionnement est le niveau de masse ou d'énergie accumulé par le constituant, ce paramètre peut être un vecteur dans le cas d'un constituant complexe (stockage de plusieurs matières, par exemple).
- **transport** : représente la propriété de transfert de masse ou d'énergie entre deux sous-processus, elle est caractérisée par le débit ou la vitesse d'écoulement de la matière transférée.
- **distribution** : représente le pouvoir "balance" d'un constituant, entre les circuits d'entrées et de sorties, il peut être caractérisé par une matrice indiquant ces rapports de distribution.
- **barrière** : propriété d'un circuit d'empêcher le transfert de la matière ou de l'énergie entre deux circuits.
- **source/puits** : représente un circuit à capacité de stockage ou de soutirage infinie. C'est un circuit non réalisable physiquement, mais c'est une représentation qui peut être satisfaisante dans la majorité des cas : grand réservoir, rivière, atelier de stockage de matière première...

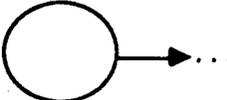
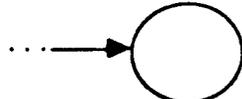
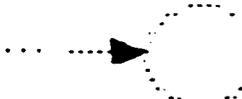
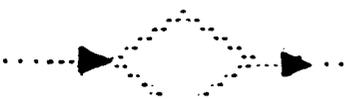
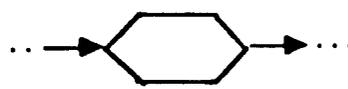
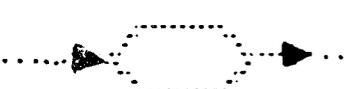
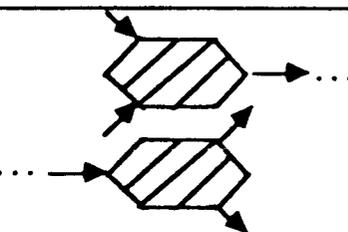
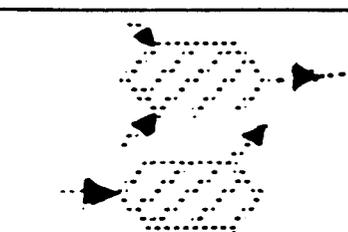
ENTITES	<i>symboles</i>	
	MASSE	ENERGIE
Source		
Puits		
Transport		
Stockage		
Distribution		
Barrière		

Figure 10 : Les différents symboles utilisés dans "FLOW-MODEL"

*** les entités informationnelles :**

Ces entités jouent le rôle de liaisons entre deux niveaux fonctionnels de "FLOW-MODEL", on rencontre :

- **Les conditions :** Elles sont représentées par un "T" cassé. les conditions portent sur l'ensemble des valeurs d'une variable, ces valeurs dépendent du cas actuel de fonctionnement.

N'importe quelle variable du processus peut être choisie, comme par exemple : les variables de température, de pression, de niveau Etant donné que chaque "FLOW-MODEL" assure un objectif, pour satisfaire ce dernier, il faut assurer ou contrôler une ou plusieurs conditions.

- **Les fonctions support :** une condition est réalisée par une fonction, notée fonction support, et cette fonction est représentée par le "FLOW-MODEL" du niveau inférieur.

A chaque fonction est associée une variable, celle-ci représente l'objectif du niveau inférieur et en même temps une condition à satisfaire pour assurer l'objectif du niveau supérieur.

Un objectif est rempli par une ou plusieurs fonctions, par ce fait la fonction est à considérer comme la concrétisation d'un objectif.

- **flux d'information :** représente le lien entre condition et fonction support ou "FLOW-MODEL" du niveau inférieur,

- **décomposition/agrégation :** double flèche séparant une fonction support et un "FLOW-MODEL" ou deux "FLOW-MODEL" de niveaux différents,

Remarque :

- Les différents symboles graphiques, représentant des processus, sous-processus, matériels, sont nommés des noeuds.

- Les liaisons horizontales représentent les flux de matière, se sont des variables physiques.

- Les liaisons verticales représentent les flux d'information, destinés aux systèmes de contrôle-commande, ce sont les variables "conditions".

3.2.2. DESCRIPTION DES REGLES DE REPRESENTATION

Nous rappelons dans ce paragraphe les principales règles d'application et quelques concepts de base de la méthode. Pour plus de détails, on peut se reporter aux documents [LIN-82] et [TYR-83].

3.2.2.1 Une vue générale sur la représentation "FLOW-MODEL"

L'arbre obtenu après analyse fonctionnelle par la méthode F.M, n'est qu'un ensemble de F.M élémentaires chacun d'entre eux assure un objectif élémentaire.

La figure 11 représente une structure typique, obtenue par application de la méthode "FLOW-MODEL", nous constatons que la représentation est structurée par niveaux, liés par des conditions, fonctions ...

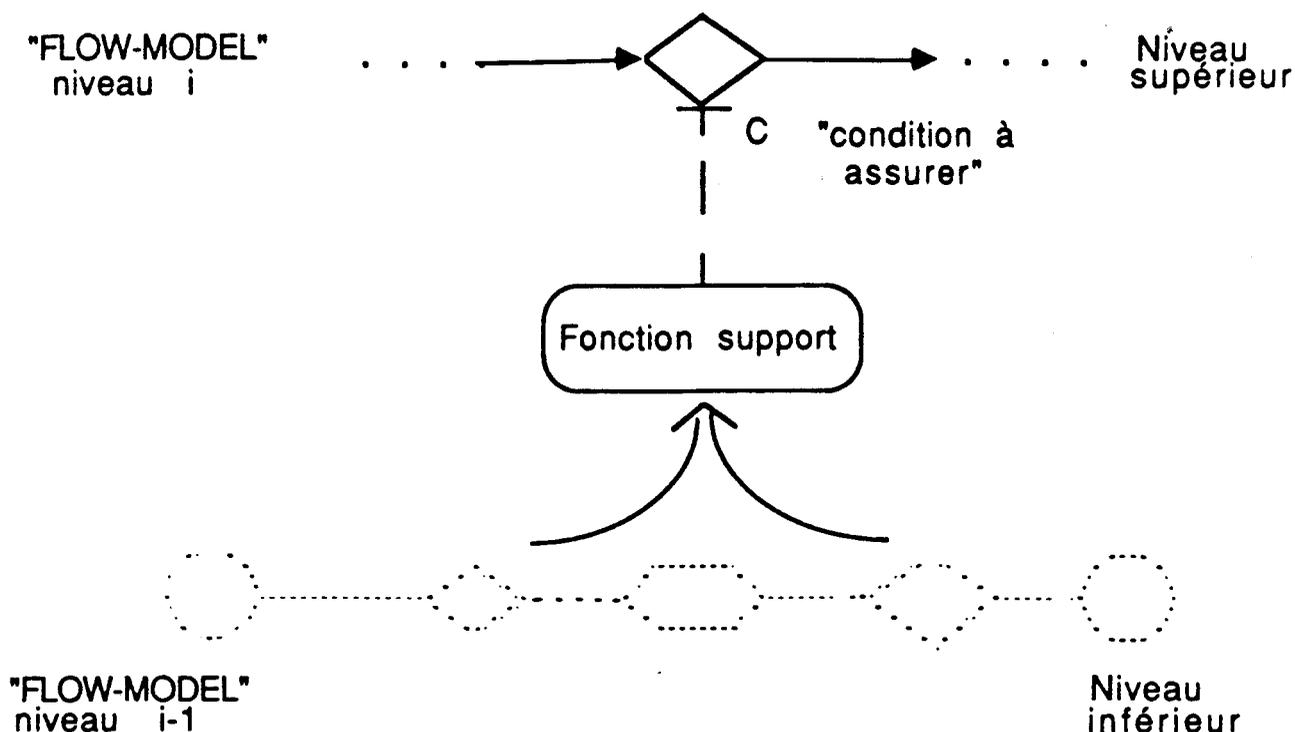


Figure 11 : Notions de base de "FLOW-MODEL"

3.2.2.2 condition de réalisation d'un noeud

Lorsque plusieurs conditions sont nécessaire pour la réalisation d'un noeud, il peut y avoir différents types de liens entre ces conditions et le noeud.

- liens directs :

si les conditions sont de natures différentes (analogiques, logiques) ou analogiques mais d'unités incompatibles, l'objectif ne sera atteint que si les différentes conditions sont réalisées une par une.

L'objectif_réalisé si : $C1 \cdot C2 \cdot C3 \equiv \text{vraie}$

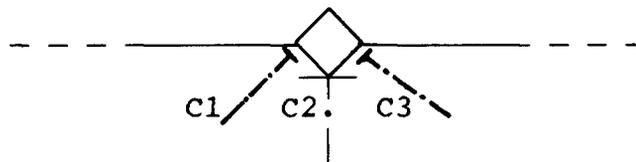


Figure 12 : Liens directs

- liens indirects :

dans le cas où les différentes conditions sont de natures identiques ou comparables, on peut les combiner entre elles moyennant des portes logiques afin d'avoir des conditions plus synthétiques.

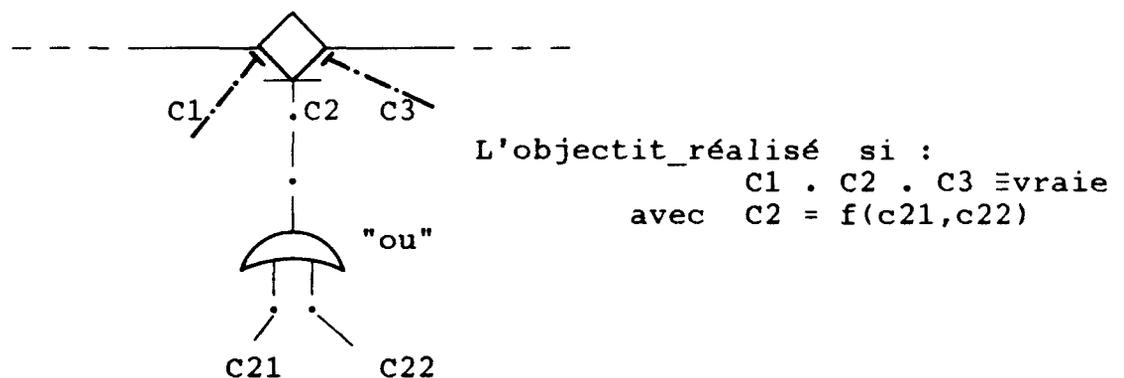


Figure 13 : Liens indirects

Remarque : Le "ou" logique exprime soit une redondance matérielle (passive), soit une redondance fonctionnelle, c'est à dire, une fonction est réalisée par un circuit ou par un autre suivant un mode de fonctionnement par exemple.

3.2.2.3. Les modes de liens

La satisfaction d'un objectif principal passe par la satisfaction de ses subordonnés. Par ce fait, il nous faut préciser leur association. Il existe deux modes de liens entre les "FLOW-MODEL" de deux niveaux successifs:

1 . Le mode " CONDITION "

Ce mode fait apparaître en clair la condition à assurer ou "la variable à contrôler", pour assurer un transfert correct, par exemple, entre une source et un puits.

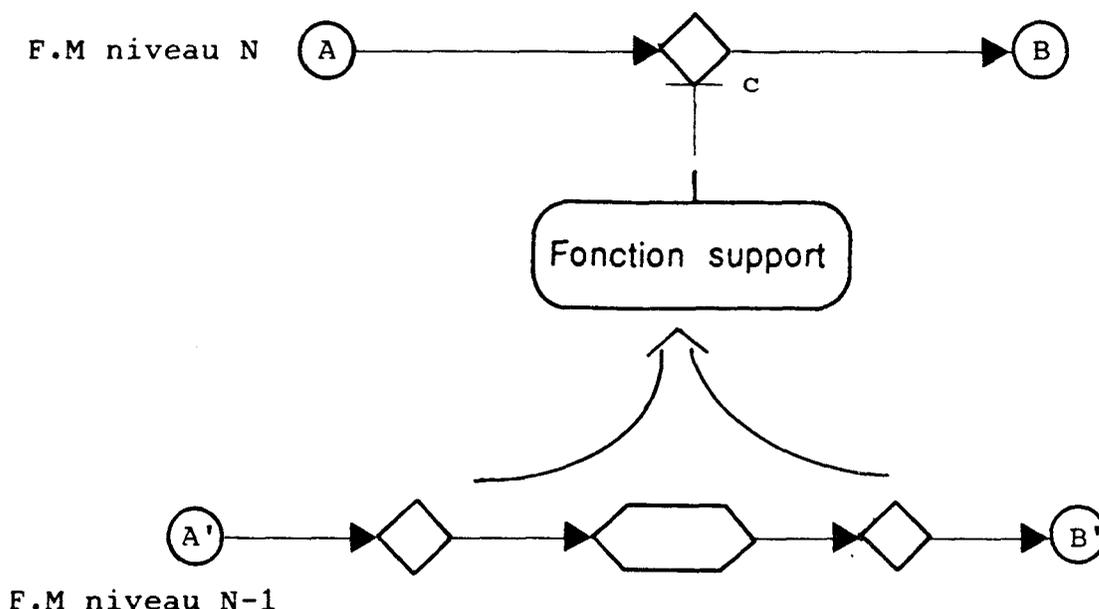


Figure 14 : Lien en mode condition

NOTA :

si plusieurs conditions sont nécessaires, pour satisfaire l'objectif du niveau N, alors les sources (A, A') et les puits (B, B') pourront être différents

Cette condition est toujours réalisée par une fonction support ; cette dernière est représentée par un F.M du niveau inférieur, dont l'objectif est la condition elle même, citée ci-dessus. La figure 14 illustre ce mode.

Il est à noter que ce mode est très important, parce que c'est le seul qui permet le passage d'un F.M en masse à un autre en énergie (et réciproquement), étant donné que les variables physiques régissant le fonctionnement de chaque type de F.M ne sont pas compatibles entre elles.

2. Le mode " DECOMPOSITION / AGREGATION "

On retrouve dans ce mode le caractère hiérarchique de la méthode, dans un niveau N on ne présente qu'une seule entité transport qui est éclatée dans le niveau N-1, ce mode est illustré par la figure 15 ci-dessous.

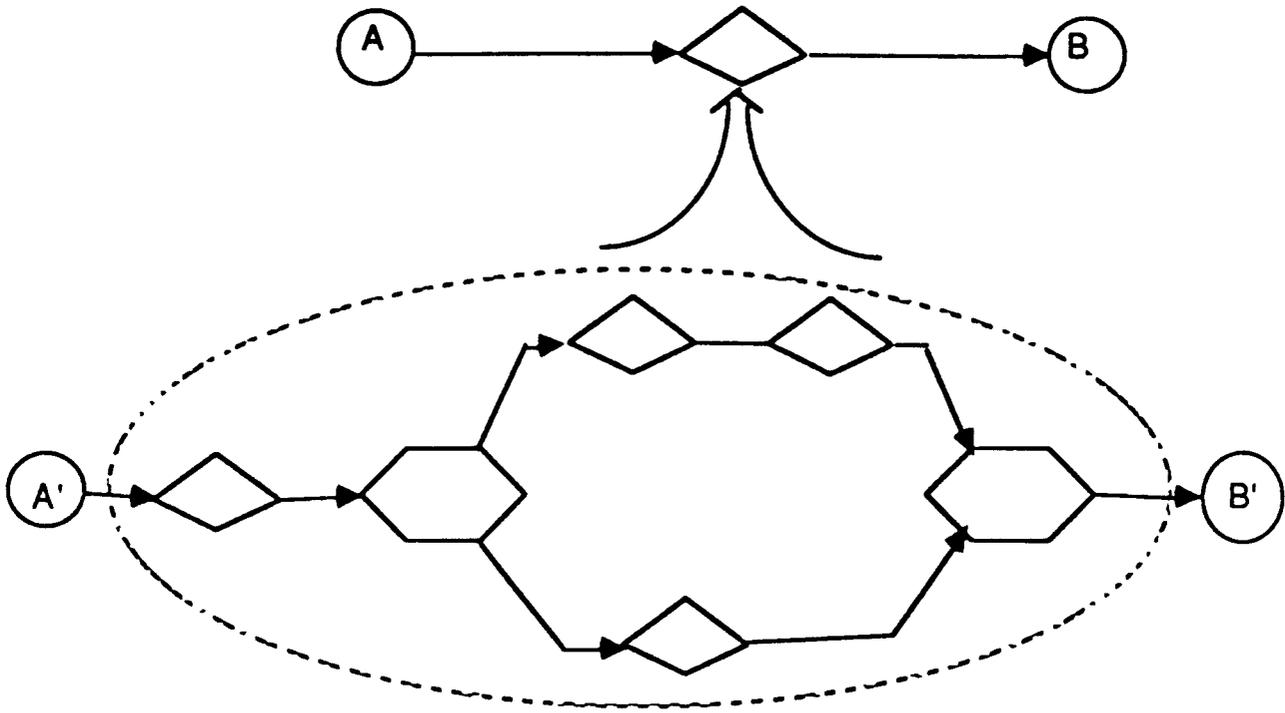


Figure 15 : Le lien en mode décomposition/agrégation

NOTA :

Ici les sources (A,A') et les puits(B,B') sont respectivement identiques.

3.2.2.4 Amélioration ou amendement du " FLOW-MODEL "

La méthode "FLOW-MODEL" s'appuie sur le transfert de masse et d'énergie, ceci sous-entend une continuité dans la représentation des différents constituants du processus étudié, Il s'agit donc d'un découpage purement matériel.

Ce découpage est généralement pratiqué entre une source et un puits, ceci n'est pas toujours possible et quelquefois n'est pas souhaitable.

Si pour des besoins d'une étude, cf chapitre-4, nous souhaitons avoir une séparation nette entre les matériels en interaction directe avec une fonction du S.C.C (une chaîne de régulation, par exemple) et les constituants du processus qui ne subissent aucune action, ni directe ni indirecte, de la part de cette fonction, on constate que les entités de base de la méthode "FLOW-MODEL", cf figure-10, ne permettent pas de répondre à ce besoin.

En effet, pour satisfaire ce besoin, on doit pratiquer un découpage qui relie le matériel et le fonctionnel; un tel découpage faciliterait alors la localisation de toutes les mesures concernant la fonction en question. C'est on fait un regroupement des informations corrélées qui pourrait être intéressant lors de l'élaboration des traitement automatisés, comme par exemple des mesures qui interviennent dans la même boucle de régulation...

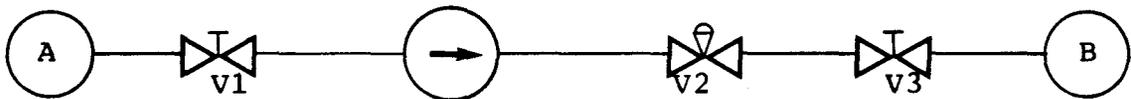
Pour avoir une continuité et une interprétation correcte de notre représentation, on est amené à ajouter une nouvelle entité à celles représentées dans la figure 12, dont le nom est *coupure*.

Son symbole est un triangle avec un numéro; c'est ce numéro qui nous permet de trouver la partie sectionnée.

Désormais la présence d'un triangle dans un "FLOW-MODEL" nous prévient qu'il y'a une discontinuité et le circuit manquant sera représenté par un F.M élémentaire et délimité par deux triangles portant le même numéro.

Nous traitons ci-après un exemple d'application de cette nouvelle entité. On considère dans cet exemple un processus de transfert de masse, d'une manière modulée.

La variable caractérisant ce transfert étant le débit du fluide.



On constate, qu'on est en présence de deux types de fonctions indépendantes mais complémentaires:

- *la fonction alignement*. Elle doit assurer un alignement correct, pour permettre un bon transfert entre A ET B; cette fonction est remplie par les deux vannes d'isolement V1 et V3.

- *la fonction modulation du débit*. Elle est assurée par la pompe et la vanne réglante V2. Cette modulation peut être réalisée pour satisfaire des besoins internes au circuit, pression dans A, niveau dans B..., ou des besoins externes au circuit.

L'indépendance de ces deux fonctions nous permet de scinder le modèle du niveau supérieur en deux "FLOW-MODEL" élémentaires.

Leur séparation ne pose aucun problème (voir figure 16 ci-dessous) puisque la nouvelle entité permet, à tout observateur ou utilisateur du modèle, de localiser la position de chaque F.M élémentaire déconnecté de sa place d'origine, et cela, même sans aucune connaissance sur la structure réelle du processus étudié.

D'après ce simple exemple, nous faisons remarquer qu'il y a des fonctions qui sont spécifiques au processus analysé : modulation de débit, alignement des vannes d'isolement, et d'autres qui peuvent être standards comme, par exemple : la mise en oeuvre d'une vanne réglante, contrôle de position d'une vanne TOR ... Chacune de ces fonctions doit assurer une condition issue des caractéristiques du constituant réalisant cette fonction.

C'est un concept fort important de F.M qui rejoint en fait celui de la modularité.

Si nous pouvons disposer d'une base de données, dans laquelle sont décrites les fonctions de contrôle de chaque type de vanne, de pompe ..., l'analyse fonctionnelle consistera à décrire des niveaux fonctionnels supérieurs, c'est à dire leurs objectifs et leurs fonctions supports.

Lorsqu'on cherche à décrire l'enchaînement dynamique des activités d'un processus, plutôt qu'à définir l'ensemble de ses activités, l'application de la méthode "FLOW-MODEL", n'est pas immédiate. En effet, la méthode présente certaine limitation ou faiblesse, comme par exemple :

1 - Son caractère statique,

2 - Son aspect informationnel : les variables qui régissent le fonctionnement d'un processus sont rarement explicitées, la faiblesse de "FLOW-MODEL" tient en plus à l'imprécision sur le rôle et sur la nature des relations entre les rares variables explicitées, donc :

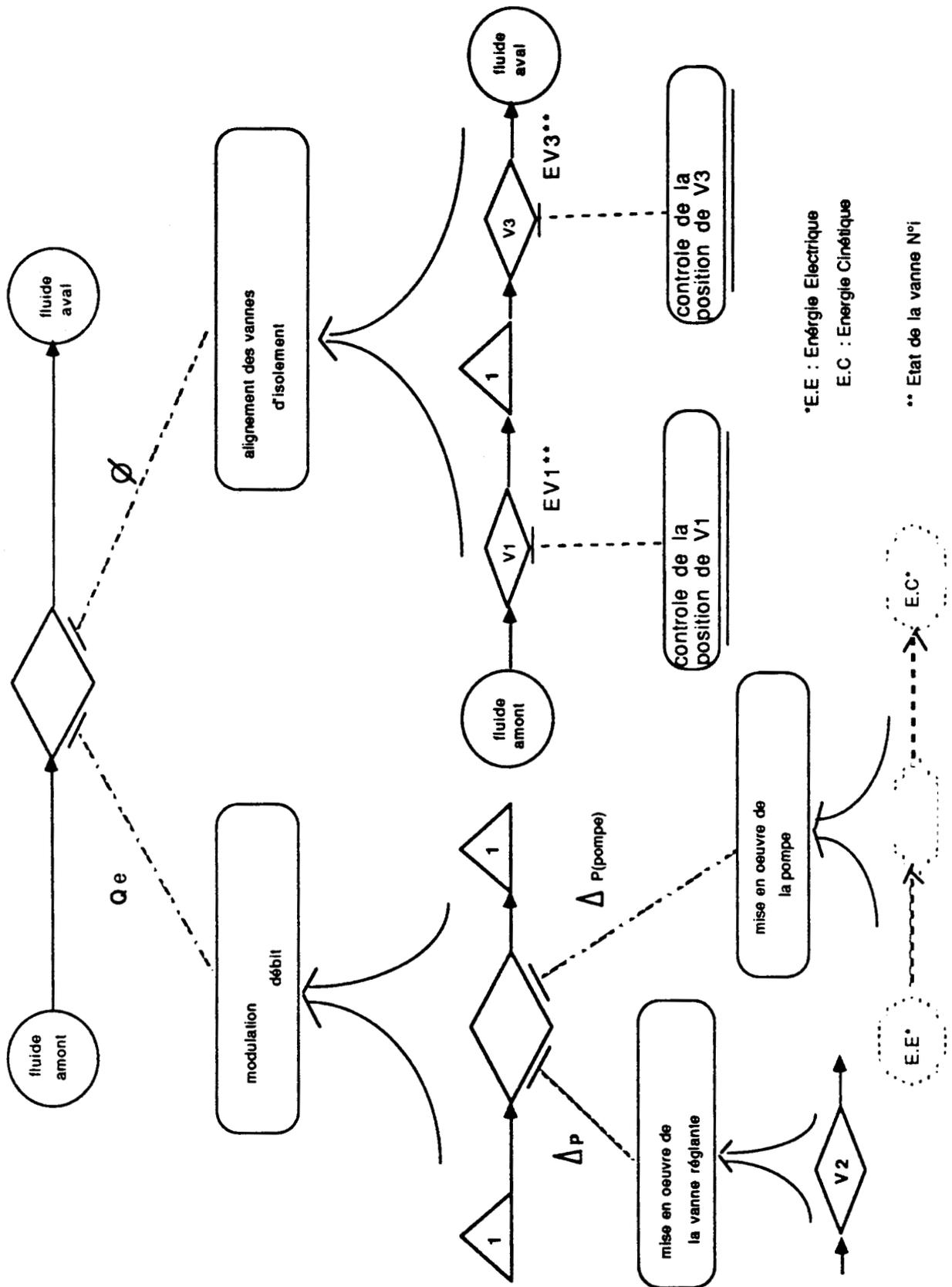


Figure 16 : Exemple d'application de la méthode "FLOW-MODEL"

Si on veut aboutir à une structure de modèle orienté vers l'étude dynamique, une amélioration de la méthode du côté informationnel est nécessaire, de même que la recherche et la classification des variables sont primordiales.

Pour pallier à ces inconvénients, nous proposons deux recommandations :

* la première recommandation est la distinction fondamentale entre variables contribuant à l'élaboration de l'état des constituants du processus et variables de flux (physiques) :

- les premières sont les variables associées aux liaisons verticales dans les "FLOW-MODEL" (cf § 3-2-1) donc, les variables conditions.

- les variables physiques, inexistantes dans les concepts de base de la méthode, sont les variables que nous associerons aux liaisons horizontales dans les "FLOW-MODEL", comme le montre la figure 17. Une variable de flux est analogue à : une pression, un débit..., elles représentent les variables physiques mesurables ou observables du processus

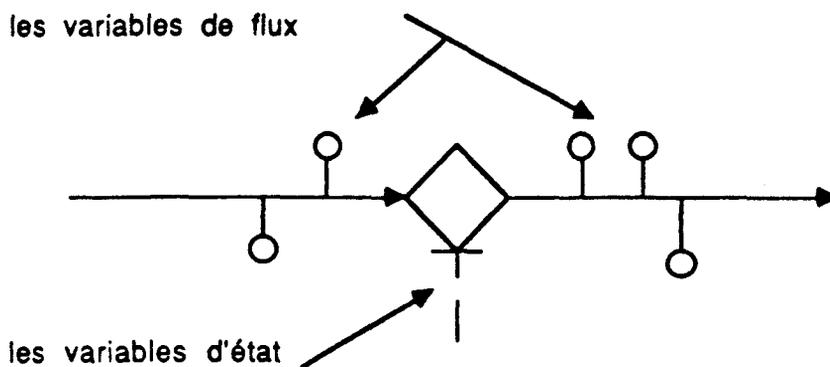


Figure 17 : Les variables dans une structure "FLOW-MODEL"

* la deuxième recommandation : est l'élaboration d'une infrastructure permettant le passage d'une structure "FLOW-MODEL" vers une structure fonctionnelle du système de contrôle-commande, afin de compenser le caractère statique de la méthode (comme nous le verrons dans la troisième partie de ce travail).

3-2-3. LE PRAGMATISME DANS LA MISE EN APPLICATION

Pour une bonne pratique de la méthode "FLOW-MODEL", nous nous appuyons sur les notions suivantes :

1 - Chaque structure fonctionnelle d'un processus doit être vue au moins sur trois niveaux :

niveau $i+1$: c'est le niveau du **pourquoi**, dans lequel on décrit l'intérêt du processus analysé,

niveau i : c'est le niveau du **quoi**, dans lequel on décrit ce que doit faire le processus et le système de contrôle,

niveau $i-1$: c'est le niveau du **comment**, dans lequel on décrit la manière de réaliser ce que doit faire le processus.

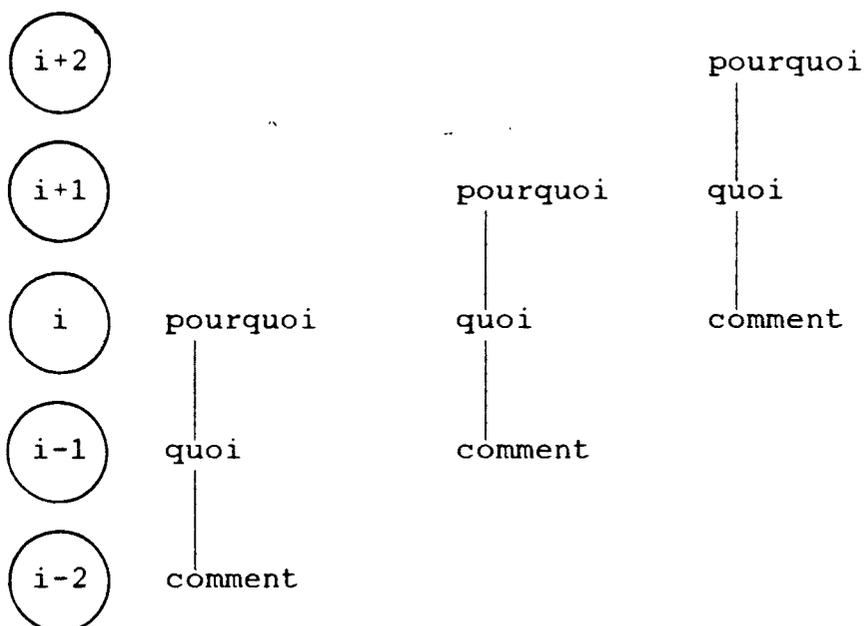


Figure 18 : Illustration des liens conceptuels entre niveaux de "FLOW-MODEL" [LIN-82]

On constate, d'après la figure ci-dessus, que le rôle fonctionnel des "FLOW-MODEL" élémentaires varie, car leur niveau d'abstraction relatif change en fonction du triplet considéré, étant donnée que chaque triplet occupe un horizon fonctionnel différent.

L'avantage de cette notion est double :

- d'une part, elle nous offre la possibilité de cerner le nombre de niveaux d'agrégation, ce qui limite le nombre des représentations du même mode de fonctionnement (pour chaque niveau du pourquoi on devrait aller jusqu'au niveau du quoi,

- d'autre part, elle nous facilite le passage à la structure fonctionnelle du système de contrôle-commande, à chaque triplet de niveaux ($i+1$, i , $i-1$) correspondront au plus deux niveaux fonctionnels dans la structure de l'automatisme.

2 - Pour tenir compte des différents modes de fonctionnement dans l'analyse, deux possibilités se présentent :

- soit en introduisant, dans la représentation fonctionnelle globale, des portes logiques « ou ». L'avantage de cette possibilité : nous évitons la duplication des constituants communs aux différents modes de fonctionnement,

- soit en effectuant plusieurs représentations fonctionnelles, chacune d'elles sera relative à un mode de fonctionnement donné du processus.

Dans une méthode d'analyse fonctionnelle basée sur des concepts tels que ceux de la modularité ..., il est préférable d'opter pour cette deuxième possibilité, ce qui permet :

- d'avoir des schémas raisonnables, d'une part,

- et de faciliter le passage aux structures d'automatisme qui contrôlent chaque mode de fonctionnement, d'autre part.

Pour mener à bien l'analyse fonctionnelle, l'étude doit se dérouler d'une manière hiérarchique, en deux étapes :

ETAPE 1 : choix d'un mode de fonctionnement parmi les modes répertoriés (cf figure 6)

- le démarrage/arrêt de l'installation

- le fonctionnement normal avec ses transitoires, qui sont dus à des variations de charge dans des plages convenablement choisies, en fonction des caractéristiques physiques et techniques des différents constituants du processus.

- les fonctionnements transitoires anormaux qui sont dus généralement à des défaillances matérielles: ce sont des modes difficilement exploitables qu'il faut donc, éviter en utilisant tous les moyens possibles, en particulier en mettant l'accent sur une doctrine de maintenance (préventive, prédictive et corrective).

ETAPE 2 : choix des constituants et des variables qui régissent leur fonctionnement à l'intérieur de chaque mode de fonctionnement.

1) Pour le matériel: on doit tenir compte des variables comme

- les temps de manoeuvre (ouverture/fermeture d'une vanne, démarrage/arrêt d'un moteur ...)

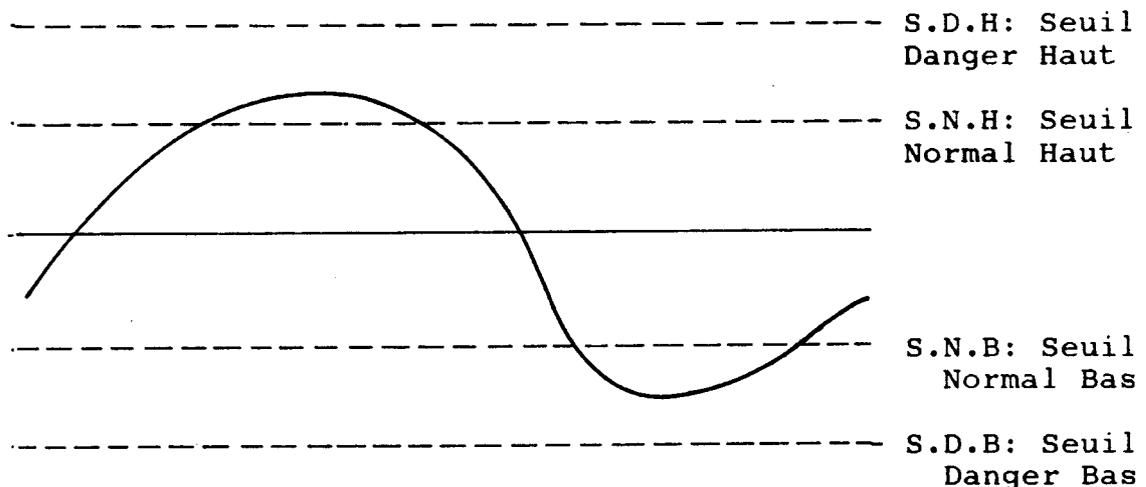
- les grandeurs caractérisant leur disponibilité : l'ensemble d'alimentation électrique ou pneumatique, les positions de repli en cas de défaillance, l'ensemble de l'instrumentation d'état ...

2) Pour les informations issues du procédé: on doit préciser

- leur correspondance avec le phénomène physique qu'elles représentent

- leur plage de variation, en particulier pour les informations analogiques, c'est-à-dire : spécification des seuils qui seront par ailleurs des paramètres de surveillance très utiles. Le choix du nombre et des valeurs de ces seuils dépendra évidemment du phénomène physique mesuré et de la résolution des capteurs employés.

La figure ci-dessous illustre un choix de seuils :



Il est clair que chaque seuil a un rôle très important et surtout très différent des autres :

Un S.D.H peut être utilisé pour enclencher une chaîne de protection alors qu'un S.N.B peut être utilisé seulement comme un signal de commande d'une vanne réglante par exemple.

3.3. Evaluation de la méthode par rapport aux notions de l'analyse fonctionnelle

3.3.1 "FLOW-MODEL" et la structuration

3.3.1.1 La modularité

La structure totale du processus modélisé est un ensemble de clichés, chacun d'entre eux représente un "FLOW-MODEL" élémentaire.

Chaque "FLOW-MODEL" élémentaire obéit à l'ensemble des concepts au même titre que le "FLOW-MODEL" global, en particulier chacun d'eux doit assurer un objectif. Chaque "FLOW-MODEL" élémentaire est considéré comme un tout.

L'étude ou l'analyse des différents "FLOW-MODEL" élémentaires peut se poursuivre d'une manière indépendante, même par des équipes différentes, il suffit de définir l'objectif de chaque "FLOW-MODEL" élémentaire, ce point est très intéressant, il concrétise l'aspect modulaire de la méthode.

3.3.1.2 La hiérarchisation

Une particularité intéressante de la méthode découle de son principe de modularité :

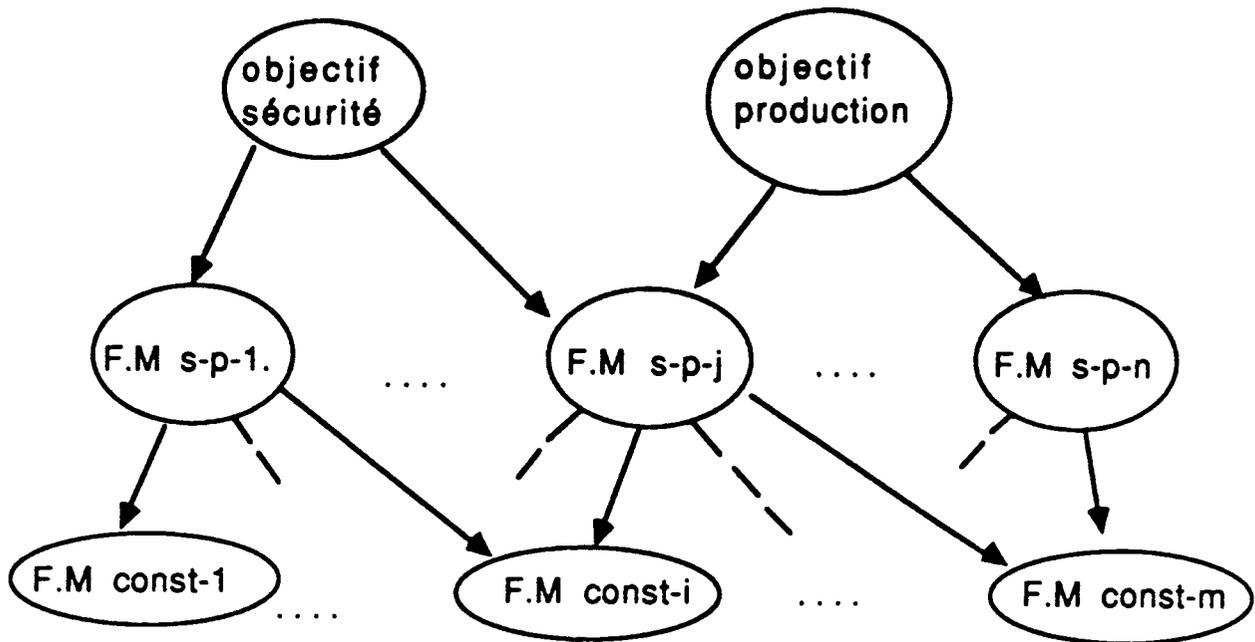
L'analyse peut être abordée d'une manière hiérarchique, en partant d'un objectif principal jusqu'aux matériels élémentaires, permettant sa réalisation.

On constate donc que les deux principales caractéristiques de la structuration sont présentes dans la méthode "FLOW-MODEL". Ceci satisfait partiellement le premier critère, énoncé dans l'introduction, pour le choix d'une méthode.

3.3.1.3 Les différents modes de fonctionnement

Le choix des différents modes fonctionnels ou opératoires ne pose aucun problème : possibilité d'insertion des portes logiques entre les différents "FLOW-MODEL".

Les différents "FLOW-MODEL" élémentaires peuvent être utilisés pour des buts divers, par exemple lors d'une analyse fonctionnelle orientée sécurité et une autre orientée production nous pouvons utiliser les mêmes constituants de base (réutilisabilité), cf figure 19, puisque le contrôle des équipements assurant la production fait partie des fonctions à assurer lors d'une analyse de sécurité.



F.M s-p-j : "FLOW-MODEL" du sous-processus N°j
 F.M const-i : "FLOW-MODEL" du constituant N°i

Figure 19 : Possibilité d'analyse fonctionnelle pour des objectifs différents

3.3.2 "FLOW-MODEL" et l'analyse du fonctionnement

L'analyse fonctionnelle par "FLOW-MODEL" se poursuit jusqu'aux constituants élémentaires du processus. C'est un aspect fort intéressant de la méthode, étant donné que dans les niveaux de bas nous pouvons mettre en évidence des variables représentant l'état de ces constituants, par exemple : La différence de pression aux bornes d'une vanne réglante, état d'une vanne TOR ..., cf figure 16.

La réalisation de la fonction support, de l'objectif de ces constituants, est étroitement lié aux valeurs des variables représentant leur état.

Le lien entre le fonctionnel et le matériel est clairement explicité dans une structure "FLOW-MODEL", ce qui est très important dans analyse de fonctionnement des processus industriels complexes.

3.4 Utilisation du modèle "FLOW-MODEL"

L'avantage principal de la méthode est l'enchaînement des différentes activités d'un processus d'une part, et la possibilité de parcourir un modèle "FLOW-MODEL" dans les deux sens d'autre part. Cette deuxième possibilité peut être exploitée à plusieurs fins : contrôle-commande, conduite, maintenance ...

3.4.1 "FLOW-MODEL" et le contrôle-commande

Cette deuxième possibilité est très importante, puisqu'elle nous permet de faire le suivi de l'influence des informations dans le sens descendant et ascendant.

Ceci est facilité par le repérage (en tenant compte de la première recommandation, cf §3-2-2-4) sur le "FLOW-MODEL", des variables à contrôler et par la localisation des points où elles sont physiquement accessibles.

Un autre point aussi important de la méthode est la possibilité de mettre en évidence :

- d'une part, les variables représentant les objectifs à atteindre niveau par niveau,
- d'autre part, les variables représentant l'état des processus, ce qui va dans le même sens que le deuxième critère pour le choix d'une méthode.

La structure (des modèles, des automatismes de contrôle-commande, obtenus par application de cette méthode) est caractérisée par son aspect pyramidal, comme la structure conceptuelle décrite pour chaque mode de fonctionnement, cf figure-4. Elle rejoint par ce fait la structure d'une description dynamique souhaitée pour la représentation du fonctionnement des processus.

Etant donné que le modèle obtenu sera exploité à des fins de contrôle-commande, sa structure nous offre la possibilité d'associer à chaque niveau de décomposition d'un processus une fonction (ou un module) de contrôle regroupant toutes les fonctions du système de contrôle-commande.

A cela s'ajoute, en tenant compte de la deuxième recommandation, la facilité de mise en évidence des informations qui doivent être échangées entre les modules d'automatismes et le processus.

C'est donc une évolution de la structure habituelle des systèmes de commande. Etant donné que nous passons d'une structure classique, cf figure-7, dans laquelle le processus est souvent considéré comme une seule entité ou réparti en un ensemble

d'entités de même niveau vers une structure pyramidale aussi bien du côté système de contrôle que du côté processus, figure 20.

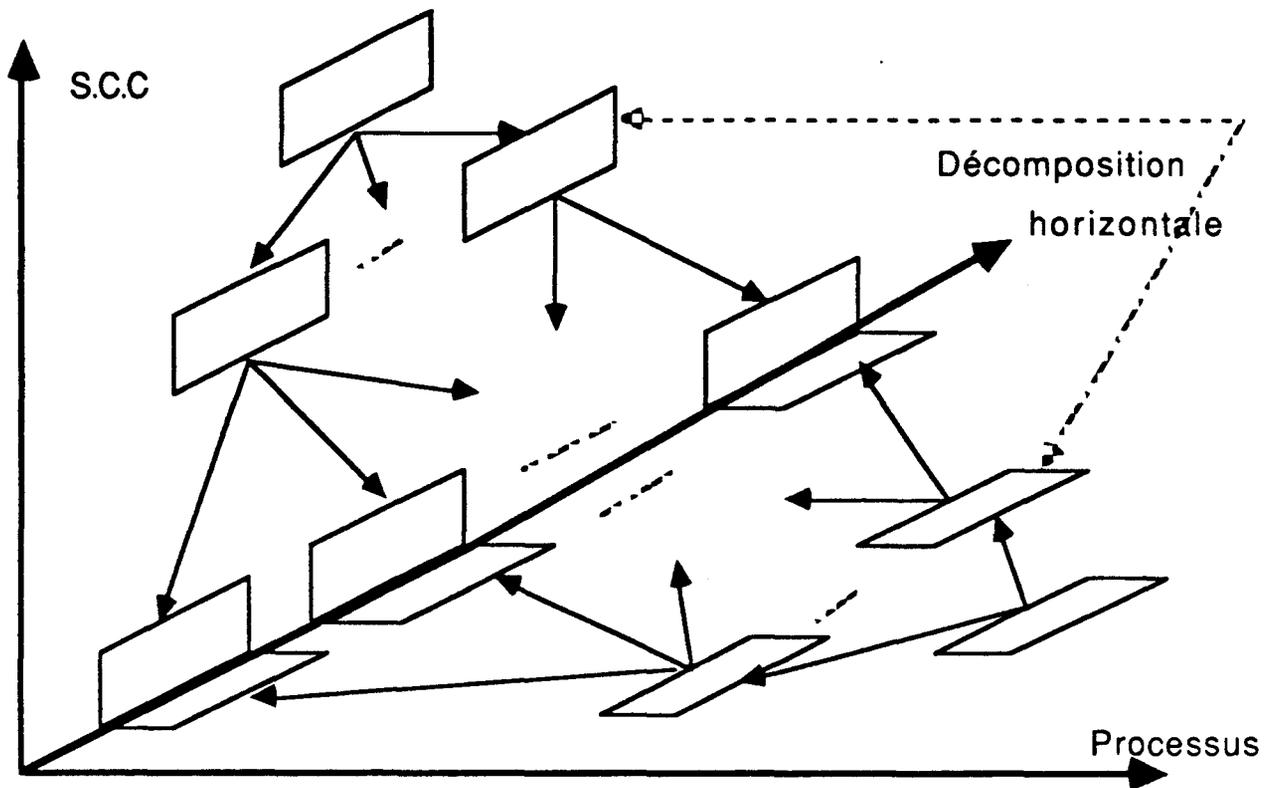


Figure 20 : Structure proposée "système de commande-processus"

3.4.2 "FLOW-MODEL" et l'aide à la conduite

Une structure "FLOW-MODEL" pourrait être utile aux opérateurs de conduite, puisque le parcourt du modèle (dans le cas de bon fonctionnement) :

- Dans le sens descendant permet d'assurer le suivi de la réalisation d'un objectif : c'est donc "un guide opérateur"
- Dans le sens ascendant permet de recherche les raisons d'activation ou de la désactivation d'une fonction, d'un constituant...

3.4.3 "FLOW-MODEL" et l'aide au diagnostic

L'opérateur de maintenance peut aussi exploiter le modèle pour ces propres besoins, dans le cas d'anomalie, il peut répertorier les conséquences des informations traduisant cette anomalie (c'est le principe de cause à effet, qui est clairement mis en évidence).

3.4. Conclusion

D'après nos recherches bibliographiques et à la lumière de ce qui précède nous constatons qu'il n'y a pas de méthode d'analyse fonctionnelle des processus, mais plutôt des techniques de représentation de leur fonctionnement compte tenu d'un but bien précis :

- SADT ou plutôt les méthodes hybrides sont généralement utilisées pour décrire le fonctionnement des processus, ceci est dû au caractère universel de SADT.

- "FLOW-MODEL" était développée à l'origine pour l'analyse de fonctionnement des processus à haut risque en vue de l'étude de leur sûreté de fonctionnement, en particulier celle des centrales nucléaires, comme en témoignent les premiers travaux de LIND [LIN-82].

"FLOW-MODEL" est une technique orientée, donc mieux adaptée à l'analyse fonctionnelle, la structure fonctionnelle obtenue peut être utilisée comme un glossaire des informations utilisées lors de la spécification des automatismes de contrôle-commande, mais aussi lors de l'exploitation du processus, c'est à ce titre qu'il nous a paru intéressant d'y faire figurer les principaux capteurs qui sont ou seront implantés pour générer ces informations (cf figure 17).

A partir des deux derniers chapitres nous remarquons qu'il y a une certaine complémentarité entre les concepts de SADT et ceux de "FLOW-MODEL", la première offre la structuration et la seconde une analyse plus profonde et qui relie le matériel au fonctionnel. Cette complémentarité peut être mise à profit pour l'analyse fonctionnelle des P.I.C.

C H A P I T R E - 4

UNE APPLICATION D'ANALYSE FONCTIONNELLE PAR METHODE DE "FLOW-MODEL"

4.1. DESCRIPTION DU SOUS-ENSEMBLE DE LA CENTRALE ETUDIE

4.1.1. PREAMBULE :

Le processus en question est constitué principalement d'un Générateur de Vapeur G.V et des systèmes alimentaires assurant son bon fonctionnement. Il constitue la partie charnière entre le primaire et le secondaire en assurant l'évacuation de l'énergie primaire sous forme de vapeur.

Le choix de l'étude de ce processus est dû aux besoins formulés par les responsables de la régulation du niveau du Générateur de Vapeur.

Ces besoins peuvent être résumés en une seule phrase :
" Réduire, voire supprimer totalement, les arrêts d'urgence imputables aux défauts de performances de la chaîne de régulation, actuellement en service, des G.V des tranches 900 MW ".

Dans le but de satisfaire ces besoins, nous proposerons dans la suite de ce travail et à partir de la modélisation du processus par la méthode "FLOW-MODEL", une analyse qualitative des différents sous-processus qui seront mis en évidence lors de l'analyse fonctionnelle.

L'analyse qualitative sera esquissée sous forme de blocs fonctionnels du processus et/ou de blocs de la chaîne de régulation; ceci va nous permettre de surveiller le comportement des différents constituants de la chaîne de régulation et/ou du processus.

Le nombre des variables à surveiller se limite donc au nombre restreint des entrées et des sorties de ces nouveaux blocs.

Les mécanismes de surveillance peuvent être des simples comparaisons à des seuils ou à des variables résultats d'autres modèles.

Nous reviendrons sur ces notions un peu plus loin. Pour l'instant, nous abordons la description de notre processus.

4.1.2. CARACTERISTIQUES ET DESCRIPTION DU PROCESSUS ETUDIE

Le processus étudié est composé, en mode de fonctionnement normal, de deux sous-processus :

- d'une part, d'un système physique: le Générateur de Vapeur G.V, ayant comme rôle la transformation thermique de l'eau secondaire grâce à l'énergie thermique fournie par le réacteur (énergie du primaire).

- d'autre part, de deux systèmes élémentaires: le circuit d'Alimentation Normale en eau des G.V : A.N.G et le circuit Vapeur Principal: V.V.P.

Le rôle de ce dernier est l'évacuation de la vapeur, produite dans le G.V, vers les circuits utilisateurs turbine, condenseur ... (pour plus d'information sur ces systèmes on se reportera utilement aux D.S.E "Dossiers des Systèmes Élémentaires" ou aux notes techniques adéquates, établis spécialement pour chaque type de système et de circuit, respectivement).

En principe et, pour une étude complète, on ne doit pas dissocier les S.E cités ci-dessus de ceux qui les remplacent dans les autres modes de fonctionnement (démarrage/arrêt, incidentels, post-incidentels etc ...). Comme autre systèmes, on distingue :

- les A.S.G : Alimentation auxiliaire de Secours des GV
- le G.C.T : Contournement Global Turbine ...

Il est bien évident, étant donné l'ampleur des fonctionnalités du processus en question, qu'on doit se limiter à un seul mode de fonctionnement : c'est le mode normal; il est à remarquer que si dans la suite on parle d'autres modes cela ne sera qu'à titre indicatif, pour illustrer la présence d'une autre fonction ou d'un autre circuit.

D'une manière générale, c'est la puissance thermique (sa valeur et ses variations) demandée à la tranche qui régit les différents mode de fonctionnement.

Le mode de fonctionnement normal est considéré comme établi lorsque la valeur de cette puissance est supérieure à 15 % Pn (puissance nominale), ce qui a une conséquence directe sur la chaîne de régulation.

La figure 23 montre une représentation succincte de ce processus en mettant en évidence les équipements sur lesquels la chaîne de régulation de niveau et de débit (en pointillés sur la figure) a une influence directe, les différents modules de cette chaîne sont cités ci-dessous :

- Rn : régulation du niveau G.V
- Rp : régulation pression (fonction de la pression vapeur)
- R δ p: régulation δ p T.P.A (turbo-pompe alimentaire)
- R θ m: régulation de la température moyenne du fluide caloporteur, en agissant sur les barres de contrôle,
- Rv : régulation de la fréquence alternateur
- Rw : régulation de la puissance électrique fournie au réseau.
- Mn : mesure niveau
- Mp : mesure pression
- δ p : la différence entre la pression vapeur et la pression d'eau alimentaire.

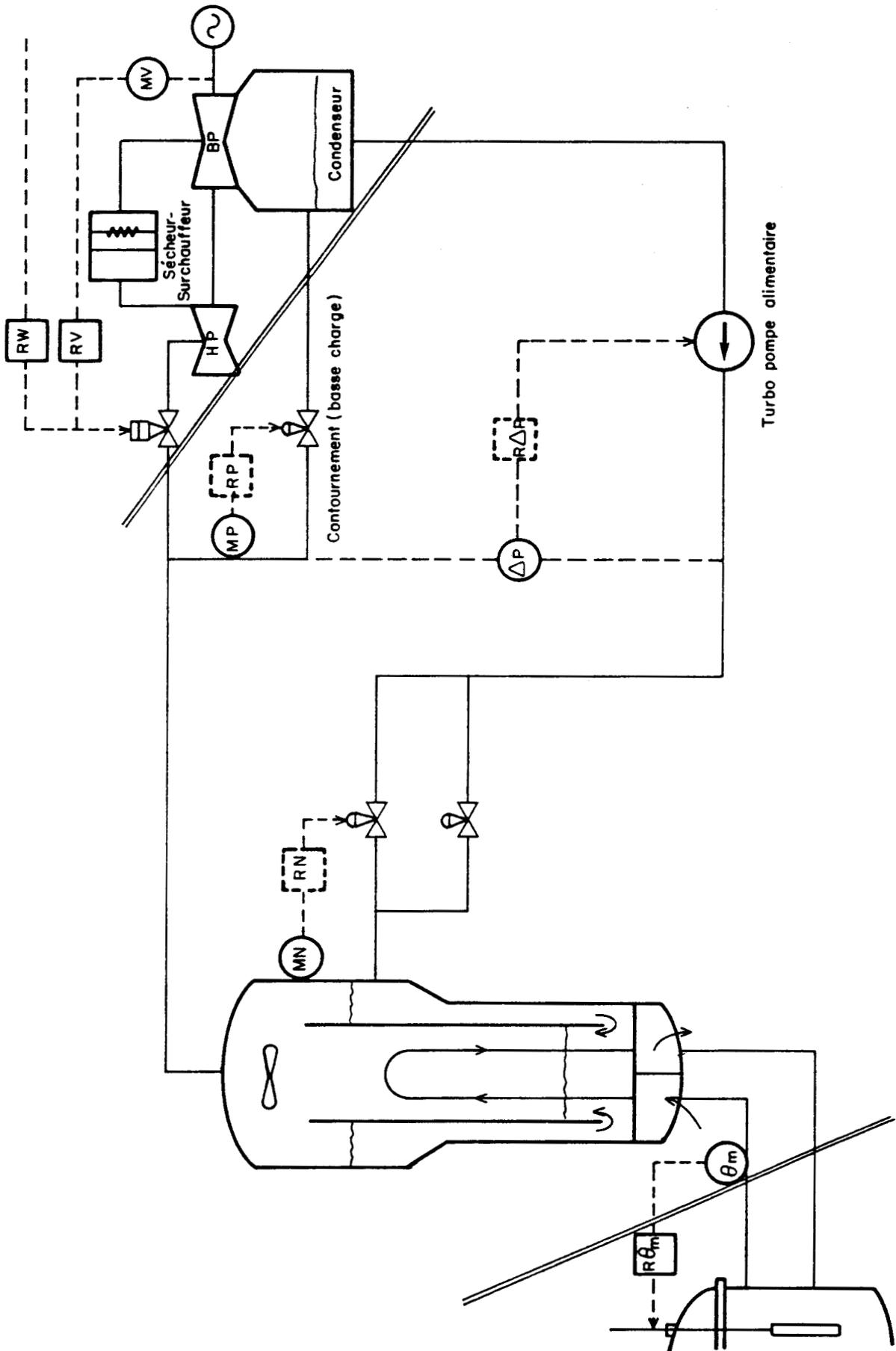


Figure 23 : Synoptique du processus étudié

4.2. APPLICATION DE LA METHODE "FLOW-MODEL"

Nous décrivons ci-dessous la modélisation du processus présenté dans le paragraphe précédent.

Au premier niveau fonctionnel on exprime l'objectif principal du processus c'est-à-dire la production de vapeur, qui traduit l'image de la charge demandée au processus.

Cette fonction est remplie par le "FLOW-MODEL" du niveau "0" qui assure le transfert de masse (fluide) en amont et en aval du processus (cf figure 24).

Trois conditions sont nécessaires pour satisfaire cet objectif, et ce, quel que soit le mode de fonctionnement.

* la première sur le niveau du G.V Ngv, pour protéger :

- d'une part, le réacteur et le G.V contre un niveau très bas, afin d'éviter la caléfaction dans le coeur et la détérioration des plaques tubulaires du G.V etc .

- d'autre part, la turbine contre un niveau très haut, qui entraîne l'humidité vers la turbine.

* la deuxième sur l'énergie thermique qui alimente le G.V : En particulier θ_m température moyenne du fluide caloporteur primaire, qu'il faut maintenir dans une plage convenable.

* la troisième sur le choix et l'alignement de la voie d'évacuation de la vapeur : \varnothing_{av} en fonction de l'image de la charge (P_v & Q_v pression et débit vapeur respectivement).

Etant donné que le contrôle de θ_m et par voie de conséquence de sa fonction support (alimentation du G.V en énergie thermique) sort du cadre de l'étude, nous nous limiterons dans la suite au développement des deux autres fonctions mentionnées dans la figure 24.

1) Réalisation de la fonction « alimentation du G.V en eau »

Il s'agit de la fonction support de la variable à contrôler Ngv; la réalisation de cette fonction dépend du mode de fonctionnement en vigueur. Elle est assurée ; cf figure 25 :

- soit par le circuit d'Alimentation auxiliaire de Secours des G.V : A.S.G,

- soit par le circuit d'Alimentation Normale en eau des G.V : A.N.G; c'est ce dernier circuit que nous traitons dans la figure 26.

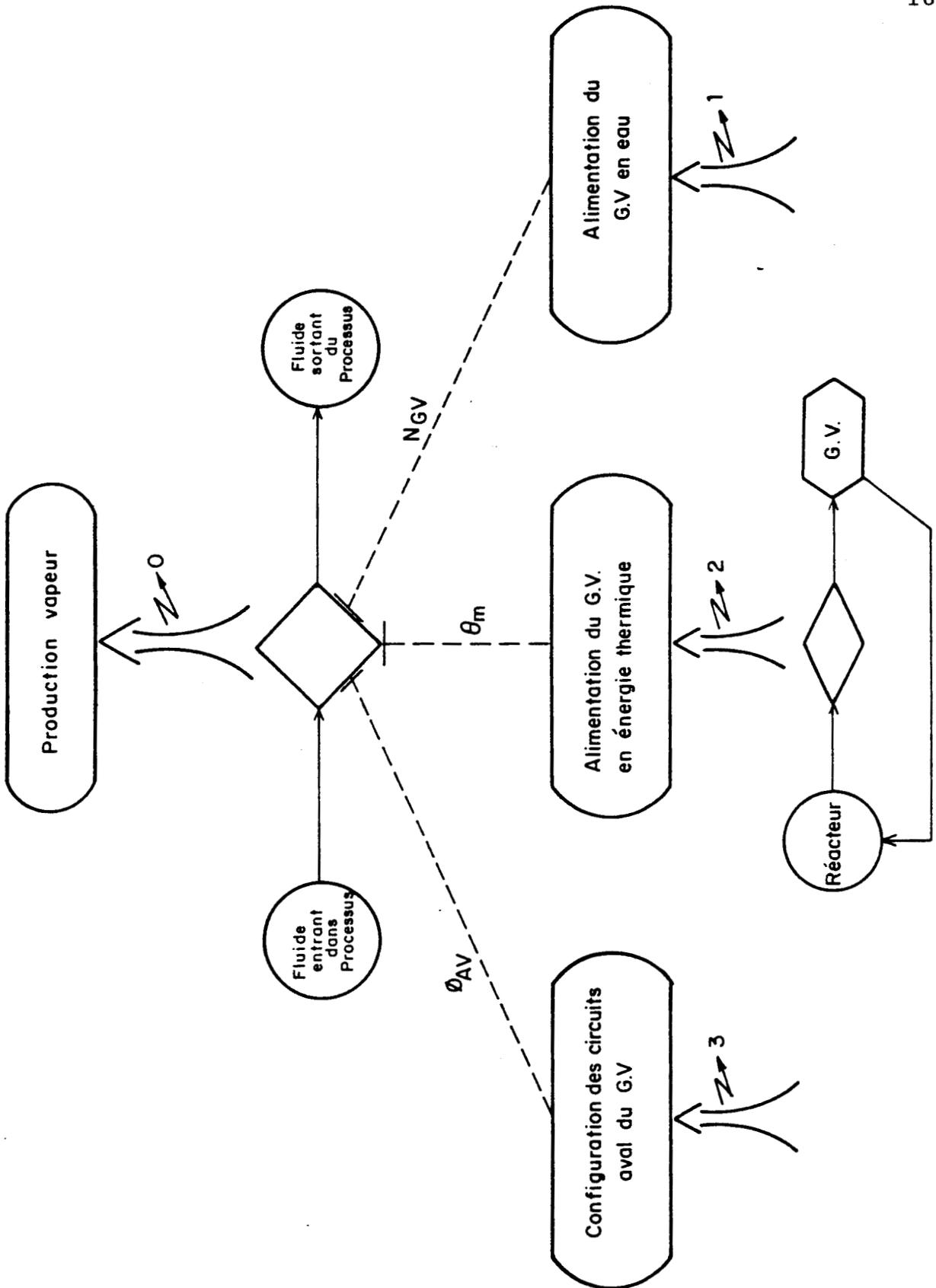


Figure-24 : Réalisation de la fonction production vapeur

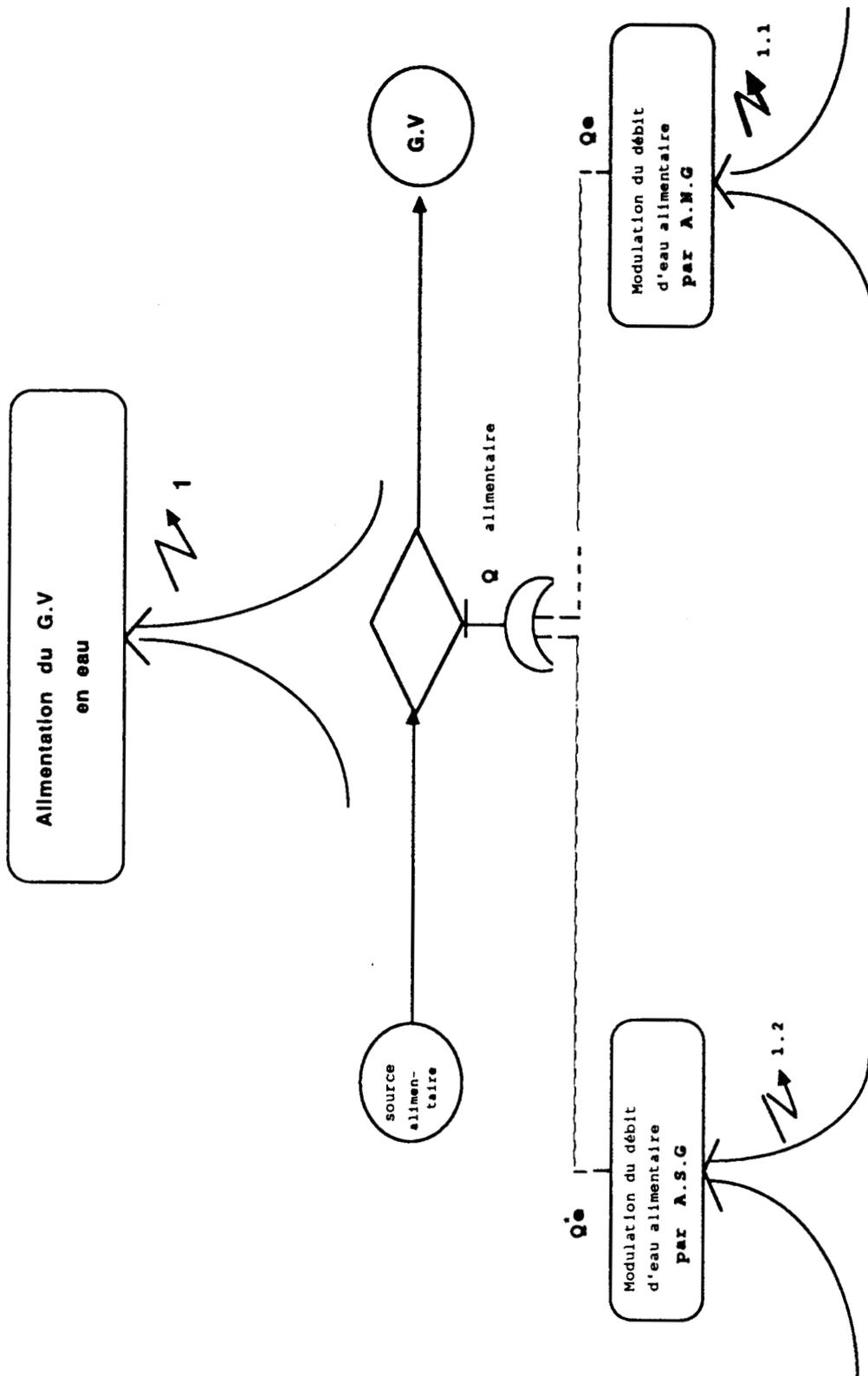


Figure 25 : "FLOW-MODEL" pour le choix du circuit d'alimentation en eau du G.V.

La figure 25 représente le choix fonctionnel entre les deux circuits susceptibles d'alimenter le G.V en eau "primaire".

Le circuit d'Alimentation Normale du G.V : A.N.G. est censé alimenter le G.V lors du fonctionnement Normal (régime établi) de l'installation, alors que le circuit d'Alimentation Secours du G.V : A.S.G rempli ce même rôle dans le cas de fonctionnement anormal : Démarrage/arrêt, mode de fonctionnement incidentel, post incidentel, etc.

Comme celà a été mentionné auparavant, nous distinguons dans cette représentation les fonctions qui sont en interaction directe avec la chaîne de régulation de celles qui n'ont aucun lien avec celle-ci.

Par ce fait et pour garantir une bonne alimentation «normale et modulaire» en eau du G.V, il faut contrôler la modulation du débit d'eau en agissant sur la variable Q_e «et» assurer un alignement correct du circuit alimentaire amont du G.V en contrôlant l'état de la condition \emptyset_{am} .

La figure 26 décrit la réalisation de la fonction d'alimentation par A.N.G. Cette fonction est assurée principalement par deux sous fonctions :

- Une sous-fonction régulation débit, remplie par la T.P.A : Turbo Pompe Alimentaire avec des vannes réglantes petit et grand débit.

- et une sous-fonction configuration du circuit, remplie essentiellement par des vannes TOR, qu'il convient de surveiller leur état et leur position afin d'assurer une alimentation correcte.

2) Réalisation de la fonction «configuration des circuits aval du G.V»

Il s'agit de la fonction support de la condition à réaliser \emptyset_{av} .

Cette fonction est réalisée : soit par le circuit de contournement Global Turbine, soit par le circuit d'évacuation principal vapeur.

La figure 27 représente le circuit d'évacuation de la vapeur, produite dans le G.V. La vapeur est à diriger :

- Soit vers le circuit normal, c'est-à-dire vers la turbine, dans le cas d'un fonctionnement normal.
- Soit vers des circuits de contournement, dans le cas de fonctionnement anormal.

Ce choix dépend généralement de la charge demandée à la tranche et/ou des valeurs :

- P_v : Pression Vapeur,
- Q_v : Débit Vapeur,
- v : Température Vapeur,

à la sortie du G.V.

D'après l'exemple traité ci-dessus, nous constatons que :

- les concepts de "FLOW-MODEL" sont faciles à appliquer,
- l'intérêt de la méthode se manifeste par le fait que nous allons à l'essentiel,
- l'utilisation de "FLOW-MODEL" nous permet de mettre en évidence les variables ou les grandeurs les plus importantes pour le fonctionnement du processus...

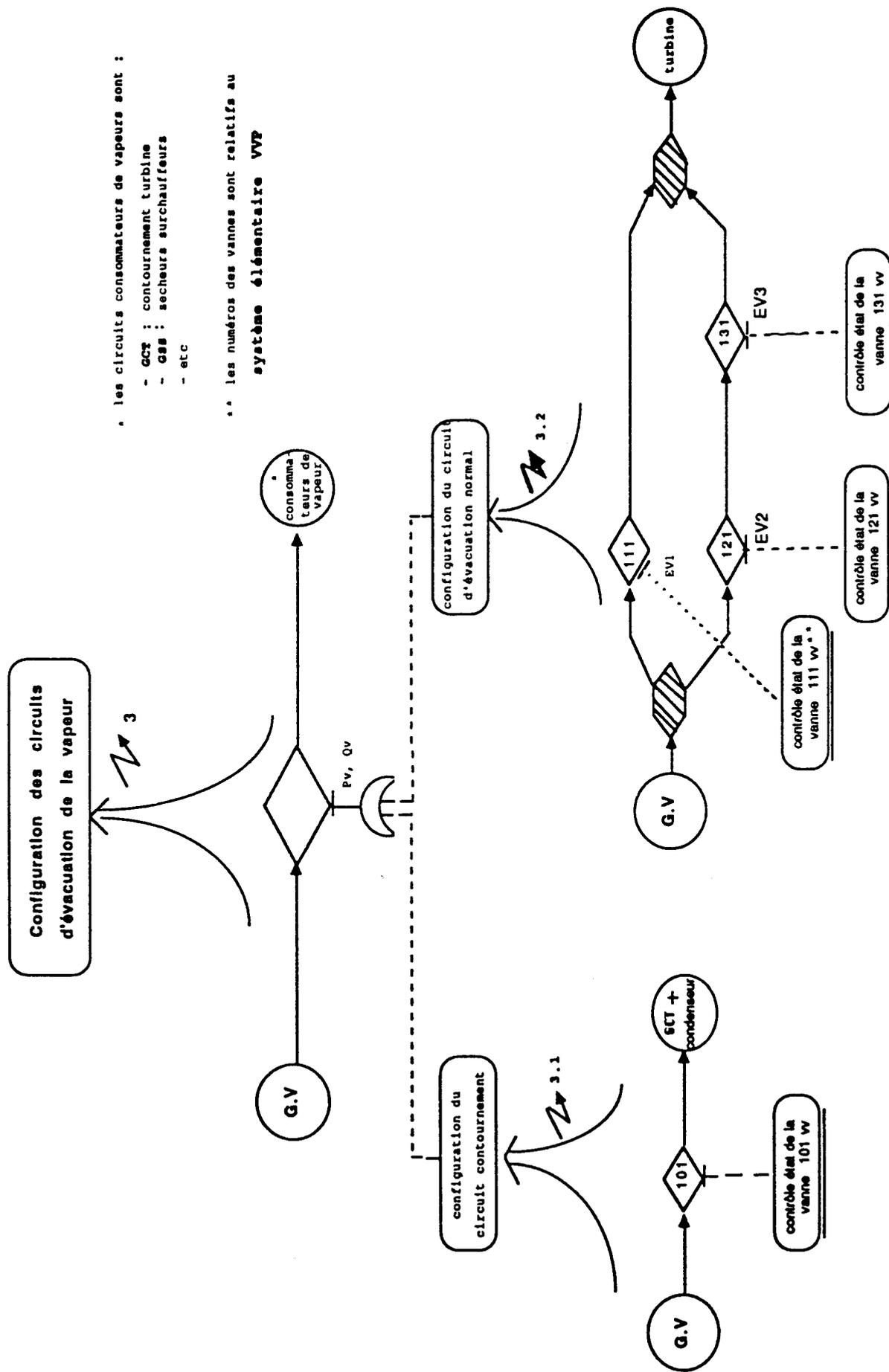


Figure 27 : "FLOW-MODEL" de la fonction évacuation de la vapeur

C O N C L U S I O N

Nous retenons, de cette partie, essentiellement trois points :

- L'importance du choix de la technique de décomposition, traduisant une démarche descendante,
- l'influence des concepts de SADT dans la structuration et la description du fonctionnement des processus,
- et l'intérêt de la méthode "FLOW-MODEL" pour l'analyse fonctionnelle, tout en sachant que la structure élaborée est souvent influencée par des considérations matérielles d'une part, et par les besoins de contrôle-commande d'autre part.

Les formalismes existants dans le cadre de l'analyse fonctionnelle des P.I.C nécessitent un effort d'homogénéisation. En s'appuyant, par exemple, sur des notions relatives à la structuration comme celle de la modularité et de la hiérarchisation qui, peuvent être généralisées à toutes les phases du cycle de vie d'un automate.

Ainsi, pour assurer une certaine continuité dans le développement des automatismes, nous proposons la définition d'un ensemble de modules qui, à travers leur haut niveau d'abstraction, devraient constituer un contexte favorable pour le passage de l'analyse fonctionnelle à la spécification des automatismes.

troisième partie

**MODELISATION STRUCTURELLE DES
AUTOMATISMES DES SYSTEMES DE
CONTROLE-COMMANDE D'UN P.I.C**

I N T R O D U C T I O N 171CHAPITRE-1 : PRESENTATION DES NIVEAUX HIERARCHIQUES ET
DES MODULES FONCTIONNELS EN VUE DE LA CONCEPTION DES
AUTOMATISMES 173

1-1. Système de conduite évolué	173
1-2. Les modules fonctionnels d'automatisme	176
1-3. Présentation d'un module fonctionnel d'automatisme	177
1-4. Liens entre une structure "FLOW-MODEL" et un module fonctionnel d'automatisme	181
1-5. Définition des niveaux hiérarchiques	185
1-6. Conclusion	188

CHAITRE-2 : DESCRIPTION CONCEPTUELLE DES DIFFERENTS
Modules D'UN M.A.3C* 189

2-1. Module d'Identification d'Objectifs: M.I.O	189
2-1-1. rôle d'un M.I.O	189
2-1-2. informations d'entrée / sortie du MIO	190
2-1-3. traitements assurés par un M.I.O	191
2-2. Module d'Identification d'Etat: M.I.E	199
2-2-1. rôle d'un M.I.E	199
2-2-2. informations d'entrée / sortie du MIE	199
2-2-3. traitements assurés par un M.I.E	200
2-3. Module De Commande: M.D.C	204
2-3-1. rôle d'un M.D.C	204
2-3-2. informations d'entrée / sortie du MDC	204
2-3-3. traitements assurés par un M.D.C	204
2-4. Module d'Analyse de Comportement: M.A.C	205
2-4-1. rôle d'un M.A.C	205
2-4-2. informations d'entrée / sortie du MAC	206
2-4-3. traitements assurés par un M.A.C	207
2-5. Conclusion	212

CHAITRE-3 : APPLICATION DE L'APPROCHE DES M.A.3C POUR L'ETUDE
DE CAS REELS 213

3-1. Préambule	213
3-2. M.A.3C d'une vanne	214
3-3. M.A.3C associé à une fonction de régulation	220
3-4. Conclusion	226

I N T R O D U C T I O N

Le but de cette troisième partie est la mise en oeuvre d'un certain nombre de concepts, qui sont relatifs à la structuration et à la formalisation des traitements des automatismes des systèmes de contrôle-commande : conduite, maintenance et gestion technique ("étape 1 de la phase de conception").

Ce type de système est généralement caractérisé par une grande distribution géographique, des capteurs et des actionneurs, se traduisant par une décentralisation matérielle et logicielle.

Les concepts que nous introduisons sont, en fait, liés à la répartition de l'intelligence, c'est-à-dire à celle des traitements que chaque entité doit assurer, dans un contexte bien précis : celui d'un système à structure décentralisée.

La répartition de l'intelligence entraîne une décentralisation des traitements, ce qui autorise une élévation du niveau d'automatisation.

L'élévation du niveau d'automatisme se traduit par la multiplication des consommateurs pour une même information, ceci implique :

- d'une part, la mise en place d'un système de communication permettant de banaliser l'accès à l'information,
- et d'autre part, la validation des informations transitant sur ce support de communication.

Les traitements de validation doivent s'effectuer au niveau local c'est-à-dire au niveau de l'instrumentation : capteurs et actionneurs, et au niveau global : automatismes réflexes... L'objectif de cette partie est de structurer ce dernier type de traitement.

Dans la suite de ce travail, nous nous plaçons dans l'optique d'un système dont les constituants sont interconnectés par des réseaux locaux, type bus de terrain. Nous supposons que les problèmes de communication sont résolus par ailleurs.

Pour atteindre l'objectif cité ci-dessus, nous suggérons une structuration des différentes fonctions:

- d'automatisme de conduite (commande, protection, régulation ...)
 - de maintenance (curative, préventive, prédictive)
 - de gestion technique,
- sous forme de boîte noire, que nous nommons désormais M.A.3C :

Module d'Analyse de Comportement, de Contrôle et de Commande.

Le contenu de ces modules sera spécifique à chaque type de fonction, par contre le contenant sera le plus général possible. Ceci permettra de couvrir une large gamme d'applications.

Cette approche conceptuelle sera appuyée sur la représentation fonctionnelle d'un processus, par la méthode "FLOW-MODEL", en précisant les liens qui peuvent exister entre une Structure Fonctionnelle de Conduite SFC et une Structure Fonctionnelle de Processus SFP.

Nous présentons cette approche en deux chapitres :

- le premier chapitre présente les modules fonctionnels d'automatisme, ainsi que leurs liens avec la structure obtenue à partir de l'analyse fonctionnelle d'un processus.

- le deuxième chapitre précise conceptuellement les différents constituants d'un module fonctionnel d'automatisme.

C H A P I T R E - 1

PRESENTATION DES NIVEAUX HIERARCHIQUES ET DES MODULES FONCTIONNELS EN VUE DE LA CONCEPTION DES AUTOMATISMES

1.1. Système de conduite évolué

Les systèmes de conduite classiques évoluent vers des systèmes de plus en plus complets, c'est-à-dire vers des systèmes assurant d'autres missions que la conduite, comme la maintenance et la gestion ...

L'évolution est en fait imposée par la complexité des processus à automatiser (des équipements de plus en plus instrumentés, des niveaux d'automatisme de plus en plus élevés...). L'opérateur se trouve démuné devant l'abondance de l'information, son raisonnement doit être de plus en plus complexe.

LIND et RASMUSSEN ont particulièrement étudié la séquence d'activités mentales permettant à l'homme de prendre une décision dans le contexte de la conduite [RAS-82]. Une modélisation des étapes du raisonnement humain en terme de traitement d'information a été proposée, cf figure-1.

Cette séquence est en fait une suite d'activités de traitements de données aboutissant à des états de connaissance successifs, les différents raccourcis utilisables dans cette séquence seront pris en fonction du niveau de comportement de l'opérateur, d'après LIND :

- comportement basé sur l'expérience,
- comportement basé sur des règles,
- comportement basé sur la connaissance.

Adopter une démarche pour l'élaboration des systèmes d'exploitation, s'appuyant sur ce type de raisonnement a un double intérêt :

- décharger l'opérateur d'un travail intellectuel très poussé,
- assurer une cohérence nécessaire entre la structure fonctionnelle du système d'exploitation et le cheminement intellectuel du raisonnement de l'opérateur.

Nous nous intéressons à l'aspect organisationnel d'un système de conduite évolué, suivant une méthode de structuration dont les principes sont décrits dans la deuxième partie (chapitre 1). Les techniques de modélisation ne sont pas décrites ici car elles dépendent des cas particuliers.

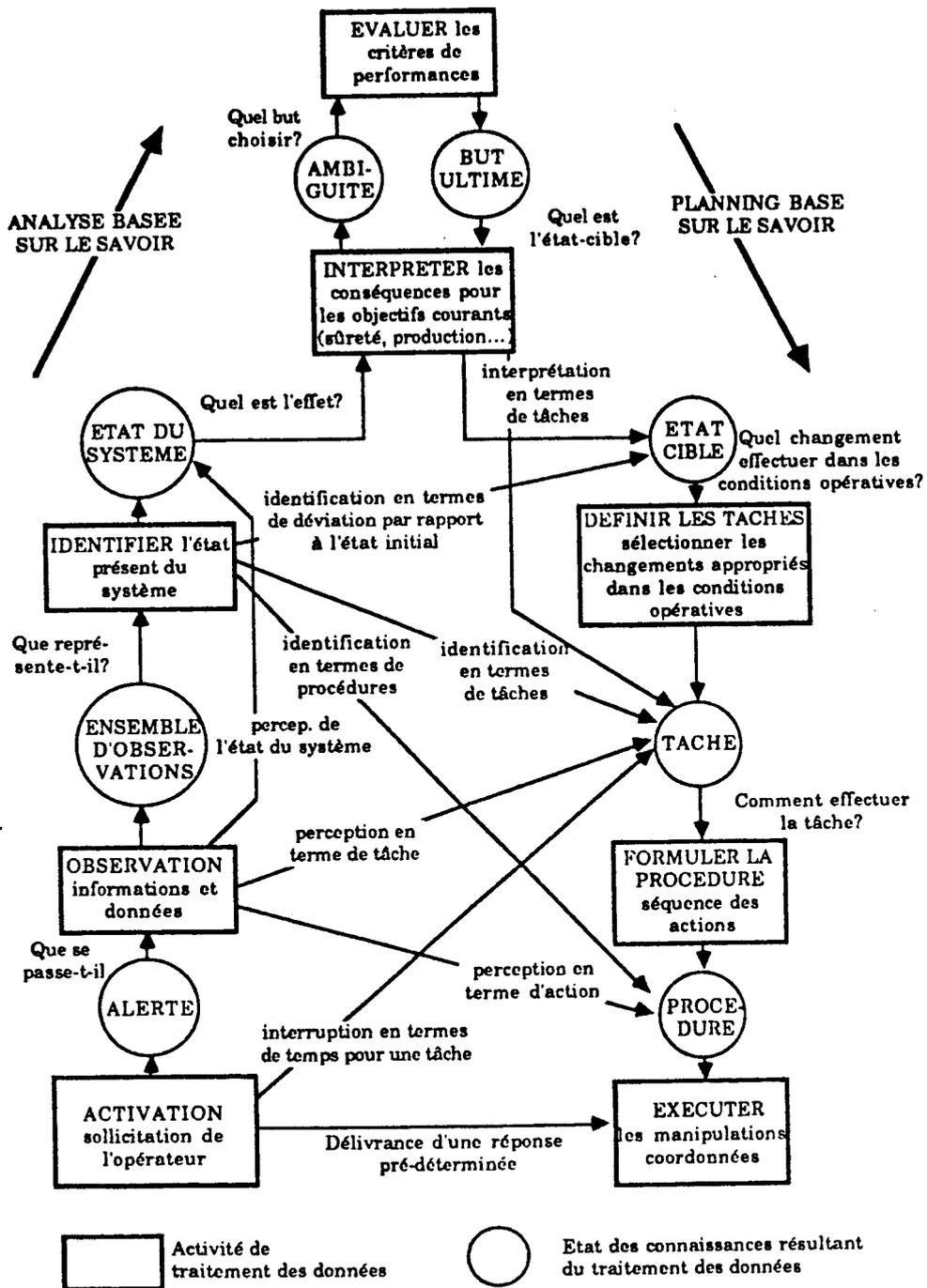


Figure 1 : Séquence d'activités mentales utilisée lors d'une prise de décision de conduite /LIND/

Un système évolué est un système possédant des aptitudes relationnelles, au même titre que l'intelligence artificielle vis-à-vis des autres techniques de programmation.

L'aptitude relationnelle est un concept philosophique exprimant les relations entre les événements propres au psychisme de l'être humain et son expérience du monde réel [ALE-85].

Cette aptitude se traduit dans les systèmes de conduite par un traitement poussé de chaque information : toute information doit être considérée dans un contexte bien précis permettant de juger de sa validité d'une part, et de sa consistance d'autre part. Ceci peut se traduire par une diminution de la masse d'information présentée aux niveaux supérieurs, en particulier à l'opérateur, tout en augmentant le contenu sémantique des messages du système d'exploitation.

Un des rôles attendus d'un système évolué est de fournir une meilleure synergie entre l'homme et le processus. Aujourd'hui aucun système au sens mentionné ci-dessus n'existe en pratique.

Par ce fait, nous proposons pour leur conception une approche descriptive. Nous orientons cette approche vers la description d'un système de conduite évolué idéal par ses éléments potentiels, qui sont les modules fonctionnels d'automatisme.

1.2. Les modules fonctionnels d'automatisme :

La décentralisation des systèmes de contrôle-commande est accompagnée de deux types de structuration :

- une structuration au niveau fonctionnel des traitements assurés par ces systèmes (étape-1 de la phase de conception),
- une structuration au niveau matériel et logiciel qui fait l'objet des autres étapes de la phase de conception (cf première partie).

Le but de ce chapitre est la formalisation des différents constituants d'un automatisme de contrôle-commande, à divers niveaux fonctionnels. Rappelons qu'à EDF ces constituants sont spécifiés de façon détaillée dans les D.F.L et les D.F.A (Diagrammes Fonctionnels Logiques et Analogiques).

La formalisation s'appuie sur une représentation graphique, d'une manière méthodique et structurée.

Notre but principal est 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 du système.

Nous ne souhaitons mettre à la disposition de l'opérateur (par le biais de ces entités) que des informations synthétiques sur l'état de fonctionnement de son installation, et des commandes globales pour agir sur cette dernière.

On cherche donc à élaborer un modèle de base pour le concepteur en lui offrant des entités élémentaires permettant de représenter les constituants de cet automatisme.

Nous associons dans cette modélisation deux aspects qui sont généralement considérés comme des modélisations différentes:

- d'une part, la description fonctionnelle (collection structurée de fonctions de base),
- et d'autre part, la description comportementale (GRAFSET, réseau de PETRI, programmation structurée...).

Les objets de base de ces deux descriptions peuvent donc être intégrés au sein d'un même module. Ils ne seront visibles de l'extérieur que par des entrées sorties, c'est: l'encapsulation. Un tel module est appelé module fonctionnel d'automatisme.

L'analyse hiérarchique de l'automatisme de commande conduit à modéliser celui-ci à chaque niveau par un certain nombre de modules fonctionnels d'automatisme, élémentaires ou complexes. La complexité diminue au fur et à mesure qu'on progresse dans l'analyse (par raffinements successifs).

L'ensemble des modules obtenus forme ce que nous appelons le Plan d'Analyse de Contrôle de Commande et de Comportement : P.A.3C, cf § 1-5.

1.3. Présentation d'un module fonctionnel d'automatisme

Un module fonctionnel d'automatisme est associé à chaque fonction issue de l'analyse fonctionnelle du processus.

On associe à chaque Module Fonctionnel d'Automatisme : MFA les entrées/sorties suivantes :

1 - Sortie : représente son action sur le module fonctionnel processus auquel le MFA est associé,

2 - Entrées :

. d'une part, une(des) entrée(s) représentant l'état du module fonctionnel processus,

. et d'autre part, une(des) entrée(s) en provenance d'un (des) niveau(x) supérieur(s). Cette entrée représente la consigne dans le domaine de la régulation. De manière plus générale nous l'appelons objectif, ceci nous permettra :

- d'une part, de l'utiliser dans tous les modules d'automatisme (régulation, commande ...),

- et d'autre part, de se rapprocher des concepts de la méthode "FLOW-MODEL".

Ces variables constituent les entrées/sorties classiques d'un module d'automatisme. Nous introduisons une variable supplémentaire : chaque module générera un compte-rendu, exprimant des liens entre l'objectif assigné à l'entité fonctionnelle processus et son état.

La figure-2 représente une association élémentaire d'un module fonctionnel automatisme et d'un module fonctionnel processus (modèle du processus), formant ainsi un système de contrôle-commande de base.

Les modules fonctionnels d'automatisme ont en fait une triple vocation :

- 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.

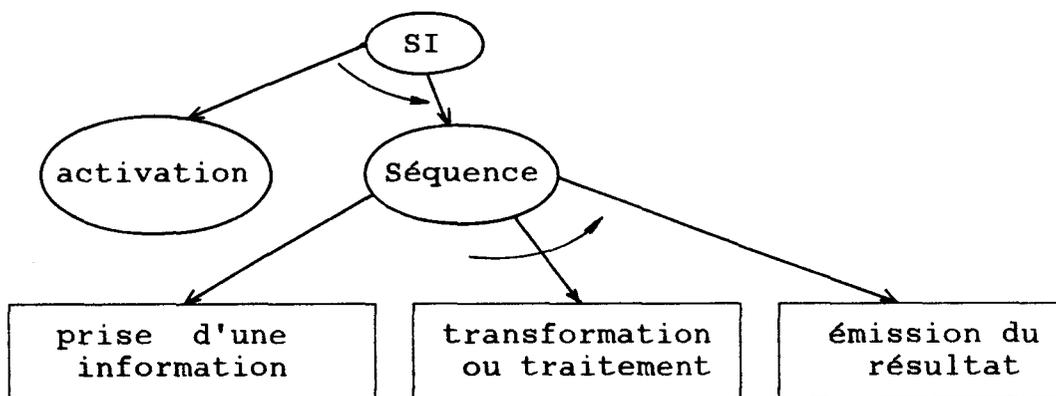
- Une vocation de commande : l'élaboration d'une variable de commande : action, ordre ..., représentant un objectif pour les modules des niveaux inférieurs.

- Une vocation d'analyse de comportement : analyse du comportement de leurs subordonnés en fonction des ordres qu'ils ont reçu 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'automatisme seront nommés des M.A.3C : Modules d'Analyses de Comportement de Contrôle et de Commande:

Dans un premier temps, un M.A.3C peut être vu comme un seul bloc assurant une fonction complexe ayant de multiples entrées sorties, comme le montre la figure-3.

Globalement, un M.A.3C peut être considéré comme une entité autonome, assurant un seul traitement par un seul processeur, dont le déroulement peut être schématisé par l'exécution de la séquence suivante :



Mais les différentes vocations du M.A.3C nécessitent un traitement complexe, qu'il convient de décomposer. En effet, les différentes informations d'entrées/sorties peuvent être gérées et élaborées respectivement par des fonctions indépendantes.

La décomposition entraîne une multiplicité des traitements, qui peuvent évoluer d'une manière parallèle. Par ce fait, on considère que fonctionnellement un M.A.3C est le support de processeurs cycliques, chacun doit assurer une sous-activité dont le déroulement peut être semblable à celui de la séquence ci-dessus.

Ceci conduit à une décomposition modulaire de chaque M.A.3C.

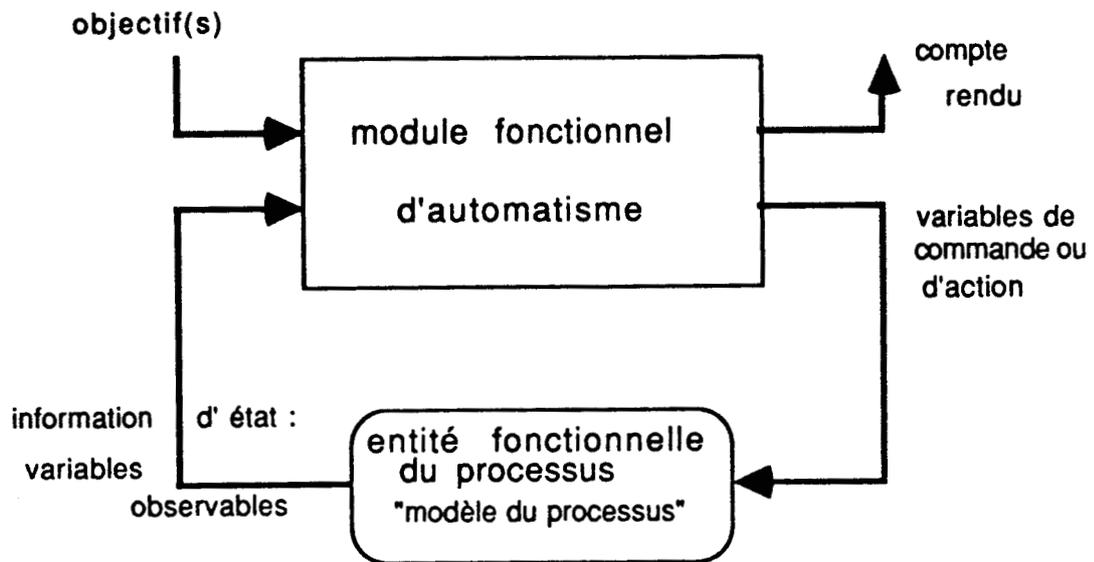


Figure 2 : Système de base : contrôle-commande d'un processus isolé

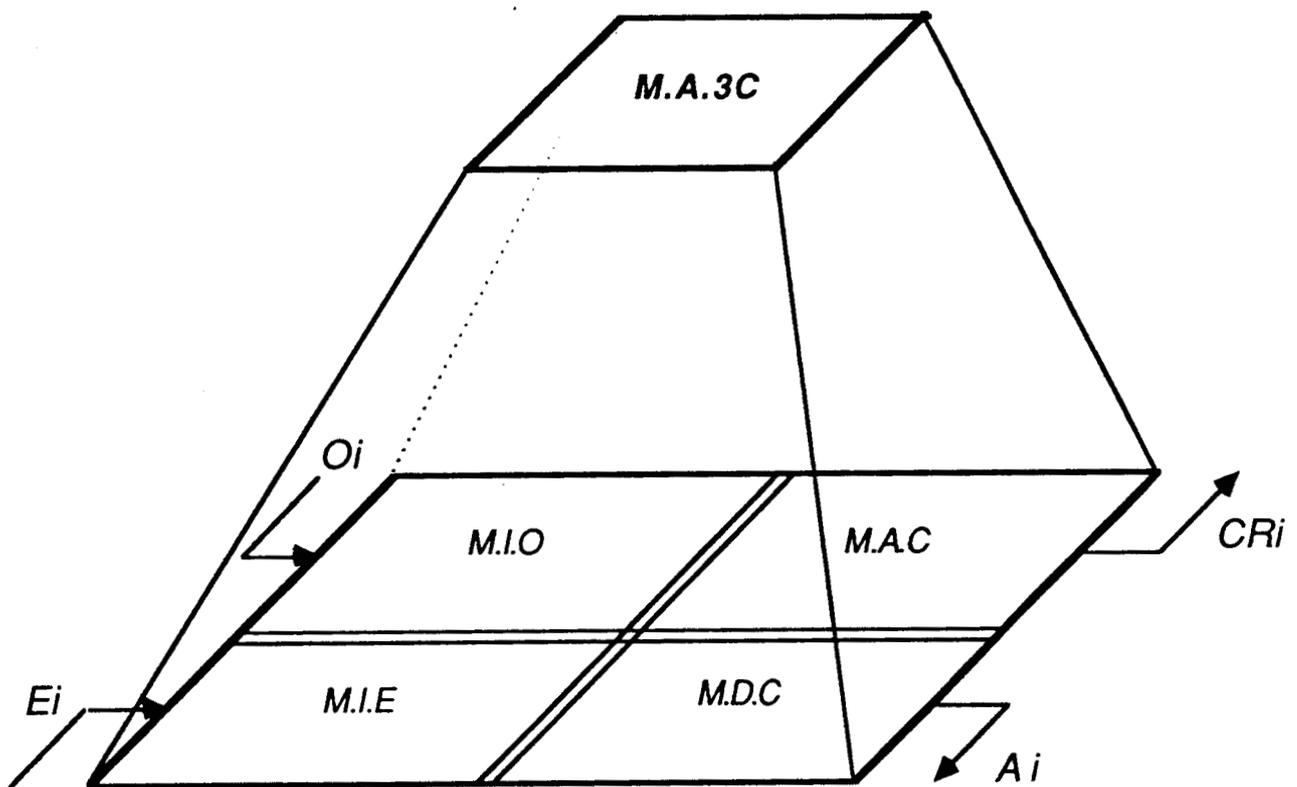


Figure 3 : Structure conceptuelle d'un M.A.3C

Un M.A.3C est donc 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.

la figure-3 montre la structure d'un M.A.3C en mettant en évidence la position de ses modules et les types d'informations à l'entrée ou à la sortie de chacun d'entre eux , avec O_i , E_i , A_i , CRI (objectif, information d'état, action et compte rendu respectivement) numéro "i". Nous décrivons le rôle et la spécificité de chacun d'entre eux dans le chapitre suivant.

La structure modulaire du M.A.3C assure une séparation nette entre les modules d'élaboration des informations sûres et crédibles (M.I.O & M.I.E) et les modules qui les exploitent à des fins diverses (M.D.C & M.A.C).

La décomposition modulaire d'un M.A.3C a un double intérêt :

- PREMIEREMENT : Elle nous permet d'associer un type de traitement à chaque sous-module,

- DEUXIEMEMENT : Elle nous laisse une liberté quant au contenu de ces traitements, ceci préserve la possibilité de leur évolution au sein de chaque sous-module. Par exemple l'ajout d'une fonction élémentaire, pour améliorer la qualité des résultats d'un traitement, doit rester transparent vis-à-vis des autres modules.

Nota :

La décomposition fonctionnelle d'un M.A.3C ne signifie pas forcément une implémentation séparée des différents sous-modules, de même la composition de ces modules, en formant un M.A.3C, n'entraîne pas nécessairement leur intégration dans une même entité matérielle du système de contrôle-commande. Ce problème ne peut être résolu qu'à partir de la deuxième étape de la phase de conception (élaboration d'une architecture matérielle du système d'automatisme).

1.4. LIENS ENTRE UNE STRUCTURE "FLOW-MODEL" ET UN MODULE FONCTIONNEL D'AUTOMATISME

La figure 11 de la deuxième partie, présente une structure type de "FLOW-MODEL", nous rappelons que :

- l'objectif du F.M n°i-1 est d'assurer la valeur de la condition C, pour réaliser l'objectif du F.M n°i,
- l'objectif de la fonction support est de satisfaire la condition C : il faut donc contrôler les valeurs des conditions relatives au F.M n°i-1 et commander ses constituants,
- l'objectif de la fonction est satisfait si l'état des constituants du F.M n°i-1 le permet : il faut donc contrôler leur état.

Pour établir des liens entre une structure F.M et un M.A.3C, nous nous sommes basés sur les remarques ci-dessus et sur les deux principales notions, de la technique "FLOW-MODEL", à savoir :

1 - chaque F.M.E (Flow-Model Élémentaire) représente un objectif.

2 - les différents F.M.E communiquent entre eux par des doubles flèches, chaque double flèche répond à la question suivante: que faut-il assurer et contrôler pour atteindre cet objectif?.

A ces deux notions nous ajoutons une troisième, pour une meilleure exploitation du F.M : c'est l'analyse de comportement.

Cette notion nous permet de vérifier si l'objectif est atteint ou non et, en même temps faire le suivi de sa réalisation dans le temps, dans un mode de fonctionnement donné.

Pour pouvoir répondre à ce type de questions et faciliter le passage de l'analyse fonctionnelle à la spécification puis à la conception des automatismes, nous associerons à chaque double flèche un M.A.3C, dont la structure macroscopique est représentée dans la figure-3.

Nous illustrons dans les figures 4 et 4bis les possibilités du passage d'une structure "FLOW-MODEL" vers un M.A.3C.

La figure 4bis représente, en fait, le cas d'un objectif qui est susceptible de se réaliser par deux sous processus distincts. C'est le cas par exemple d'une redondance matérielle.

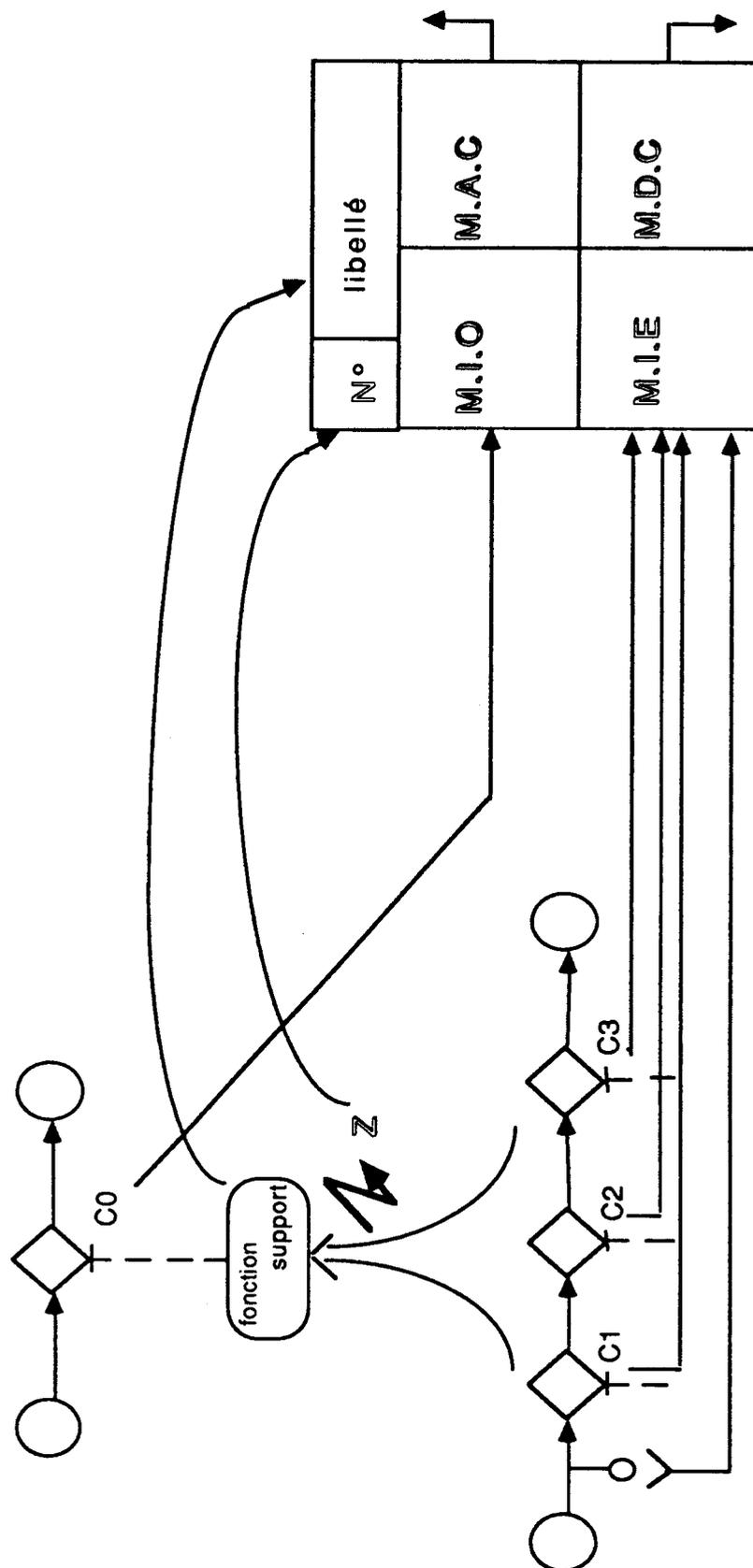


Figure 4 : Liens entre une structure "FLOW-MODEL" et un M.A3C

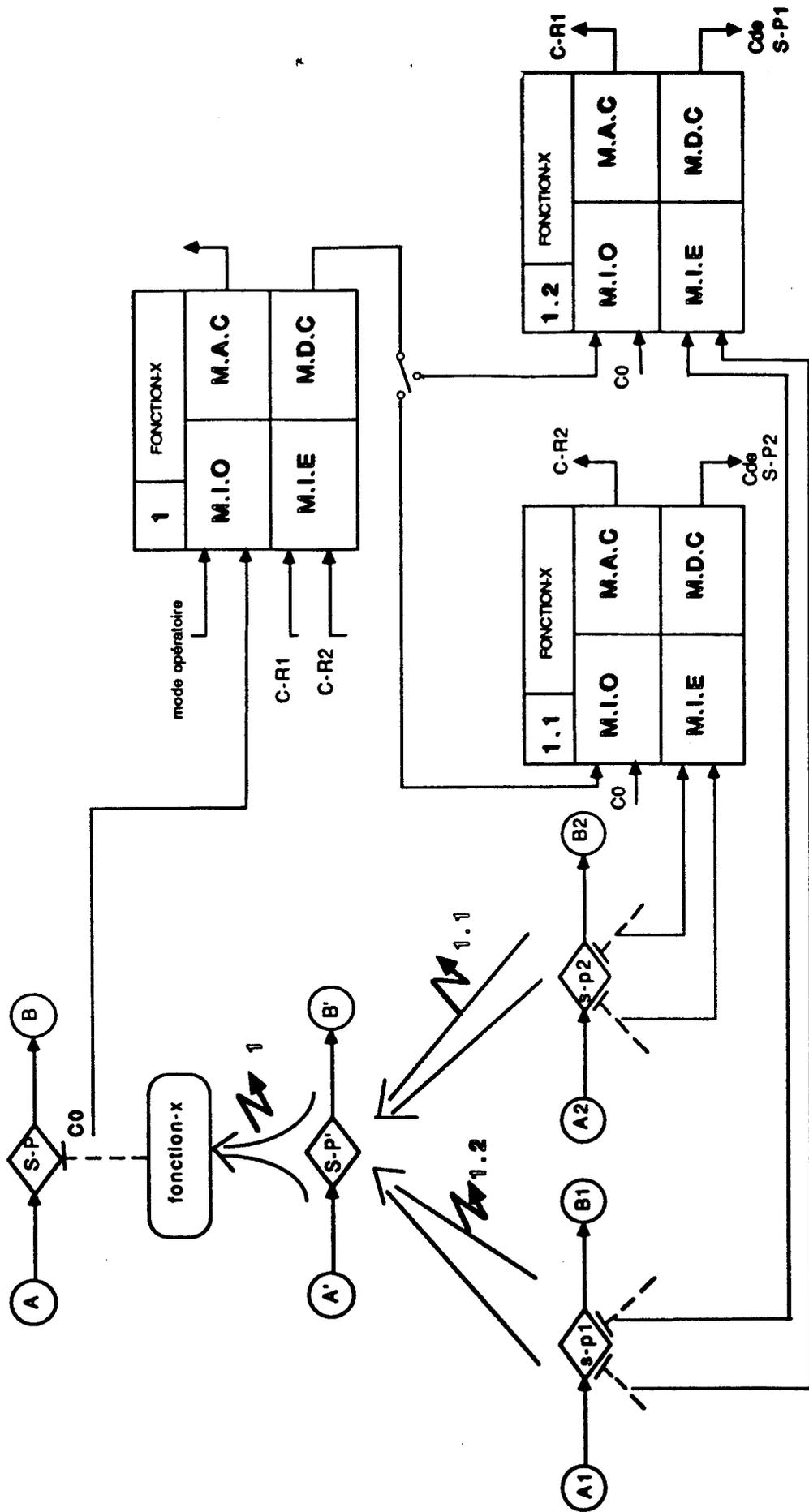


Figure 4bis : Liens entre une structure "FLOW-MODEL" et un M.A3C (cas de redondance fonctionnelle ou matérielle)

Ces structures sont organisées par des doubles flèches, à la double flèche référencée "1" nous associons un M.A.3C, dont le rôle principal est de prendre des décisions, pour choisir le sous-processus adéquat, en fonction d'un mode opératoire ou de la valeur de l'objectif C0 ou encore en fonction de l'état des sous-processus.

Chaque M.A.3C gère donc une activité de l'application, l'ensemble des M.A.3C peut être considéré comme des ressources disponibles pour obtenir l'activité globale de l'application.

Remarque :

Les variables de flux que nous avons introduites précédemment (cf figure 17, deuxième partie) peuvent contribuer à l'élaboration de l'état d'un sous-processus, mais elles seront insuffisantes dans la majorité des cas, le recours à une instrumentation appropriée sera alors inévitable.

On constate donc que les informations nécessaires à la définition d'un M.A.3C (et à la conception des automatismes d'une manière générale) ne figurent pas, dans leur totalité, dans la structure obtenue par analyse fonctionnelle.

L'analyse fonctionnelle ne vise pas, en effet, à résumer toutes les informations disponibles ou nécessaires, mais seulement à organiser des données principales sur le processus de manière à établir les liens qui peuvent exister entre elles. De plus s'ajoutent les informations propres aux M.A.3C comme les variables de commande, élaborées par les M.D.C, et les compte-rendus, élaborés par les M.A.C, qui ne figurent pas non plus dans les modèles fonctionnels des processus.

1.5. Définition des niveaux hiérarchiques

L'analyse fonctionnelle du processus nous fournit une structure arborescente, représentant le fonctionnement du processus dans un mode de fonctionnement donné. Cette structure est organisée par niveaux fonctionnels hiérarchisés; les modules fonctionnels d'automatismes seront organisés de la même façon formant ainsi une structure fonctionnelle du S.C.C, cf figure 20 première partie.

La structure fonctionnelle classique d'un système de commande est généralement organisée suivant cinq niveaux [TIT-79].

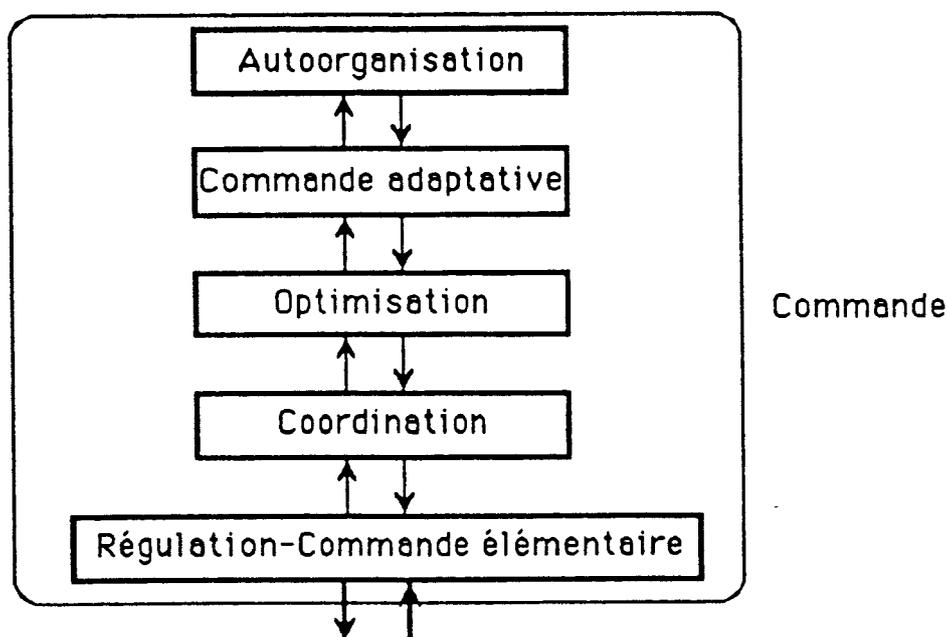


Figure 5 : Ensemble des niveaux de commande [TIT-79]

Cette structure peut être vue globalement sur trois niveaux hiérarchiques :

- C.C.O : niveau de Contrôle-Commandes Optimisées (optimisation, élaboration des consignes, choix des stratégies ...). Ce niveau regroupe les trois niveaux supérieurs classiques, étant donné que ces trois niveaux contribuent au même but, à savoir: l'élaboration des consignes (optimales) pour les niveaux inférieurs. Ceci peut être attribué aux modules d'un seul niveau, permettant d'effectuer des choix sur les structures du modèle et sur la valeur de la commande en fonction de l'environnement comme les modes de fonctionnement par exemple.

niveau, permettant d'effectuer des choix sur les structures du modèle et sur la valeur de la commande en fonction de l'environnement comme les modes de fonctionnement par exemple.

- C.C.C : niveau de Contrôle-Commandes Centralisées (commandes groupées, coordination ...), occupe le niveau de coordination classique, dont le rôle est de synchroniser les activités à réaliser à l'aide des constituants d'un processus ou sous-processus, en fonction des modes opératoires par exemple.

- C.C.E : niveau de Contrôle-Commandes Élémentaires (commandes individuelles, actionneur par actionneur par exemple).

Chaque niveau est donc caractérisé par un certain nombre de M.A.3C. Les M.A.3C d'un même niveau remplissent des fonctionnalités identiques ou semblables avec des modèles ou des traitements plus ou moins identiques. Alors que les traitements assurés par des modules occupant des niveaux distincts pourraient être complètement différents.

Cette structuration traduit, en fait, une hiérarchisation des connaissances et des informations suivant une décomposition naturelle (fonctionnelle et/ou heuristique).

Chaque niveau de la hiérarchie porte des informations concernant les caractéristiques des modules qui se situent sur les niveaux inférieurs (actions et états). Par ce fait à chaque étape de déclenchement des traitements, on ne fait intervenir qu'un volume très limité de connaissances, cf figure-6.

La structure fonctionnelle ainsi que la mission du système de conduite dépendent du mode de fonctionnement dans lequel se trouve le processus. A chaque mode correspondra une structure, que nous appelons un P.A.3C : Plan d'Analyse de Comportement et de Contrôle-commande.

Dans le cas, par exemple, d'un mode de fonctionnement incidentel le rôle du système est de limiter les conséquences des incidents en mettant le processus dans une position de repli sûre, alors qu'il doit élaborer des commandes optimales dans le cas d'un mode de fonctionnement normal.

Si on se limite à ce dernier cas, l'élaboration et la propagations des informations optimales doivent respecter certaines conditions, issues généralement des exigences temps réel du processus ou du sous-processus commandé.

Ceci impose au système un temps de réponse total, qu'il convient de répartir sur les différents M.A.3C concernés. Comme chaque M.A.3C est en liaison avec une fonction du processus, son temps de réponse doit être compatible avec la constante de temps de la fonction concernée.

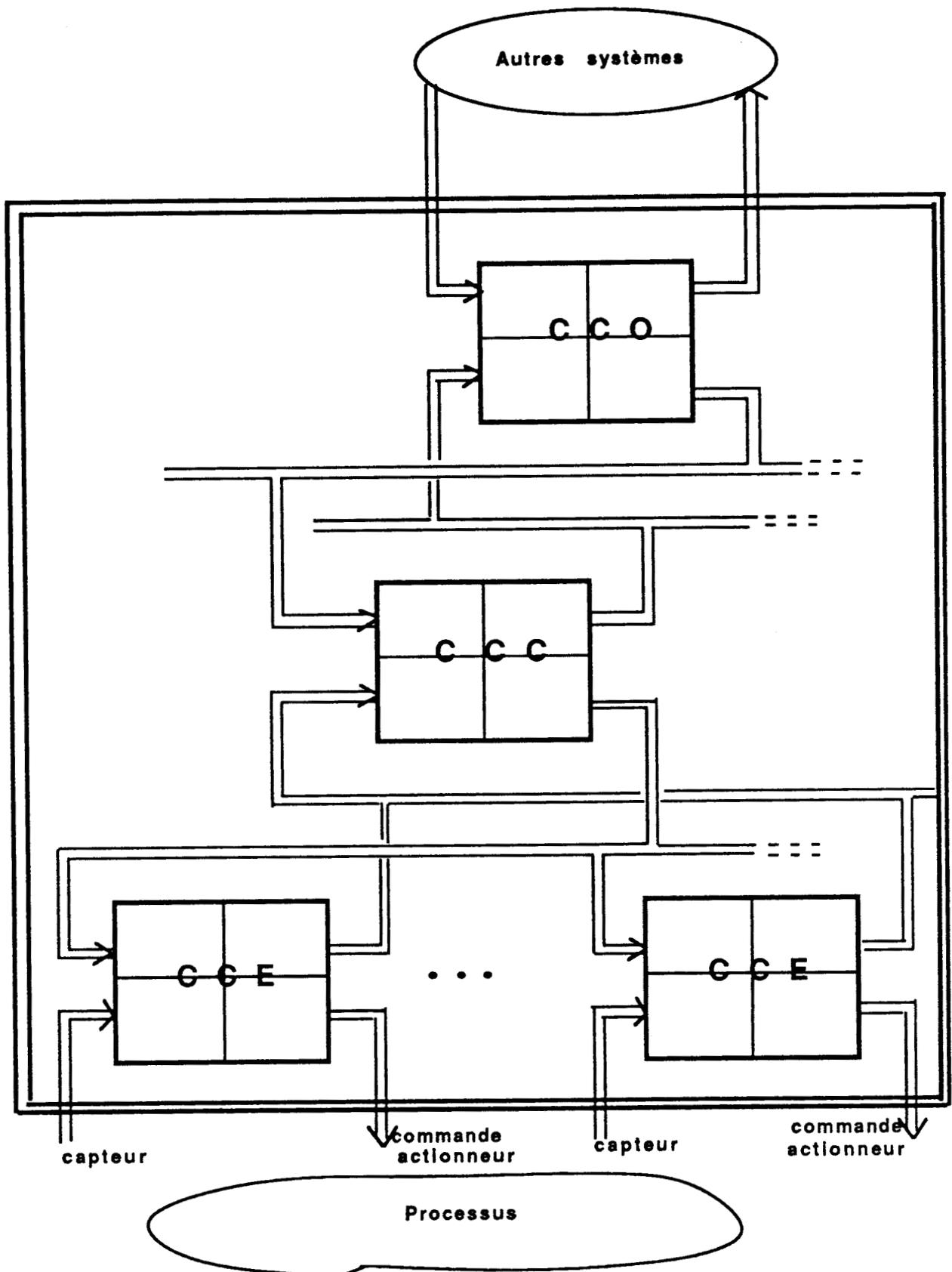


Figure 6 : Structure fonctionnelle du S.C.C. d'un P.I.C.

Chaque M.A.3C pourrait être caractérisé par le temps de traitement "ti" d'une information "i". Celui-ci correspond au temps nécessaire à l'exécution des traitements exploitant cette information. Dans la majorité des cas ce temps ne peut être qu'estimé, car il dépend de la charge du module, qui reflète l'occupation physique du processeur exécutant ces traitements.

Les valeurs "ti" de chaque module ne seront donc connues exactement qu'après l'élaboration de l'architecture matérielle et logicielle du S.C.C, c'est-à-dire au cours de l'étape 2 et 4 de la phase de conception (cf chapitre 2 première partie).

1.6. Conclusion

La conception d'une manière structurée des automatismes des systèmes de contrôle-commande, nécessite des éléments de base formalisés et respectant les concepts d'une méthode d'analyse structurée, à savoir : la hiérarchisation et la modularité.

Nous avons spécifié des modules permettant de répondre à ce besoin. En proposant tout d'abord la notion du M.A.3C qui représente un module fonctionnel d'automatisme et ensuite sa décomposition en quatre modules : M.I.O, M.I.E, M.D.C et M.A.C. Leur description fait l'objet du chapitre suivant.

Après la définition des modules d'un automatisme, nous avons exprimé le rattachement d'un M.F.A à un M.F.P, ceci permet, d'une part, de résumer les interactions, à divers niveaux fonctionnels, entre deux domaines différents et d'autre part d'élaborer une structure fonctionnelle du système de commande en adéquation avec celle du processus. Le chapitre 3 illustre ces propos.

Notre approche des M.A.C : Modules d'Analyse de Comportement, rejoint en partie celle des filtres proposée par le C.R.A.N/L.A.C.N. (voir [ALA & al 86], [MAR-87]). Dans cette dernière, les filtres constituent une passerelle entre la partie commande et la partie opérative. Par ce fait, les filtres n'occupent que le niveau le plus bas de la structure fonctionnelle de l'automatisme, ce qui les différencie des M.A.C. étant donné que ceux-ci occupent tous les niveaux fonctionnels.

C H A P I T R E - 2

DESCRIPTION CONCEPTUELLE DES DIFFERENTS SOUS-MODULES D'UN M.A.3C

La vocation du M.A.3C est de remplir quatre tâches, chaque tâche étant assurée par l'un des modules suivants : M.I.O, M.I.E, M.A.C et M.D.C, en complète autonomie.

Les traitements de chaque module utilisent des modèles, plus ou moins élaborés, de la fonction processus à laquelle ils sont associés (modèles algorithmiques, modèles flous, modèles à base de connaissances ...).

Il est clair que la spécification des modules que nous allons effectuer n'impose en aucun cas le langage de programmation. Nous souhaitons avoir des modules les plus ouverts possible, aux différentes techniques de programmation, afin de choisir le langage le mieux adapté à chaque module. Suivant le modèle utilisé tel ou tel langage sera plus ou moins adapté.

Nous décrivons ci-après le rôle, les types des entrées et des sorties ainsi que la nature des traitements attribués à chaque sous-module.

2.1 MODULE D'IDENTIFICATION D'OBJECTIF : M.I.O

2.1.1.ROLE :

Le rôle d'un M.I.O est d'identifier les objectifs qu'il reçoit, cette identification se concrétise par la validation ou non de ces derniers.

Un objectif est valide, aux erreurs de décision près, s'il satisfait les deux critères suivants:

- un critère de cohérence, représentant un aspect **qualitatif** de l'identification,
- un critère de crédibilité, représentant un aspect **quantitatif**.

Les objectifs valides seront à transmettre aux modules consommateurs en particulier le M.D.C du même M.A.3C.

Les objectifs invalides devront être confinés, en stoppant leur propagation, et surtout signalés le plus tôt possible aux modules des niveaux supérieurs, générateurs de ces objectifs, afin de les adapter aux exigences fonctionnelles du processus.

Finalement, un objectif identifié sera valide ou non valide.

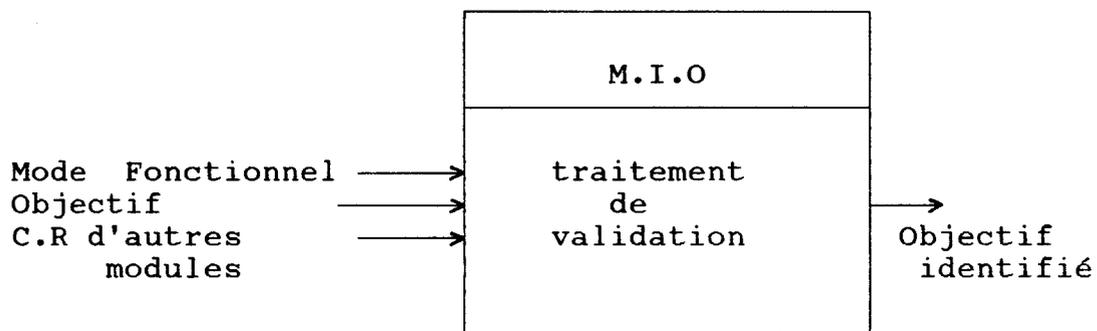
2.1.2. INFORMATIONS D'ENTREE/SORTIE DU MODULE :

L'identification se fait à partir de trois types d'informations :

- du mode fonctionnel* : qui peut être un mode de fonctionnement, un mode opératoire ou un mode de commande; ceci dépendra du niveau fonctionnel auquel se trouve le M.I.O en question, étant donné que les différents modes ne sont pas au même niveau.

- des objectifs, à atteindre, issus du(es) niveau(x) supérieur(s)

- des comptes rendus élaborés à partir des modules du même niveau.



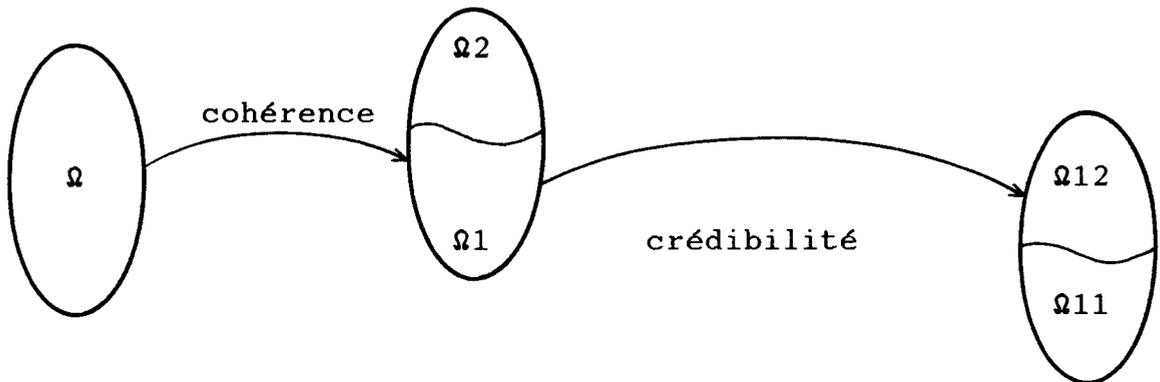
(*) le mode de commande est relatif aux différentes possibilités de commande du système de conduite : commande à distance, commande locale, système en essai ..., alors que le mode de fonctionnement (cf § 1-2-3, chapitre-1, première partie) et le mode opératoire sont relatifs au processus.

Un mode opératoire est défini comme l'enchaînement de la mise en oeuvre des matériels associés aux activités processus permettant d'assurer une fonction donnée (les modes opératoires tiennent compte naturellement des contraintes opérationnelles associées aux constituants).

Un exemple d'une telle activité est : le positionnement des vannes d'isolement, des vannes de conditionnements ... pour assurer une fonction de lignage liée à une activité de pompage.

2.1.3. TRAITEMENT:

Nous schématisons ci-dessous les deux aspects de traitements de validation d'un objectif :



Avec: - Ω : l'ensemble des objectifs à un instant t ,

- Ω_1 : " " " cohérents à l'instant t ,
- Ω_2 : " " " non " " ,
- Ω_{11} : " " " valides " ,
- Ω_{12} : " " " non " " .

Le traitement assuré par un M.I.O se présente comme l'enchaînement de deux traitements, comme le montre la structure suivante.

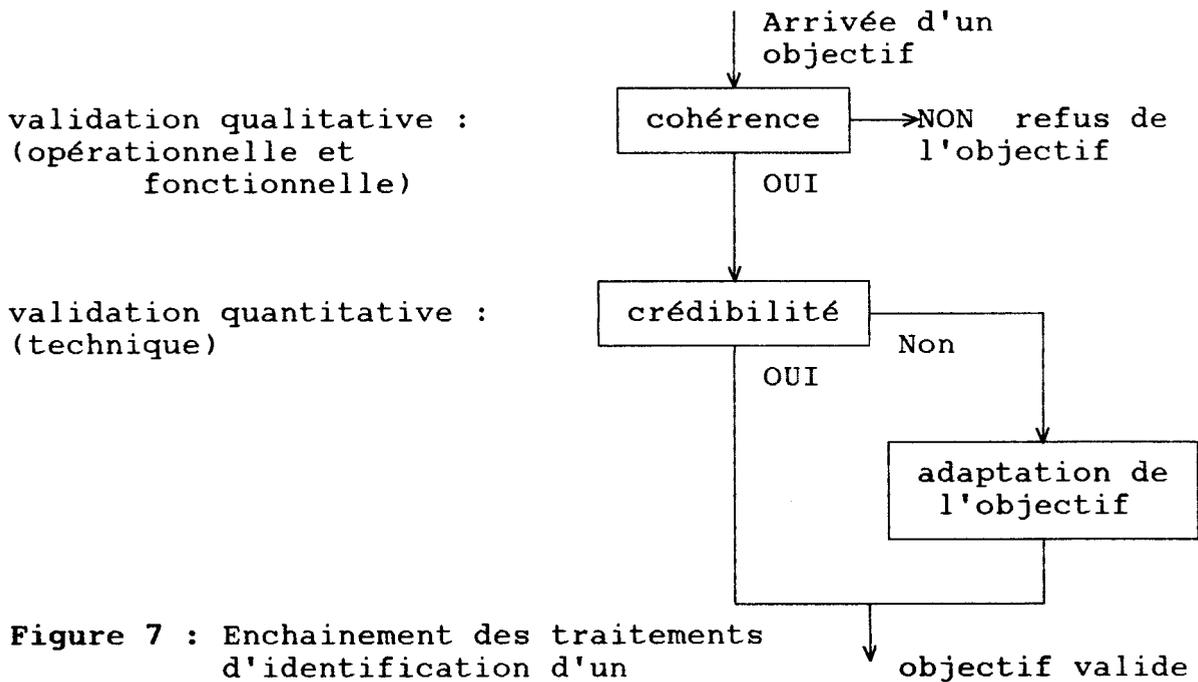


Figure 7 : Enchaînement des traitements d'identification d'un objectif

Nous décrivons les traitements de validation, après avoir proposé une définition d'un objectif.

1) DEFINITION D'UN OBJECTIF :

Un objectif peut être défini comme un ensemble de valeurs admises :

- pour un vecteur de variables analogiques $a=(a_1,a_2,\dots,a_n)$
- pour un vecteur de variables logiques $l=(l_1,l_2,\dots,l_p)$

L'objectif $\Omega(t)$ à satisfaire à l'instant "t" est un sous-ensemble des valeurs possibles de ces vecteurs, avec :

$$\Omega(t) = A \cdot L \underset{C}{C} \underset{R}{R} \cdot \{0,1\}^n \cdot \{0,1\}^p$$

A chaque mode de fonctionnement m (avec $m \in$ aux modes de fonctionnement possibles) est associé un ensemble de valeurs possibles pour le vecteur "a" et pour le vecteur "l" dans ce mode, c'est-à-dire :

$$m \longrightarrow \Omega_m = A_m \cdot L_m \underset{C}{C} \underset{R}{R} \cdot \{0,1\}^n \cdot \{0,1\}^p$$

2) TRAITEMENT DE COHERENCE :

Définition des objectifs cohérents :

Les objectifs cohérents sont les objectifs possibles dans un mode de fonctionnement donné. Ces derniers découlent d'un recensement exhaustif des objectifs à satisfaire indifféremment des modes de fonctionnement, mais en précisant, pour chaque mode les objectifs qui lui sont attribués.

Ce premier traitement peut être assimilé à un filtrage (au sens le plus large du mot), dont le but est d'assurer une certaine cohérence des informations d'entrée du module en fonction de l'environnement fonctionnel et opérationnel (on peut se trouver en fait face à un paradoxe, inexistant en traitement des automatismes classiques, puisque un module de niveau hiérarchiquement inférieur peut contester et refuser une commande émanant du niveau supérieur).

L'ensemble " Ω " des informations d'entrée (ses éléments sont issus soit de l'opérateur soit d'un automate de niveau fonctionnel supérieur) est décomposé en deux sous-ensembles :

- Ω_1 : sous-ensemble des objectifs cohérents,
- Ω_2 : sous-ensemble des objectifs incohérents.

En effet, les M.I.O reçoivent des ordres, mais ceux ci ne sont pas tous émis comme objectifs. Ils peuvent être aussi des ordres perturbateurs qui seront interprétés comme des objectifs si on ne prend pas le soin de les distinguer des premiers. Ces perturbations peuvent être d'origines diverses : perturbation électromagnétique sur le réseau, fausse manipulation (erreur d'adressage par exemple...).

L'objectif du traitement de cohérence est d'assurer la séparation de Ω en deux sous-ensemble, de telle sorte que :

$$\Omega_1 \cap \Omega_2 = \{ \emptyset \}.$$

Il s'agit donc d'une validation qualitative de l'objectif.

Position du problème :

Le problème qui se pose est le suivant : comment distinguer un objectif cohérent d'un objectif non cohérent?.

Pour pouvoir répondre à cette question, nous pourrions nous appuyer sur des critères de rattachement d'un objectif à un mode fonctionnel. Celui-ci sera comparé aux représentant des modes pour lesquels la valeur de l'objectif est complètement satisfaisante : évaluation = 1.

La validation des objectifs passe par une étude plus précise sur la typologie des objectifs relatifs à chaque mode fonctionnel. C'est une des premières difficultés à surmonter, étant donné que les objectifs à satisfaire sont d'une grande disparité.

GRABOT a particulièrement mis l'accent sur les moyens de codage des données et sur les critères d'identification et d'évaluation des éléments en vue des traitements des informations destinées à l'aide de décision ([GRA-88] chapitre 4).

Plusieurs critères sont proposées pour l'évaluation de chaque objet, en s'appuyant sur des fonctions de possibilités dans plusieurs types de cas, comme par exemple pour :

- Evaluation du degré de satisfaction d'un objectif en fonction d'un attribut et d'un critère donné.
- Proposition de fonctions de ressemblance d'un objet avec un objet type, afin d'identifier :
 - * les résultats réels par rapport aux résultats prévus,
 - * les situations réelles par rapport aux situations attendues.

En général, ces différentes évaluations ne donnaient pas des nombres précis, mais des intervalles flous, exprimant l'imprécision ou l'incertitude des connaissances ayant servi de support à l'évaluation (imprécision des mesures, données linguistiques, approximations dans la définition des opérations...).

En ce qui nous concerne, nous adoptons un formalisme ensembliste. En effet, La cohérence de $\Omega(t)$ pourrait se traduire par une relation d'appartenance de $\Omega(t)$ à Ω_m (avec Ω_m l'ensemble des objectifs possible dans le mode de fonctionnement "m"). Par conséquent :

- Un objectif $\Omega(t)$ est cohérent si et seulement si $\Omega(t) \subset \Omega_m$.
- Un objectif $\Omega(t)$ est incohérent si et seulement si $\Omega(t) \cap \Omega_m = \{\emptyset\}$.

Fonction de cohérence :

Nous allons devoir trouver une fonction et des critères de cohérence de ces objectif, et définir :

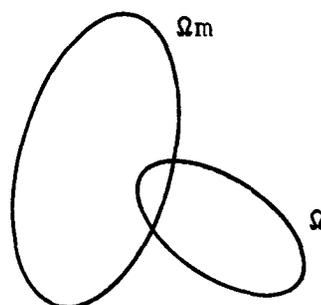
- des seuils " α " en dessous desquels l'objectif ne peut se satisfaire normalement, on déclenche donc le traitement de crédibilité,
- et d'autres seuils " β " en dessous desquels l'objectif ne peut absolument pas se satisfaire.

Le déroulement de la validation des objectifs devra faire largement appel à l'expertise des responsables de fonctionnement, de gestion de production et des exploitants.

La cohérence d'un objectif est assurée par une fonction de décision, en lui associant un indice de confiance $c(\Omega)$. Cette fonction peut être définie par l'expression suivante :

$$c(\Omega) = \frac{\text{une certaine mesure de } (\Omega \cap \Omega_m)}{\text{une certaine mesure de } \Omega}$$

Donc, $c(\Omega) \in [0,1]$



Nous distinguons trois cas, en fonction de la valeur de cette indice :

1^{er} cas : $C(\Omega) \in [\alpha, 1]$, l'objectif est cohérent, accepté après crédibilisation.

2^{ème} cas : $C(\Omega) \in [\beta, \alpha]$, on ne peut pas décider, recherche de la valeur la plus proche ou demande de renvoi de l'objectif.

3^{ème} cas : $C(\Omega) \in [0, \beta[$ l'objectif est incohérent, on garde l'ancienne valeur ou on se met dans une position de repli sûre.

Nous illustrons dans la figure 7 les différents cas d'évaluation de la cohérence d'un objectif.

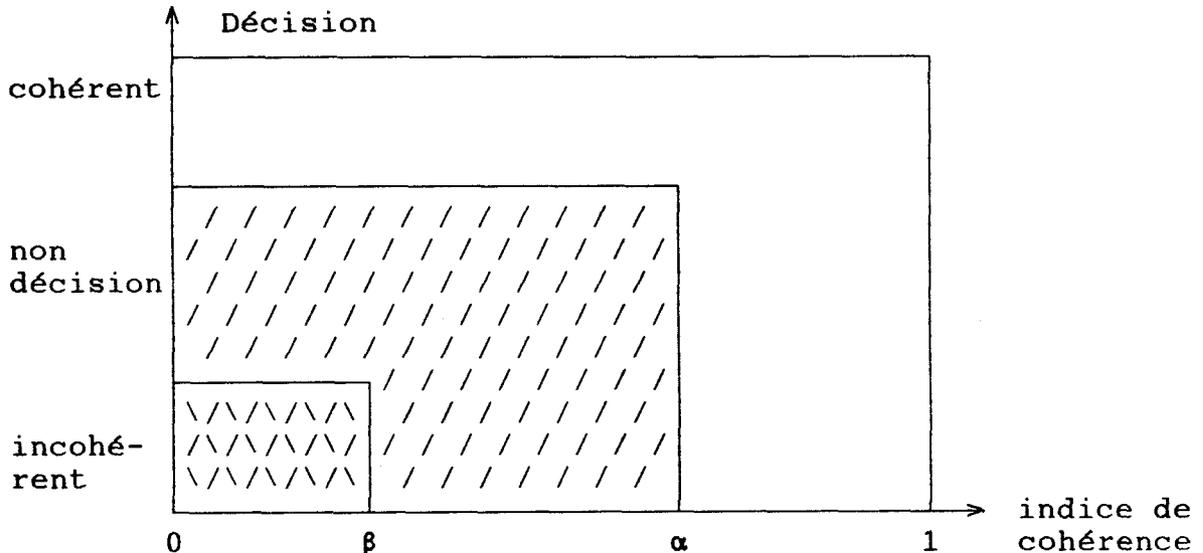


figure 7 : Critère d'évaluation de la cohérence d'un objectif

La qualité de la fonction de décision dépend du choix des seuils α et β .

Exemple, de traitement de cohérence d'une variable analogique.

Soit une variable analogique $\Omega \in [x, X]$, caractérisée par "L" la longueur de son intervalle d'évolution.

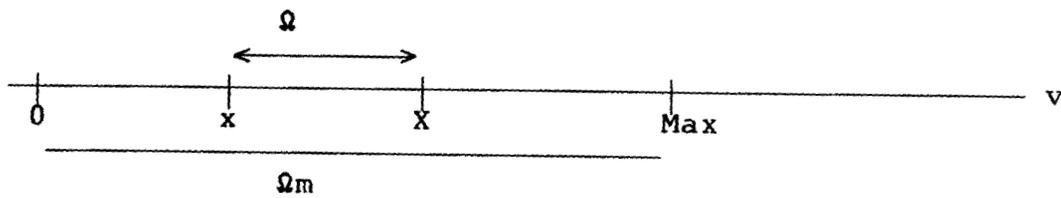
Soit la variable analogique $\Omega_m \in [0, \text{Max}]$ associée à Ω dans le mode de fonctionnement m .

Nous pouvons définir ici $C(\Omega)$ par le rapport suivant :

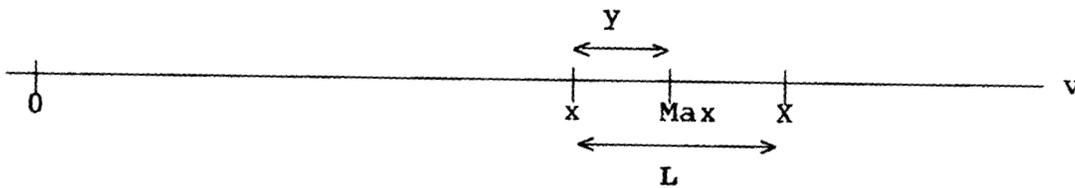
$$C(\Omega) = \frac{y}{L} \equiv \frac{\text{longueur du segment } [\Omega \cap \Omega_m]}{\text{longueur du segment } \Omega}$$

Nous distinguons les trois cas décrits précédemment :

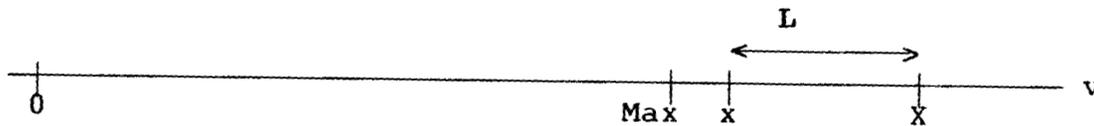
1° cas : $y=L \Rightarrow C(\Omega) = 1$



2° cas : $y < L \Rightarrow C(\Omega) \in]0,1[$



3° cas : $y=0 \Rightarrow C(\Omega) = 0$



Nous représentons l'étude du cas générale concernant une variable analogique, dans la figure 8, dans laquelle nous distinguons 3 zones dans le demi plan autorisé, formé par les bornes inférieur et supérieur de l'intervalle de la variable.

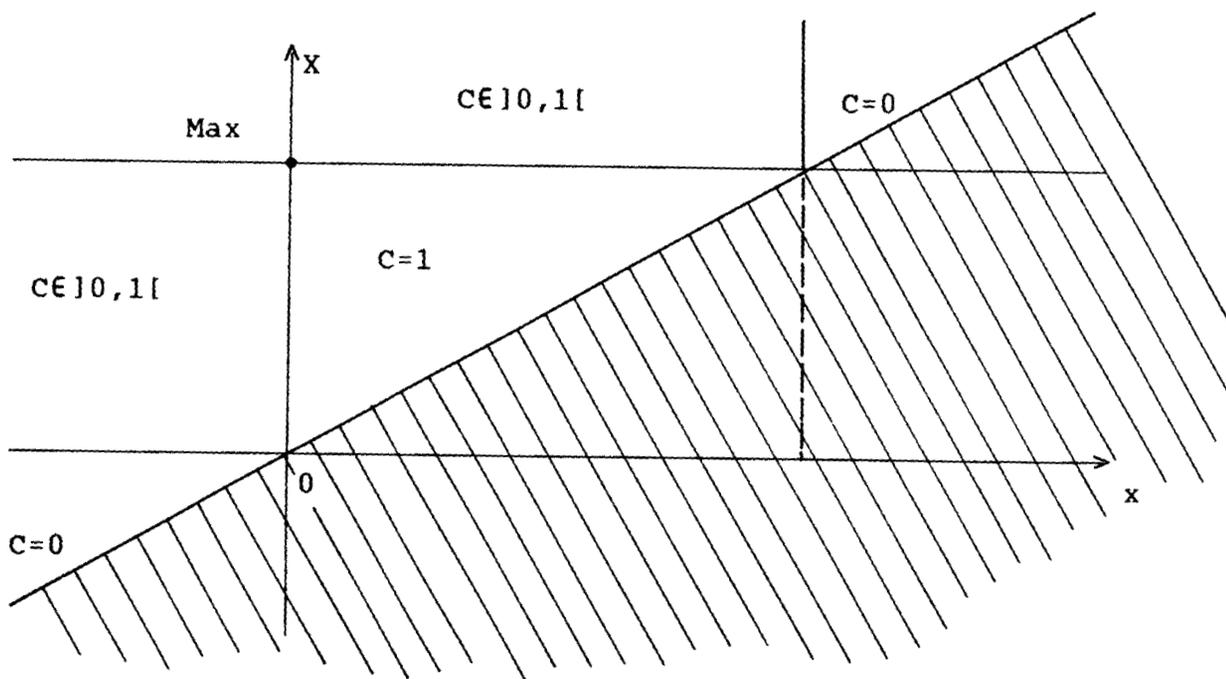


Figure 8 : Rattachement de l'indice de cohérence aux différentes zones d'évaluation

REMARQUES :

1 - Par ce fait, l'élaboration des traitements de cohérence consistera à affecter un indice de confiance à un objectif donné à un instant donné.

2 - On constate que si $\alpha = \beta$, la zone d'indécision n'existera plus. Ceci correspond à un résultat logique donc déterministe qui peut être utile dans le cas des objectifs logiques.

A la lumière de cette deuxième remarque, deux types de décisions peuvent être envisagés:

- décision déterministe : cohérent ou non cohérent (vrai ou faux)

- décision probabiliste : le résultat sera donné avec un indice de confiance.

Avec un avantage certain pour le premier type, étant donné qu'il est pragmatique et plus facile à mettre en oeuvre.

2) LE TRAITEMENT DE CREDIBILITE :

Ce traitement concerne la génération des objectifs crédibles, c'est-à-dire, la recherche de la valeur la plus proche d'un des objectifs appartenant au 2ème cas, cf ci-dessus.

Dans chaque mode fonctionnel on compare les objectifs demandés à l'instant t avec les éléments admissibles dans ce mode en fonction des modes opératoires.

C'est en fait, un traitement de mise en forme qui peut être formulé en termes de problème de compatibilité entre la valeur de l'objectif à satisfaire $\Omega(t)$ à un instant t, une consigne par exemple, et la valeur la plus proche $\Omega'(t)$ à cet instant, contenue dans une fourchette préalablement élaborée.

C'est-à-dire, entre ce qu'on demande au système et ce qu'il est capable de faire dans les meilleures conditions de fonctionnement; on cherche donc à quantifier la validité d'un objectif.

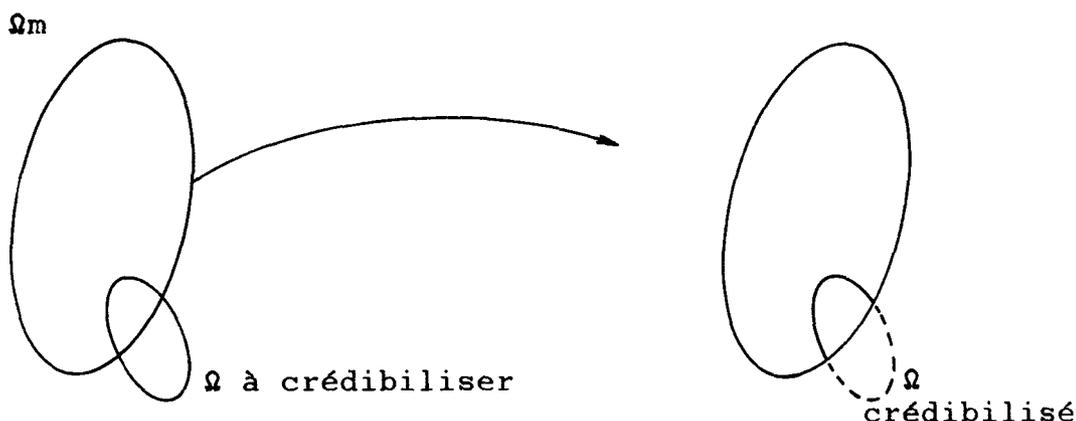
Le traitement de crédibilité est une fonction de transformation, permettant de transformer la valeur d'un objectif Ω (si $C(\Omega) \in [\beta, 1[$) en une autre valeur, représentant un objectif Ω' , avec :

$$\Omega' = \Omega \cap \Omega_m$$

Nous schématisons ci-dessous cette transformation.

$$\Omega' = \Omega \cap \Omega_m$$

Nous schématisons ci-dessous cette transformation.



Tant que : $\text{Min}(\Omega_m) \leq \Omega(t) \leq \text{Max}(\Omega)$

le traitement de crédibilité se réduit à sa simple expression, donc $\Omega(t)$ ne subit aucun traitement.

Alors que ce traitement prend toute son importance dès que $\Omega(t)$ est en dehors de la fourchette définie ci-dessus.

En effet la valeur de $\Omega(t)$, dans ce cas, n'est plus acceptable. On cherche alors une estimation de $\Omega(t)$ en fonction des valeurs admissibles à l'instant "t", et on envoie un compte rendu aux niveaux supérieurs.

L'expression $\Omega'(t)$ de la valeur estimée dépend évidemment de l'expression de $\Omega(t)$, mais dans tous les cas elle est fonction des paramètres suivants :

$$\Omega'(t) = f(\Omega(t), \text{Min}(\Omega_m), \text{Max}(\Omega_m))$$

Prenons un exemple pour illustrer le traitement de crédibilité décrit ci-dessus.

Nous supposons que dans un mode de fonctionnement donné, nous ne devons satisfaire que des objectifs de valeurs comprises entre 0 et 60% de la valeur maximale.

Le fait de recevoir des valeurs variant de 40 à 80% par exemple déclenche le traitement de crédibilité, étant donné que $\text{MAX}=60$, $x=40$, $X=80$, donc :

$$C(\Omega) = 0.5 \quad \text{et} \quad \Omega' = [40, 60]$$



2.2 MODULE D'IDENTIFICATION D'ÉTAT: M.I.E

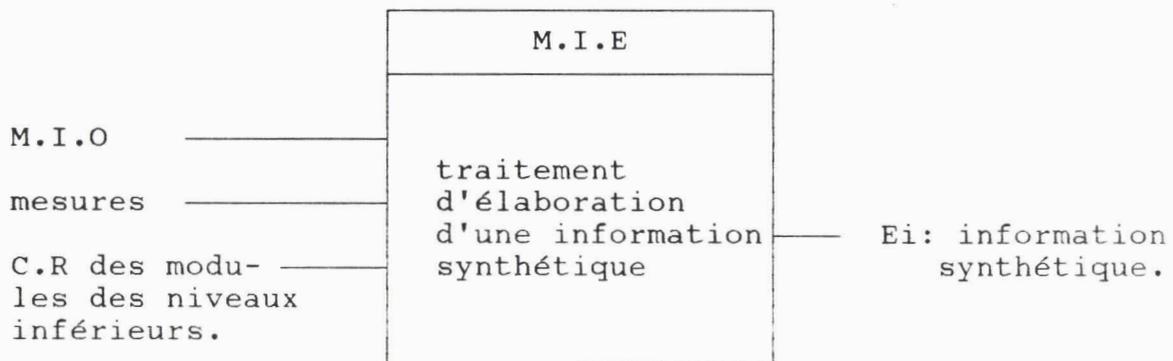
2.1.1 - ROLE :

Elaborer une information d'état d'un niveau fonctionnel, en fonction des états de tous les subordonnés du M.A.3C, cette information doit être synthétique et fiable

L'information élaborée devrait nous renseigner sur la bonne ou la mauvaise santé d'un sous-processus, d'une fonction, d'un actionneur..., par exemple sur leur aptitude à assurer un objectif : leur disponibilité ou leur indisponibilité.

Cette information sera reprise, dans le cas d'une indisponibilité, par des modules de maintenance et complétée éventuellement par d'autres informations spécifiques à la fonction maintenance. La réponse de ces modules devrait nous fournir un justificatif de cette indisponibilité (maintenance, panne...).

2.1.2 - INFORMATIONS D'ENTREE/SORTIE DU MODULE



Le MIE élabore son résultat à partir des informations issues principalement :

- du M.I.O du même M.A.3C,
- des mesures : issues des éléments de commande et de l'instrumentation associée à l'organe mécanique, lorsqu'on se trouve au niveau le plus bas (niveau des actionneurs par exemple)
- des M.A.3C des niveaux inférieurs, essentiellement des comptes rendus élaborés dans leur M.A.C.

2.2.3) TRAITEMENT :

Le traitement concerne tous les problèmes qui interviennent depuis l'observation des informations jusqu'à l'identification de l'état d'un système.

Il pose cependant un des problèmes les plus difficiles à résoudre : quelles informations doit on considérer, quelles observations doit on présenter pour permettre une identification rapide de l'état réel du système observé?.

Deux types de recherche sont menés en vue d'identifier l'état réel d'un système [GRA-88] :

- Recherches basées sur les symptômes, au cours desquelles des "cadres symptomatiques" sont pré-stockés. L'opérateur cherche à acquérir les informations permettant de différencier les situations connues. Ce type d'observations convient plutôt aux agents de maintenance.

- Recherches topographiques, qui se basent sur la déviation par rapport à l'état normal, obtenu en comparant le fonctionnement réel à un modèle du fonctionnement correct.

On constate que la recherche d'informations est donc dirigée par les données ayant servi à décrire le fonctionnement normal du processus, d'où l'importance d'une analyse fonctionnelle assez rigoureuse permettant de dégager un maximum de renseignements sur le fonctionnement du processus.

Dans les deux cas, l'utilisation des modèles impliqués par la recherche suppose une délivrance d'informations à un niveau d'abstraction convenable, informations synthétiques, et non une simple communication d'informations élémentaires.

Pour assurer le rôle assigné à ce module, ses traitements doivent être fondés avant tout sur des informations crédibles.

L'élaboration des informations crédibles nécessite des traitements de validation de mesure : validation technologique.

L'élaboration d'une information crédible et fiable nécessite une validation individuelle de chaque mesure, dont l'intérêt est double :

- limiter la propagation des informations erronées,
- surveiller la chaîne de mesure et détecter éventuellement le chaînon défaillant.

Plusieurs techniques existent et sont opérationnelles industriellement [HAM-86] comme :

- la comparaison à certains seuils statiques et dynamiques,
- le test de certaines caractéristiques de la chaîne de mesure,
- l'étalonnage des capteurs,
- la redondance directe et le vote majoritaire ...

Ce type de traitement constitue à lui seul un axe de recherche important. Par ce fait, on suppose dans la suite que les informations exploitées dans les M.A-3C et en particulier dans les M.I.E sont issues des mesures valides. Pour plus d'information à ce sujet cf [HAM.86], [STA-88], [ZWI-83].

Partant des informations validées techniquement, l'élaboration d'une information d'état synthétique sûre et fiable nécessite une double validation : opérationnelle et fonctionnelle que nous décrivons ci-dessous.

1 - validation opérationnelle :

La validation opérationnelle consiste à faire des traitements groupés de plusieurs informations, afin d'élaborer une information synthétique sur l'état de fonctionnement d'un sous-processus.

Ces informations peuvent être d'origines diverses :

- une multiplicité d'événements qu'il faut combiner pour élaborer une information synthétique. Par exemple, les différents fins de course et les limiteurs de couple pour un actionneur, un ensemble d'information "synthétiques" d'états des niveaux inférieurs.

- une redondance d'une information d'entrée (ce qui est souhaitable par ailleurs) à partir de plusieurs sources délivrant des informations cohérentes entre elles. C'est le cas des redondances actives des modules fonctionnels d'automatisme, ceci n'a de sens que pour les niveaux fonctionnels supérieurs car, les informations issues des capteurs redondants sont traitées en principe dans la validation technique,

- etc.

La validation opérationnelle nécessite donc une multiplicité des informations et son traitement ne sera que du combinatoire ou de simples opérations arithmétiques.

C'est un traitement déterministe fondé sur des règles ou des fonctions exprimant les mécanismes nécessaires pour l'élaboration d'une information représentative du fonctionnement d'un processus.

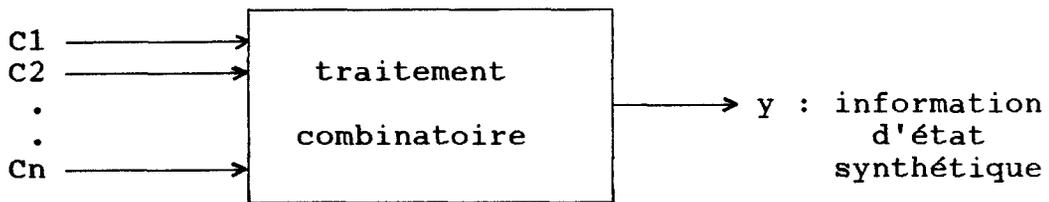


Figure 9 : Validation opérationnelle d'une information

Nous présentons ci-après un exemple traitant un cas réel, pour illustrer cette validation opérationnelle.

Considérons les signaux binaires issus de l'instrumentation associée à une vanne, avec :

fdcl : fin de course n°1 $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{vanne fermée SM1} \\ \rightarrow \text{vanne non fermée SM2} \end{array} \right.$

fdc2 : fin de course n°2 $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{vanne ouverte SM3} \\ \rightarrow \text{vanne non ouverte SM4} \end{array} \right.$

Des informations sur la position de la vanne peuvent être obtenues par les combinaisons suivantes, avec "/" négation logique.

OU = SM3./SM4./SM1.SM2 la vanne est ouverte

FE = SM1./SM3./SM2.SM4 la vanne est fermée

ID = OU.FE+OU./FE position indéterminée de la vanne.

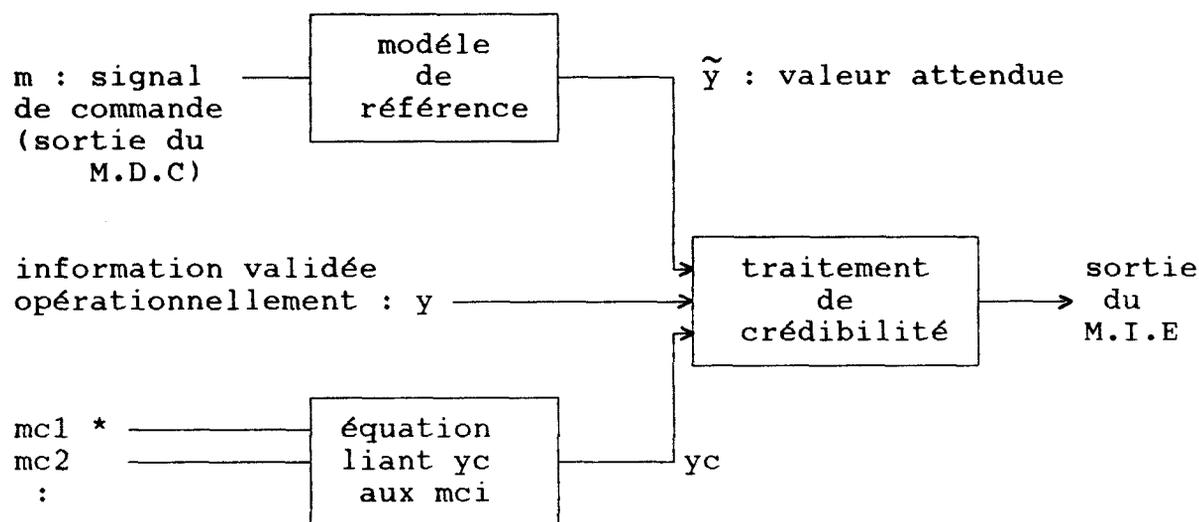
2 - validation fonctionnelle :

Pour apprécier l'authenticité de l'information validée opérationnellement, le traitement pourrait se poursuivre par une validation fonctionnelle, pour tenir compte de l'environnement fonctionnel du sous-processus, de la fonction ..., afin d'élaborer une information synthétique et crédible.

Le traitement assuré dans ce cas se base sur trois types d'informations qu'il convient de combiner :

- une (ou plusieurs) information(s) validée(s) opérationnellement,
- une (ou plusieurs) information(s) corrélée(s) avec la première,

- et enfin une (ou plusieurs) information(s) estimée(s) à partir d'un modèle de référence, il peut s'agir du modèle d'un sous-processus (physique), d'une fonction, d'un comportement d'une variable en fonction d'une autre, etc...



* mc: mesure corrélée avec la variable d'état

Figure 10 : Validation fonctionnelle d'une variable d'état

La présence d'un des deux types de variables \tilde{y} ou y_c sera suffisant pour apprécier la validation fonctionnelle de la variable d'état.

Le traitement de crédibilité peut être assuré par une fonction de décision (comme dans le cas d'identification d'un objectif) qui en fonction de l'écart δ ,

$$\delta = | y - \tilde{y} | \quad \text{et/ou} \quad \delta = | y - y_c |$$

permet de rendre un jugement sur la crédibilité de l'information d'état.

2.3 MODULE DE DECISION ET DE COMMANDE: M.D.C

2.3.1. ROLE

Ce module a un rôle double :

- D'une part, il doit comparer l'objectif identifié dans le M.I.O avec l'état du processus élaboré par le M.I.E. S'il y a incompatibilité entre ces deux données, il la signale à ses supérieurs et son rôle s'arrête là, sinon il entame son deuxième rôle.

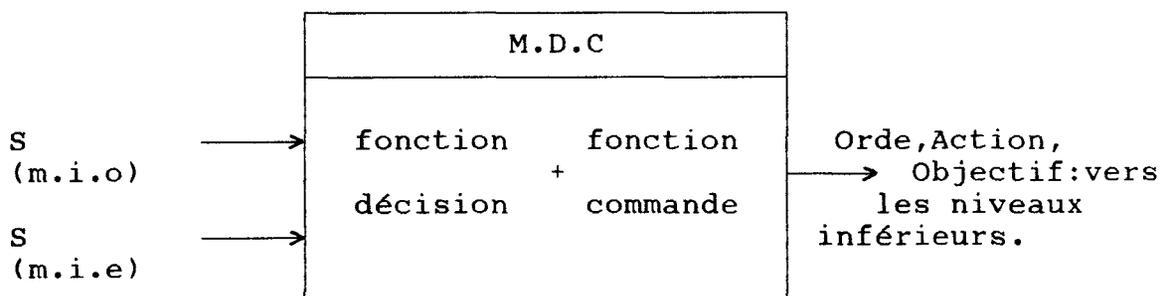
Il joue, donc, un rôle décisionnel : il décide de donner suite ou non à l'objectif assigné.

- D'autre part, il doit générer à son tour un ordre (ou un objectif) vers les niveaux inférieurs, dans le cas où il y a compatibilité entre l'objectif souhaité et l'état du processus : c'est son deuxième rôle.

2.3.2. INFORMATIONS D'ENTREE/SORTIE DU MODULE

Les informations d'entrée de ce module sont de type classique, à savoir :

- Les consignes, sortie d'un M.I.O.
- Les variables à régler, sortie d'un M.I.E.



2.3.3. LES TRAITEMENTS

Les traitements sont aussi de deux types :

- les traitements pour remplir la fonction de décision, qui peuvent être des simples comparaisons logiques.

- les traitements pour remplir la fonction de commande. Ce sont les traitements habituels qu'on rencontre dans les fonctions classiques de commande, de régulation ..., qui peuvent aller de la simple fonction logique à des algorithmes de régulation plus élaborés.

Le traitement se déroule comme suit : après acquisition des deux données (objectif & état) et après analyse de la possibilité de réalisation de l'objectif, par la fonction de décision, le module lance l'un des deux traitements suivants :

- soit donner l'ordre d'action, s'il n'y a pas d'incohérence entre l'objectif et l'état,

- soit envoyer un compte rendu aux niveaux supérieurs en indiquant le fait; ceci évite d'envoyer des ordres qui ne seront jamais réalisés.

Les comptes rendus peuvent être destinés soit à l'opérateur soit à des M.A.C de diagnostic par exemple, dans ce cas le M.D.C a un rôle de détection.

2.4 MODULE D'ANALYSE DE COMPORTEMENT: M.A.C

2.4.1. ROLE

Si les trois modules décrits précédemment ont pour vocation la fiabilisation des traitements de contrôle-commande, le M.A.C quant à lui, doit alléger le travail mental des opérateurs (de conduite, de maintenance et de gestion technique).

Généralement le travail de l'opérateur se déroule comme suit :

- acquisition des clichés par balayage visuel de "l'état" des différents constituants.

- appréciation :
 . de la crédibilité des informations lues,
 . de la disponibilité des équipements
 constituant l'installation.

- mémorisation des commandes qui doit effectuer.

- évaluation de la situation :
 . de son instrumentation,
 . de ses actionneurs et des équipements de
 son installation.

Mais on constate que l'évolution des S.C.C s'accompagne d'un nombre d'informations de plus en plus important, ce qui va surcharger le travail de l'opérateur.

A partir de ces modules, nous souhaitons offrir une aide aux opérateurs, en les conseillant sans pour autant les noyer sous une vague d'informations diverses.

Pour répondre aux exigences fonctionnelles et diminuer les contraintes de sûreté de fonctionnement l'opérateur de demain doit être assisté, cette assistance concerne tous les opérateurs mentionnés ci-dessus.

Par exemple, l'opérateur de conduite sera confronté à des problèmes nécessitant la mise en oeuvre des connaissances de haut niveau sur le fonctionnement du processus, cf figure-1, il aura besoin, [GAL-86] :

- des informations valides et cohérentes (ce rôle sera désormais rempli par les M.I.E),
- des informations d'anticipation d'incidents,
- des informations synthétiques de la situation de l'installation ...

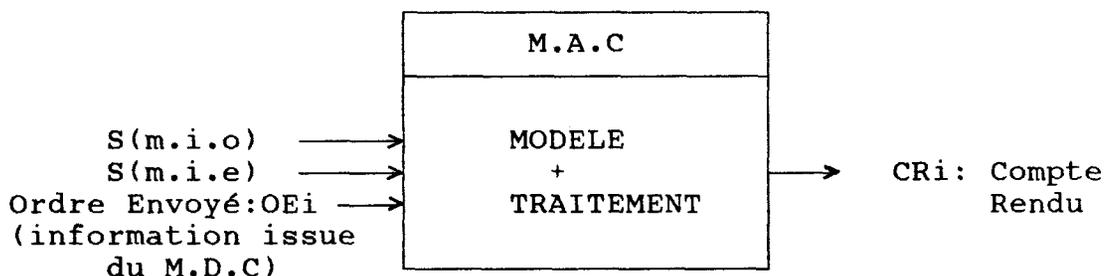
Le rôle principal de ce module, comme son nom l'indique, est l'analyse, à tout instant, du comportement de ses subordonnés.

Il doit nous renseigner, donc :

- sur la bonne ou la mauvaise exécution d'une action, et par conséquent sur celle de l'objectif (il assure donc le suivi de l'exécution d'une action ou d'un ordre).
- et sur l'évolution de l'état des subordonnés du MA3C, auquel appartient le M.A.C, en fonction de l'objectif assigné et du mode de fonctionnement dans lequel se trouve le processus et de l'état de ce dernier, élaboré par les M.I.E (il assure donc le suivi de l'évolution de l'état).

2.4.2. LES INFORMATIONS D'ENTREE/SORTIE DU M.A.C

Les informations d'entrées des M.A.C sont des données qui sont issues du M.I.O, du M.I.E et du M.D.C.



Les comptes rendus sont essentiellement destinés :

- soit à la signalisation,
- soit à l'élaboration d'état d'un niveau supérieur,
- soit aux modules de maintenance et/ou de gestion technique.

2.4.3. LES TRAITEMENTS :

L'élaboration des informations ci-dessus nécessite des traitements d'aide à la prise de décision.

Une décision est le fruit d'une analyse comportementale, qui nécessite la connaissance des différentes situations dans lesquelles le processus peut se trouver.

Par ce fait, l'observation de l'évolution du processus est fondamentale, généralement son évolution dans le temps est plus intéressante du point de vue informationnel que l'observation de son état uniquement à certains instants.

L'analyse de comportement concerne, en fait, les trois fonctionnalités des systèmes de contrôle-commande à savoir : la conduite, la maintenance et la gestion technique.

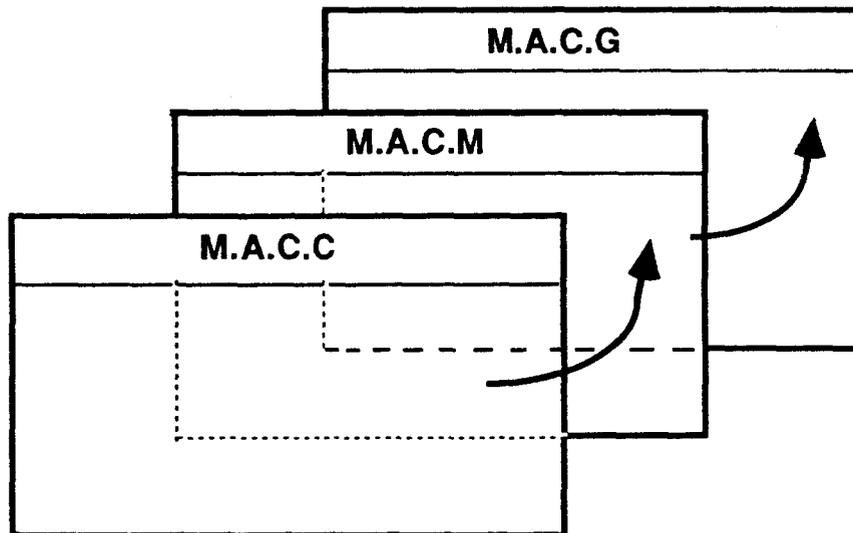


Figure 11 : Structure conceptuelle d'un M.A.C.X

Etant donné que les concepts des M.A.3C s'intègrent dans le contexte des systèmes d'aide aux opérateurs, (aide à la conduite, à la maintenance...), leur M.A.C doivent assurer :

- des tâches prédictives de l'évolution de l'état du processus,

- des tâches de diagnostic anticipatif ou d'analyses hypothétiques (analyse basée sur des hypothèses),

afin d'offrir aux opérateurs des informations qui leur permettent de prendre des actions correctives suffisamment tôt pour éviter des arrêts inutiles.

D'après ce qui précède, on constate que les traitements assurés par les M.A.C. ne seront pas forcément basés sur des raisonnements déterministes.

L'introduction des systèmes experts pour les traitements d'aide à l'opérateur peut contribuer à résoudre ces problèmes et en particulier, dans les M.A.C.M et les M.A.C.G (maintenance et gestion technique), car il faut pouvoir prendre en compte des situations anormales du processus sans cause présumée (i.e existence de pannes non répertoriées).

Par contre pour les M.A.C.C (conduite) on a besoin de systèmes d'aide qui adoptent des stratégies de raisonnement dans un environnement dynamique et dont le temps de réponse est faible vis-à-vis des constantes de temps du processus.

Ce deuxième point ne semble pas être satisfait par un système expert classique dès que l'application devient relativement complexe [TAN - 87].

L'approche de modélisation

L'analyse fonctionnelle du processus nous a permis de dégager des variables de contrôle et de commande aux différents niveaux de la structure fonctionnelle du processus.

Il existe des liens entre chaque couple : (variable_de_contrôle, variable_de_commande) de chaque niveau fonctionnel.

Pour mettre en évidence ces liens on a besoin de traitements de plus en plus fins, nécessitant une description relationnelle de plus en plus précise (au fur et à mesure qu'on parcourt la pyramide du haut en bas). Par ce fait, la modélisation à adopter sera aussi fonction du niveau fonctionnel.

Avoir des expressions exprimant les tendances de la variable de contrôle en fonction de la variable de commande serait suffisant pour les niveaux les plus hauts.

Par contre pour les niveaux les plus bas on aura besoin de relations plus fines donc, une modélisation plus précise car dans ces niveaux on se trouve en interaction directe avec le matériel et la sécurité de l'installation en dépend.

On distingue donc trois types d'analyse de comportement :

1 - les analyses ciblées conduite :

Elles permettent à l'opérateur (de conduite) d'apprécier les **conditions de fonctionnement** des différents constituants de son processus.

Les traitements assurés par ce module ont pour vocation principale la surveillance du comportement du processus.

Le but de ces traitements est de mesurer la ressemblance ou la dissemblance entre l'(es) objectif(s) et l'(es) état(s) en s'appuyant sur des critères de distance ou sur les indices de proximité...

Cependant, quel que soit le modèle utilisé, les traitements associés doivent assurer la **détection des états anormaux**.

La dérive par rapport au fonctionnement normal peut être un moyen efficace de détection. Ce type de détection est préférable à celui de la comparaison de la variable courante aux seuils "d'alarmes".

Ce dernier type de détection peut s'avérer inefficace, étant donné que il ne laisse pas le temps à l'opérateur ou aux équipements d'automatismes pour réagir. D'autant plus que la génération d'alarmes, sans un filtrage efficace, risque de saturer le système et noyer l'opérateur.

Il nous paraît donc préférable d'anticiper cette détection, en assurant le suivi de l'évolution temporelle de la variable significative en surveillant son gradient, par exemple.

Une variation brutale du gradient peut être très représentative, sans que la variable dépasse pour autant les seuils pré-fixés. On peut par ce fait déclencher des traitements de diagnostic, sans attirer l'attention de l'opérateur.

2 - les analyses ciblées maintenance :

Ces analyses permettent à l'opérateur d'apprécier l'**état de fonctionnement** des constituants de son processus, en assurant des traitements pour (cf, première partie, chapitre 1, § 1-4-3) :

- * la maintenance prédictive
- * " préventive.
- * " curative

La notion de diagnostic sur les causes d'anomalies sera l'activité principale des deux premières maintenances. Nous décrivons cette notion ci-dessous.

La détection d'une anomalie est l'événement principal pour déclencher le processus de diagnostic, afin de renseigner l'opérateur sur la cause probable de celle-ci.

On distingue deux causes principales d'anomalies :

1 - **Les pannes matérielles** : Lorsqu'on se trouve au niveau le plus bas, les causes de pannes les plus probables sont les défaillances matérielles, le résultat du diagnostic sera donc la localisation du composant physique défaillant.

Parmi les anomalies détectables pour un actionneur par exemple, on distingue :

T.T.L.E (Temps Trop Long en Execution) fermeture

T.T.L.E (Temps Trop Long en Execution) ouverture

blocage en fermeture

blocage en ouverture

etc ...

La localisation d'une panne peut se baser sur plusieurs stratégies, comme par exemple la détection hiérarchisée de l'anomalie.

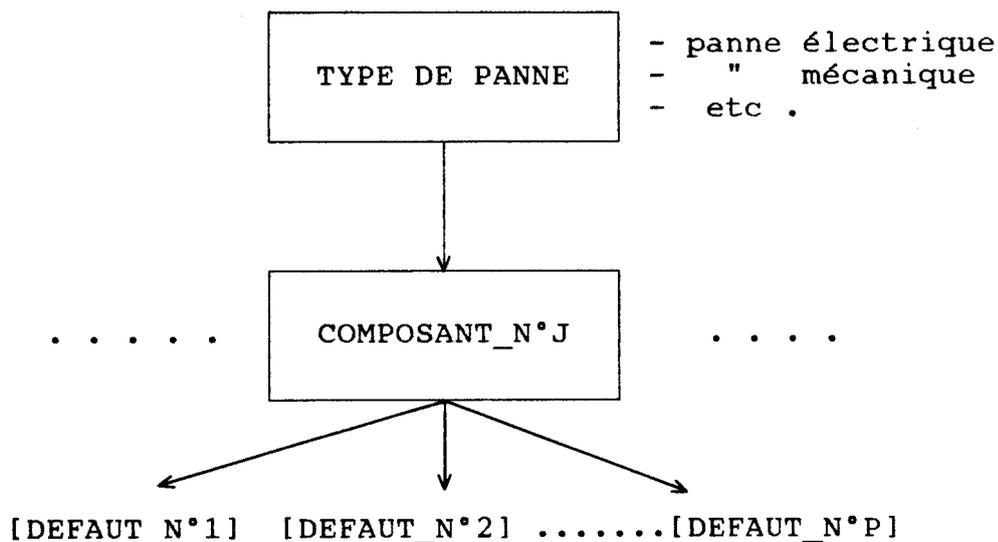


Figure 12 : Détection hiérarchisée d'une anomalie

Cette détection peut être facilitée si on utilise une méthode structurée, comme l'arbre de défaillance (cf première partie, chapitre-2, § 5-3-3).

2 - les anomalies fonctionnelles : on peut observer des états anormaux sans qu'il y ait une panne matérielle, des perturbations en sont souvent les causes (il sera souhaitable d'avoir des systèmes d'aide au diagnostic qui peuvent nous signaler le type et l'origine de la perturbation).

Dans la majorité des cas la présence de ce type d'anomalies déclenche des actions correctrices (correctrices dans le sens élimination de l'effet de l'anomalie).

Dans le cas, par exemple, d'une fonction classique de régulation, une variation anormale de la valeur d'une entrée engendre le processus de régulation, afin de ramener la variable régulée à la valeur demandée, sans se préoccuper de l'origine de cette variation.

3 - les analyses ciblées gestion technique :

Elles permettent à l'opérateur d'apprécier la qualité des constituants de son processus. Ces analyses concernent :

- les traitements de type statistique de défaut et/ou de marche, afin de planifier les entretiens et de déceler les éléments faibles de l'installation. Ces traitements peuvent concerner tout un système élémentaire, un type d'actionneur, un type de capteur ...

- l'aide documentaire à fournir aux opérateurs (les consignations, les plans à consulter lors d'une panne ...).

2.5. CONCLUSION

La réalisation des M.A.3C peut être d'un apport considérable pour les opérateurs de conduite, étant donné que par un M.A.C nous pourrons :

- * assurer le suivi des actions envoyées aux niveaux inférieurs
- * visualiser :
 - des courbes réelles,
 - des courbes attendues,
 - des courbes aux limites qui sont définies à partir des consignes et des schémas d'exploitation fournis par les constructeurs, qui définissent en fait les limites thermiques et mécaniques de fonctionnement du sous-processus, ces limites sont considérées comme des contraintes de fonctionnement par les automatismes.

La disparité des données d'entrées et des traitements de chaque module ne nous permet pas d'être plus exhaustif dans notre description, ceci reste à spécifier en fonction des cas précis et avec des experts dans le domaine (automaticiens, exploitants ...).

La description conceptuelle des M.A.3C proposée ici laisse une grande liberté quant au contenu de chaque module et au rôle joué par chacun en fonction de sa position dans une structure fonctionnelle hiérarchique.

CHAPITRE-3

APPLICATION DE L'APPROCHE DES M.A.3C POUR L'ETUDE DE CAS REELS

3.1 PREAMBULE

Nous présentons, dans ce chapitre, deux exemples assez largement répandus dans les systèmes de contrôle-commande des P.I.C à savoir : une fonction de régulation et une fonction de contrôle-commande d'une vanne.

Nous avons choisi ces exemples, étant donné que la plupart des P.I.C utilisent un nombre important de vannes (Tout Ou Rien : TOR, et réglantes) de toute natures (manuelles, motorisées...)

Toutes les vannes motorisées électriquement ont un point commun : elles sont toutes composées d'une partie mécanique "robinet" et d'une partie électrique "servomoteur", composée à son tour d'un préactionneur (partie contrôle) et d'un actionneur (partie puissance).

Les servomoteurs ont des caractéristiques différentes (quart de tour, multitour, temps de manoeuvre, course, couple...) qui dépendent du type de robinet (à papillon, à siège parallèle, à coin). Ces diversités nous obligent à restreindre l'étude à un cas particulier ou à la généraliser. Nous avons opté pour la deuxième possibilité afin de couvrir une large gamme.

Dans la suite, nous ne rentrons pas dans le détail des constituants d'une vanne, nous adoptons une approche plus générale pour la spécification de sa fonction de contrôle-commande.

3.2 M.A.3C D'UNE VANNE

Nous donnons un aperçu de l'étude fonctionnelle du contrôle-commande d'une vanne. Ces fonctions sont définies à partir des modules élaborés précédemment : M.I.O, M.I.E, M.D.C, M.A.C dont les entrées/sorties sont spécifiées ci-dessous.

Globalement le M.A.3C d'une vanne est caractérisé par la fonction qu'il assure : contrôle-commande de la vanne, et par ses entrées/sorties.

Les entrées du modules sont composées :

- d'une partie "objectifs" : ordres, besoins utilisateurs ...
- d'une partie "retours" : réponses de capteurs décrivant l'état du système ou estimations.

Les sorties du module sont les images des entrées par la fonction paramétrée (cas d'une vanne particulière) décrivant le fonctionnement du module.

La figure-13 donne une représentation fonctionnelle de ce module, nous en décrivons les modalités de fonctionnement ci-après.

La fonction du M.I.O d'une vanne

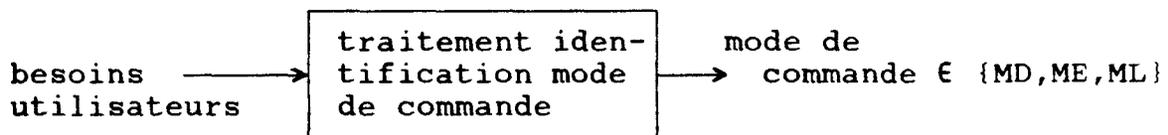
Ce module identifie la consigne de commande en tenant compte des modes de commande (Mode à distance : MD, Mode Local : ML, Mode Essai : ME) et des modes d'arrêts automatique spécifiés préalablement par le constructeur. Nous considérons dans la suite que les arrêts dûs :

- Aux fins de courses sont des arrêts normaux,
- Aux limiteurs de couple sont des arrêts anormaux.

Les limiteurs de couple seront donc utiles pour la protection, alors que les fins de courses seront utilisés pour le contrôle de la position de la vanne.

Le module intègre alors deux type de traitement :

1°) Un traitement pour l'identification du mode de commande, exprimant les besoins utilisateurs.



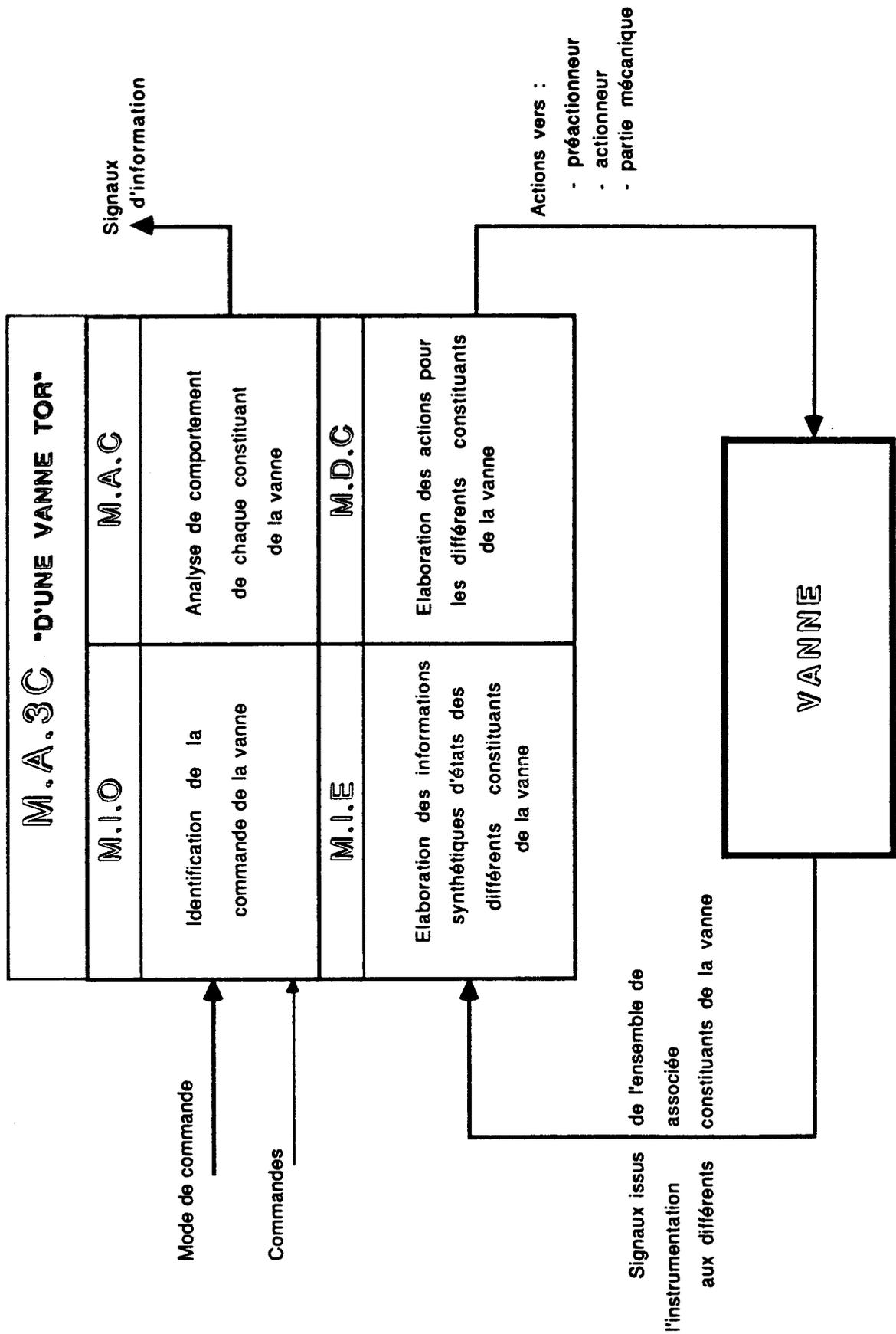
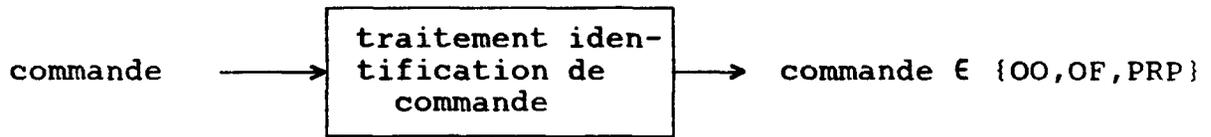


Figure 13 : Représentation fonctionnelle d'un M.A.3C d'une vanne

2°) Un traitement pour l'identification de la commande, exprimant les besoins fonctionnels.



OO = Ordre d'Ouverture

OF = Ordre de Fermeture

PRP = Position de Repli, dans un but de sauvegarde.

La fonction du M.I.E d'une vanne

Ce module devrait nous renseigner sur la position du robinet et sur son état, par le biais des informations issues de l'instrumentation associée aux différents constituants de la vanne (fins de courses, limiteurs de couples, ...).

Nous supposons que la vanne est équipée de fins de courses pour l'ouverture et d'autres pour la fermeture, chacun d'eux nous délivre deux informations, nous associons :

- les indices pairs aux fins de course d'ouverture,
- les indices impairs aux fins de course de fermeture.

Nous pourrions exprimer la validadion opérationnelle de l'état et de la position de la vanne par les expressions suivantes, dans lesquelles SM représente le signal issu d'un capteur et N représente le nombre de capteurs sur 2:

$$\text{Vanne ouverte : } Vou = \sum_{p=1}^N \overline{SM(2p)} \overline{SM(2p-1)}$$

$$\text{Vanne fermée : } Vfe = \sum_{p=1}^N \overline{SM(2p-1)} \overline{SM(2p)}$$

Vanne en position intermédiaire : Vit

$$\text{Vit} = \sum_{p=1}^N \overline{SM(2p-1)} \overline{SM(2p)}$$

Vanne en position indéterminée : Vid

$$\text{Vid} = Vou \cdot Vfe + (Vou \cdot Vfe \cdot Vit)$$

Vanne butée en ouverture : Vbo = (Vit+Vou) Σ (Ldc en ouverture)

Vanne butée en fermeture : Vbf = (Vit+Vfe) Σ (Ldc en fermeture)

Pour la validation fonctionnelle de l'état de la vanne, nous pourrions l'assurer par l'intermédiaire d'une variable E_v , exprimant l'état de la vanne en fonction des données issues du processus. Comme, par exemple la différence de pression aval/amont de la vanne représentée par la variable δP . Avec :

$$E_v = \delta P (V_{ou} + V_{fe})$$

Les deux cas intéressants de E_v , sont :

* $E_v = 0$, avec : $\delta P = 0$, $V_{ou} = 1$, $V_{fe} = 0$.

Conclusion : vanne totalement ouverte

* $E_v \neq 0$, avec : $\delta P \neq 0$, $V_{ou} = 0$, $V_{fe} = 1$.

Conclusion : vanne totalement fermée

La figure-14 représente l'identification de l'état d'une vanne TOR, par GRAFCET.

La fonction du M.D.C d'une vanne

Ce module joue le rôle classique d'une fonction de commande, en envoyant des actions vers la partie mécanique de la vanne : ouverture, arrêt d'ouverture, fermeture, arrêt de fermeture... en fonction des ordres issus du MIO et de l'état issu du MIE.

La figure-15 résume les différents traitements remplis par ce module, pour une vanne TOR.

La fonction du M.A.C d'une vanne

Le rôle principal de ce module est d'assurer le suivi des actions envoyées par le M.D.C, en tenant compte du temps d'ouverture (T_{vou}) et de fermeture (T_{vfe}) de chaque vanne.

A chaque envoi d'une action, le M.A.C arme un temporisateur en fonction du type de l'action. Nous pouvons obtenir un compte rendu (spécifiant l'exécution de l'action en fonction de l'état reçu du M.I.E) à la fin de la temporisation.

Dans ce type de traitement un langage algorithmique serait mieux adapté qu'une description par GRAFCET.

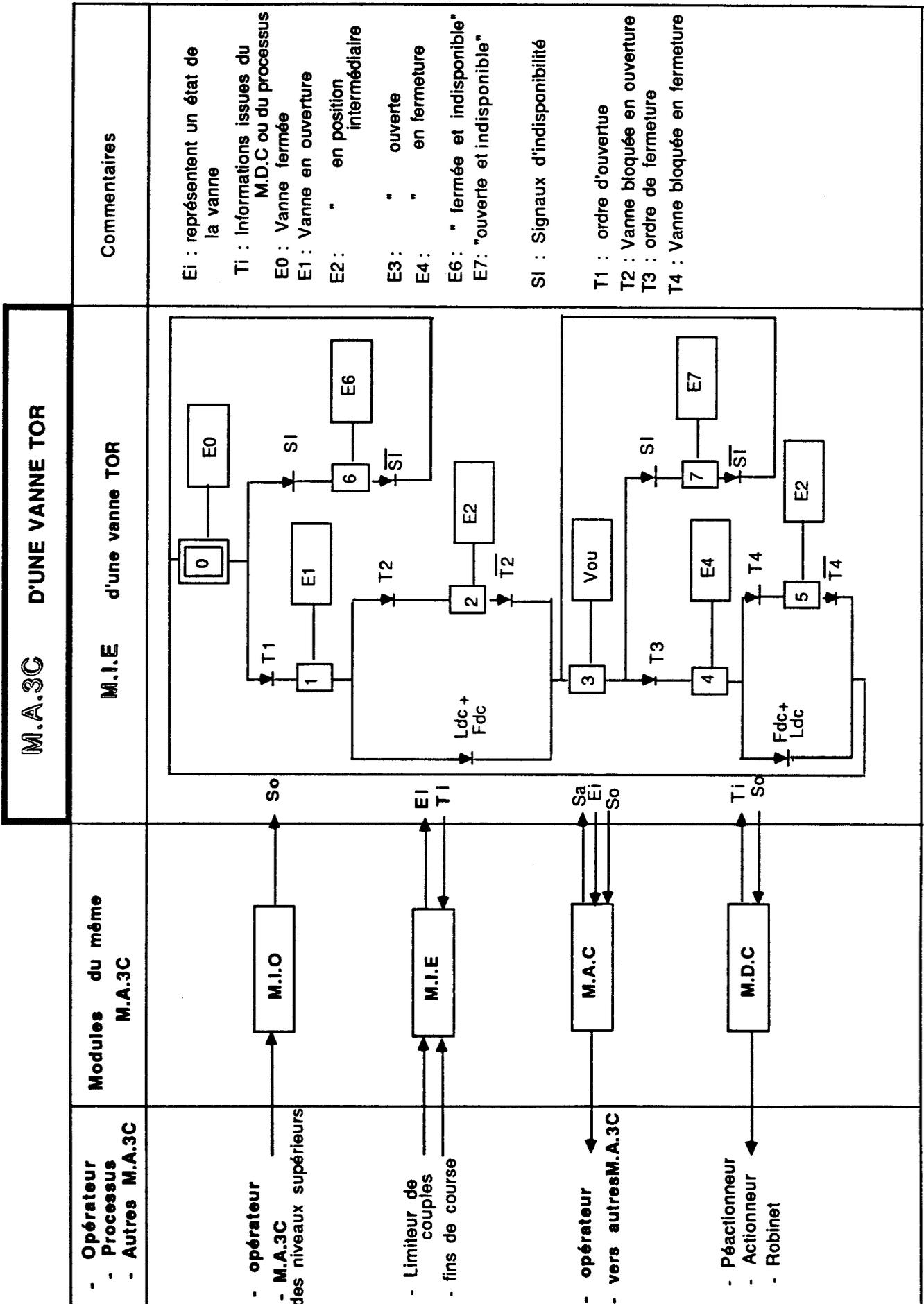


figure-14 : Spécification fonctionnelle d'un M.I.E d'une vanne TOR

M.A.3C D'UNE VANNE TOR

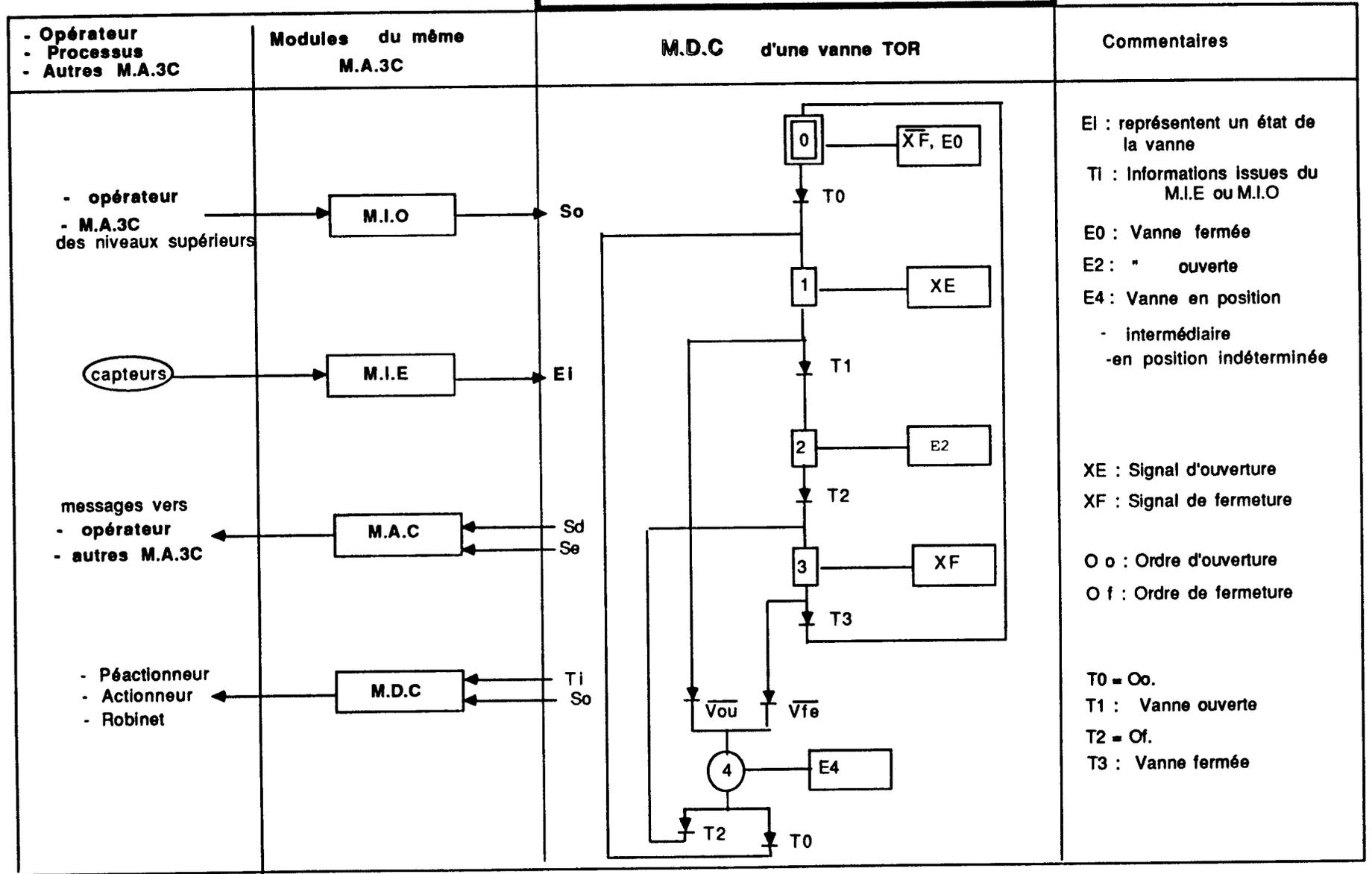


figure-15 : Spécification fonctionnelle d'un M.D.C d'une vanne TOR

3.3. M.A.3C ASSOCIE A UNE FONCTION DE REGULATION

La régulation classique peut être vue comme un module parmi les quatre modules d'un M.A.3C. En effet, ce rôle est rempli par le M.D.C.

Cependant une différence importante existe, étant donné que le M.D.C ne traite pas des informations "brutes" (brutes dans le sens où elles n'ont subi aucun traitement au préalable), car :

- Les consignes sont identifiées et éventuellement corrigées avant d'être envoyées au régulateur.
- Les variables régulées subissent des traitements de validation avant d'être envoyées au M.D.C.

La figure-16 montre la différence entre un régulateur classique et un régulateur évolué.

Pour illustrer les nouvelles fonctionnalités que doit remplir un régulateur, nous prenons l'exemple du régulateur du débit d'eau alimentaire d'un Générateur de Vapeur : G.V, (cf, partie 2, figure 23).

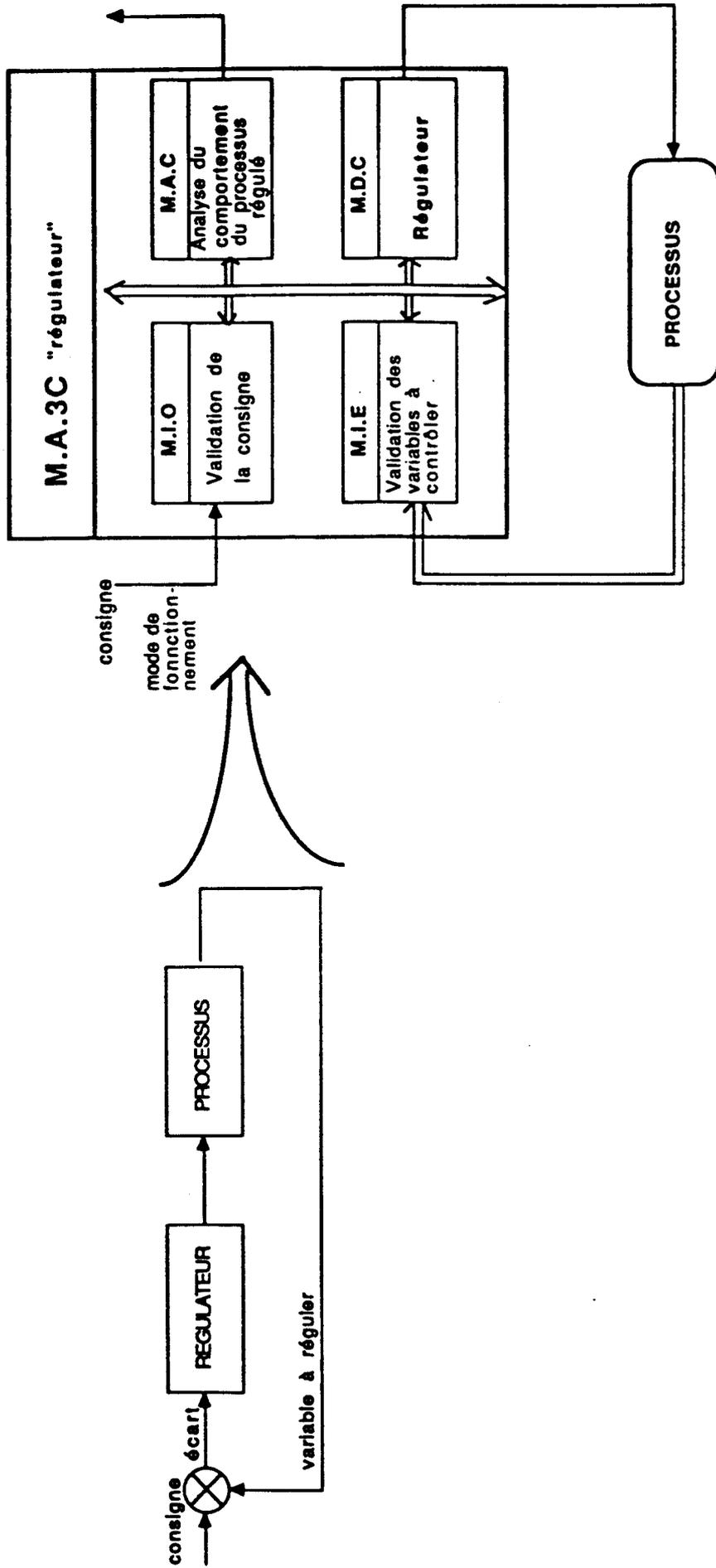
Le régulateur du débit d'eau s'inscrit en fait dans une chaîne de régulation du niveau du G.V. Par ce fait toute la chaîne est fédérée par le régulateur de niveau, qui élabore, entre autres, la consigne du régulateur de débit.

Nous rappelons que lors de l'analyse fonctionnelle du processus (figure 26, 2e partie, que nous reprenons page 223), nous avons vu que le contrôle du débit d'eau nécessite la réalisation de deux variables ΔP vannes réglantes et ΔP pompe alimentaire.

Il est donc souhaitable de tenir compte de la corrélation qui existe entre les deux variables (ou consignes) lors de l'élaboration de la chaîne de régulation.

Il est à noter que dans les chaînes de régulation des niveaux, des générateurs de vapeur en service actuellement, cette corrélation n'est pas exploitée, voir [AUG-86].

La génération de la consigne débit et de la consigne Δp pompe se fait par des chaînes indépendantes. C'est un problème de limitation de fournitures étant donné que les G.V. et les pompes alimentaires sont fournis par des fournisseurs différents.



(b) Régulateur évolué

(a) Régulateur classique

Figure 16 : Evolution de la structure fonctionnelle d'un régulateur

L'élaboration, donc, d'une chaîne de régulation de débit (d'eau alimentaire des G.V) à partir de la structure fonctionnelle du processus nous permet de tenir compte de la corrélation qui existe entre la consigne de débit et de Δp pompe, comme nous pouvons le constater dans la figure 26, page suivante.

En effet, la réalisation de la condition Q_e nécessite la réalisation de Δp (vannes) et de Δp (pompe). La valeur de Δp demandée à la pompe dépend directement de la valeur de débit à injecter dans le G.V.

Dans le plan de l'analyse fonctionnelle de l'automatisme ceci se traduit, en respectant les liens établis dans les figures 4 et 4bis, par l'élaboration de trois M.A.3C et :

- un M.A.3C recevant une consigne débit d'eau et générant une consigne ΔP vannes et une consigne ΔP pompe,
- un M.A.3C recevant la consigne ΔP vannes et générant des commandes vers les vannes réglantes.
- un M.A.3C recevant la consigne ΔP pompe et générant une consigne vitesse pour la pompe.

La figure 17 décrit la structure fonctionnelle de ce régulateur. Cette structure est une transposition naturelle de la structure fonctionnelle du processus représentée dans la figure 26.

Remarque :

Les données circulant sur le bus de communication (cf, figure 17) peuvent être de deux types :

- Les informations de type "état", exprimant l'état de fonctionnement d'un sous-processus, la position d'une vanne par exemple. Elles sont caractérisées par leur période de rafraîchissement (émission cyclique).
- Les informations de type "événement". Ces informations traduisent généralement un changement d'état, un dysfonctionnement... Leur émission est complètement aléatoire, de même que leur contenu.

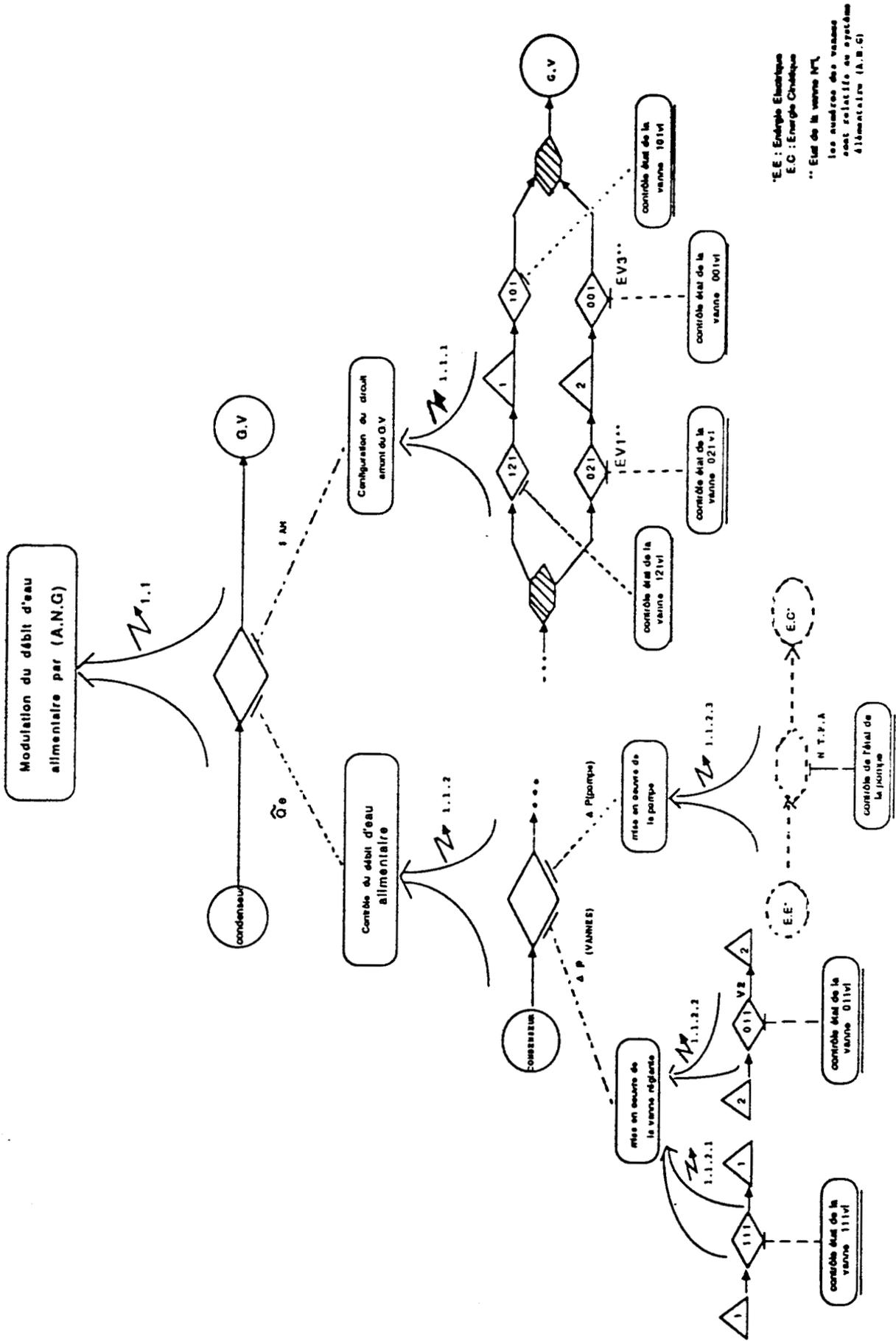
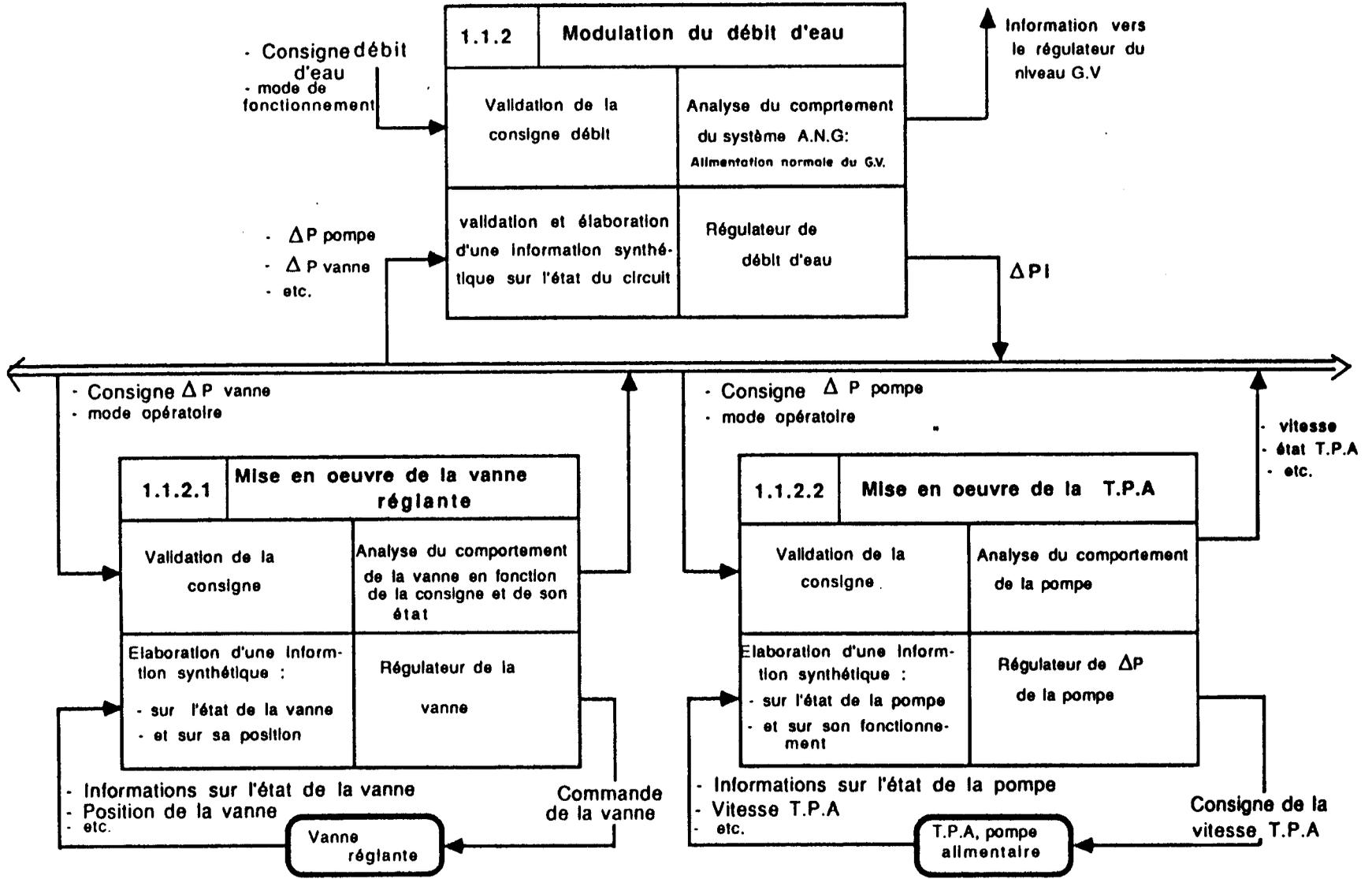


Figure 2 : "FLOW-MODEL" de la fonction alimentation d'eau par (A.N.G.)

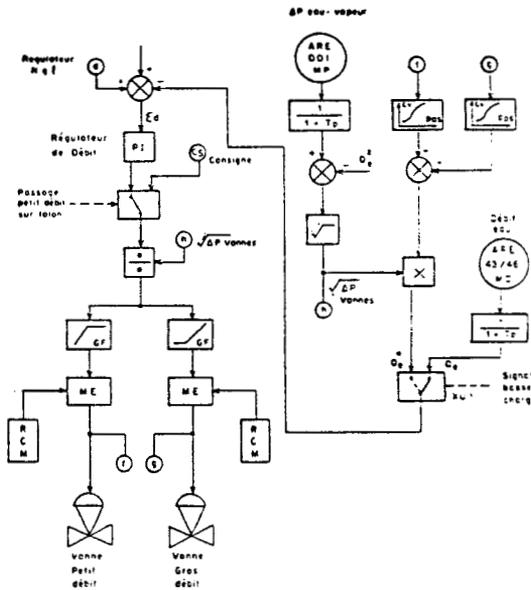
Rappel de la figure 26, 2e partie : "FLOW-MODEL" de la fonction alimentation d'eau par (A.N.G.)

Figure 17 : Structure fonctionnelle d'un régulateur de débit d'eau alimentaire d'un GV



Lors de l'analyse fonctionnelle du processus nous mettons en évidence des variables régissant son fonctionnement. Mais il se peut que celles-ci ne correspondent pas tout à fait, ou toujours, à des variables que nous pouvons générer directement, dans ce cas il faut recourir à des variables estimées représentant l'image de la variable physique, dont la mesure n'est plus crédible. Les M.I.E. trouvent ici leur plein intérêt, comme nous pouvons le constater sur le schéma ci-dessous.

En effet, les variables Q_e (débit mesuré) et Q_e^* (débit estimé).



Extrait de l'annexe 2,
Schéma fonctionnel
simplifié (technologie
numérique μZ) [AUG-86]

peuvent être assimilées au ΔP vanne de la figure 17. La variable Q_e^* peut être générée par le M.I.E. du M.A.3C régulateur de débit.

3.4 Conclusion

On constate d'après les exemples précédents, qu'il est possible d'aboutir à une certaine uniformité (du moins au niveau conceptuel) des différentes fonctions d'automatismes.

Toute fonction de contrôle-commande est assurée par les quatre modules d'un M.A.3C, que cette fonction soit une fonction simple, comme celle d'une vanne, ou une fonction complexe, comme celle de la régulation.

En rassemblant l'ensemble des M.A.3C des automatismes de contrôle-commande d'un processus, nous pourrions aboutir à une structure fonctionnelle de l'automatisme, avec un avantage certain étant donné que cette structure pourrait être obtenue à partir de la structure fonctionnelle du processus (cas du deuxième exemple traité dans le paragraphe précédent).

Nous avons vu qu'un langage unique de spécification, et ensuite de programmation, ne serait pas adapté. Ceci est dû à la disparité des fonctions assurées par chaque module.

Cependant, avoir un outil unique capable de gérer l'ensemble des fonctionnalités des différents modules serait un atout pour aboutir à une conception rationnelle des automatismes des systèmes de contrôle-commande.

CONCLUSION

GENERALE

&

PERSPECTIVES

L'automatisation des P.I.C est rendue nécessaire pour améliorer leur productivité. Actuellement des recherches sont nécessaires pour améliorer d'autres paramètres des systèmes automatisés de production :

- la qualité de production,
- les éléments de sûreté de fonctionnement (fiabilité, sécurité, disponibilité ...),
- la qualité de l'automatisme,
- etc.

Notre travail constitue une contribution à l'amélioration de ce dernier paramètre.

Pour ce faire, nous avons fait un tour d'horizon des équipements des systèmes de contrôle-commande, et de l'évolution de leur structure fonctionnelle.

Après cela, nous avons proposé dans l'organisation du cycle de vie d'un automatisme une approche pour la conception des automatismes des S.C.C. Cette approche s'est déroulée en deux temps :

- Premièrement, nous avons cerné la conception, en tant que phase à part entière, occupant une large portion dans le cycle de vie d'un automatisme.
- Deuxièmement, nous avons décrit les différentes étapes de cette phase, en précisant le rôle, les données, les techniques nécessaires à la mise en oeuvre de chaque étape.

L'analyse de cette phase nous a permis de découvrir deux types de besoins du concepteur :

- Le concepteur a besoin d'une bonne description du processus à automatiser. Par ce fait l'analyse fonctionnelle des processus est devenue pour nous une priorité.
- le deuxième besoin est propre à la phase de conception, concernant la formalisation des constituants de base d'un automatisme.

L'analyse fonctionnelle a fait l'objet de la deuxième partie de ce rapport, dans laquelle nous avons insisté sur le besoin méthodologique dans ce domaine et sur les concepts de base d'une méthode d'analyse fonctionnelle.

Parmi les méthodes potentielles, "FLOW-MODEL" nous est apparue comme une méthode susceptible d'apporter une solution à ce problème, en décrémentant le niveau d'abstraction dans l'analyse (du fonctionnel jusqu'au matériel).

Nous l'avons appliquée à un exemple industriel représentant un ensemble de systèmes élémentaires d'une centrale nucléaire.

La troisième partie est une réponse au deuxième besoin. Pour ce faire, nous avons introduit la notion des M.A.3C, représentant des modules fonctionnels d'automatisme.

Le M.A.3C nous a semblé être un bon outil pour formaliser les entités de base nécessaire à la conception des automatismes.

De plus, nous avons suivi une démarche conceptuelle suffisamment abstraite pour permettre d'éviter les pièges de la surspécification, ceci ne peut qu'alourdir l'étude sans de réels résultats.

Notre démarche reflète en outre les tendances actuelles "en automatismes évolués ou intelligents" et permet d'envisager la structuration des automatismes de tous les niveaux fonctionnels, en particulier, les actionneurs intelligents.

La démarche proposée nous semble présenter des avantages, comme :

- l'homogénéité : tous les modules sont définis de la même façon,
- La modularité : l'ensemble des modules obéissent aux principes de la modularité, décrits dans la deuxième partie.

Il apparaît au terme de cette étude que la conception des automatismes des S.C.C passe nécessairement par une connaissance du processus à automatiser, par des méthodes structurées offrant un cadre favorisant le passage à la structure fonctionnelle de l'automatisme.

Les perspectives de notre recherche concernent deux voies, qu'il convient d'étudier en parallèle, à savoir :

- Spécification d'un outil capable de passer automatiquement d'une structure fonctionnelle processus vers une structure fonctionnelle d'automatisme.
- L'étude et la mise en oeuvre des outils capables de générer des architectures matérielles et logicielles, dans ce cadre les perspectives sont :
 - Elaboration des méthodes de répartition des traitements d'un automatisme sur un certain nombre de matériels potentiels.
 - Exploitation des méthodes existantes pour une évaluation prévisionnelle des performances du système proposé, avant sa réalisation.

ANNEXES

&

REFERENCES

A N N E X E

LA METHODE S.A.D.T : Structured Analysis and Design Technique.

1.1 Les concepts de bases de SADT

Globalement SADT est à considérer comme une méthode de structuration des connaissances, dont nous décrivons les concepts de base, ils sont au nombre de 7, à savoir :

1- Le résultat de l'application de SADT est un modèle, qui met en évidence la connaissance et la compréhension que l'on a acquises lors de l'analyse d'un système.

2- L'analyse de tout problème est menée de manière descendante, cf figure-1.

SADT limite à six le nombre des boîtes nouvelles introduites à chaque étape. Car des expériences ont montré qu'il est difficile de manier simultanément trop de concepts distincts, la limite inférieure est de trois boîtes, ce qui garantit qu'un nombre suffisant de détails est introduit et qu'ainsi la décomposition est significative.

3- SADT différencie autant qu'il est possible le modèle fonctionnel et le modèle de conception : c'est-à-dire, l'étude du problème et la description d'une solution à celui-ci.

4- SADT modélise à la fois les objets (documents, données...) et les activités (réalisées par des hommes, des machines, des programmes...).

5- "Le langage" SADT est graphique, il permet de montrer les modules, leurs relations et leur intégration dans une structure hiérarchique.

6- SADT favorise le travail d'équipe, elle facilite les échanges d'information.

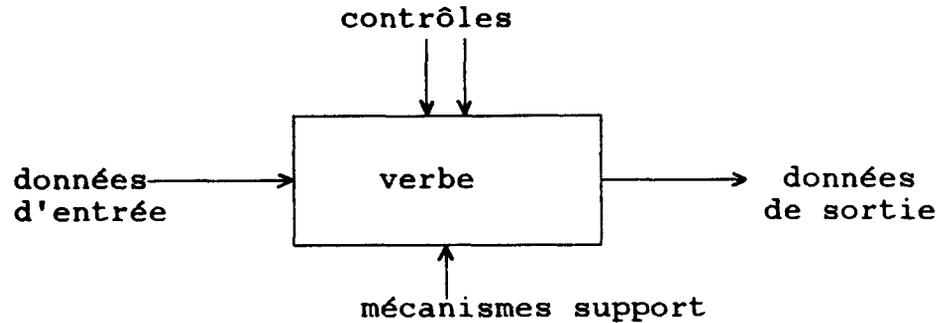
7- SADT oblige à consigner sous forme écrite tous les choix importants faits pendant l'analyse.

1.2 EXPLOITATION DES MODELES SADT

1.2.1 Activités/données dans SADT

SADT prend en compte les aspects activités et données du système. Les actigrammes et les datagrammes présentent à la fois les activités et les données.

Dans les actigrammes par exemple, les boîtes représentent des activités (verbes), alors que les données (noms) sont représentées par des flèches.

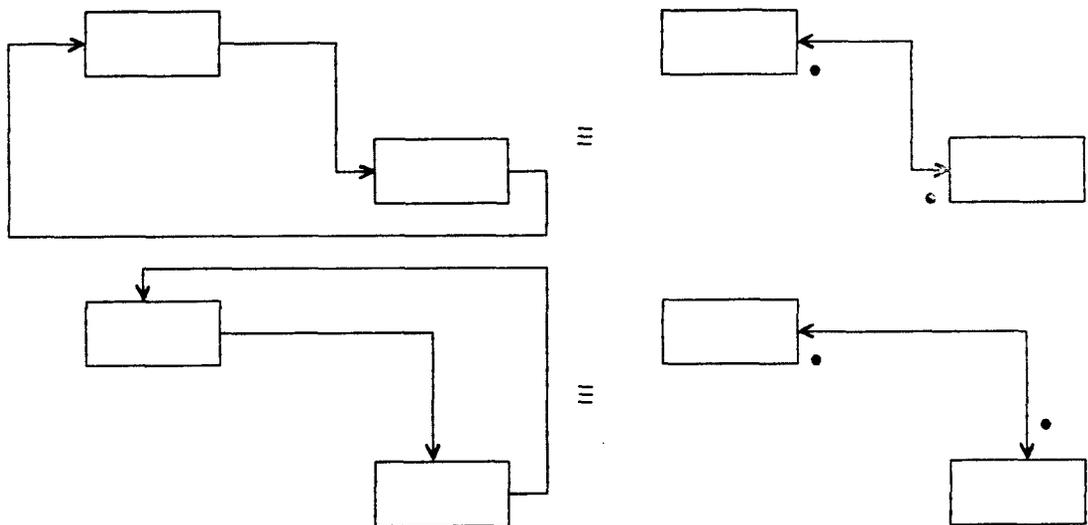


Les flèches représentent les contraintes qui existent entre les boîtes, elles ne représentent pas un flux de commande et n'ont pas de signification séquentielle.

SADT est en fait une méthode de modélisation statique.

1.2.2 convention de représentation

Il existe des règles de présentation permettant d'obtenir des diagrammes faciles à lire et à exploiter.

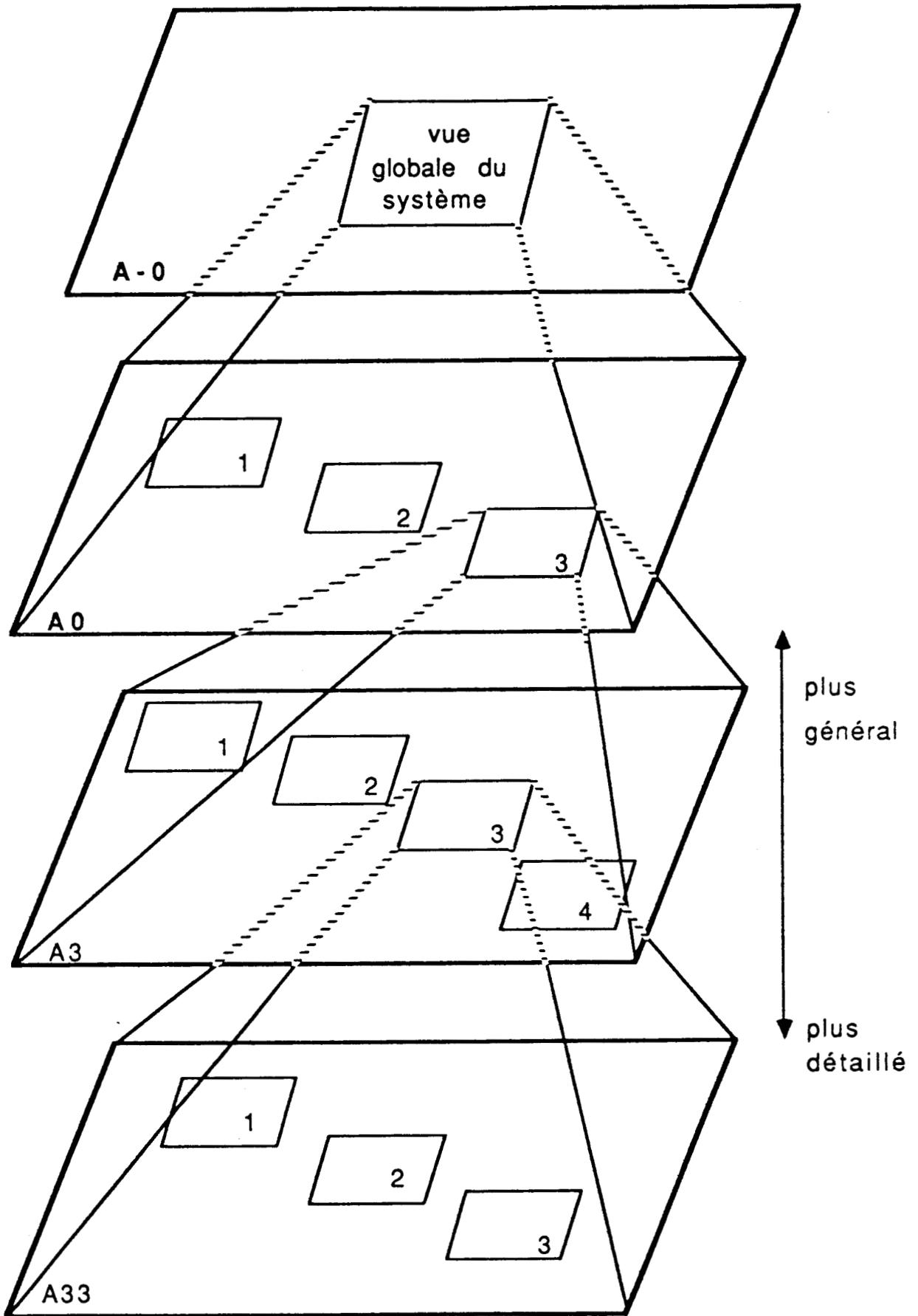


1.2.3 Numérotation des diagramme

La hiérarchie de SADT représentée par des diagrammes est bien respectée, puisque par convention, on représente le système global et son environnement par un actigramme d'une seule activité, portant le numéro A-0.

la décomposition de cette boîte fait apparaître l'actigramme de plus haut niveau, qui porte le numéro de noeud A0 et comporte n boîtes ($3 \leq n \leq 6$) et ainsi de suite.

Finalement, on peut recenser toutes les boîtes du modèle dans la table des matières du modèle, appelée liste hiérarchique.



structure hiérarchique de la méthode SADT

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADJ [85] ADJOINT-1
"Logiciel de C.A.O pour automates industriels"
ETA MAX AUTOMATION, 1985.
- ALA [86] ALANCHE P., LHOPE P., MOREL G., ROCHE M.,
SALIM H., SALVI P.
"Application de la modélisation de la partie opérative à
la structuration de la commande"
1er salon de la Communicatique, AFCET automatique, mars 86
- ALE [85] ALEKSANDER.I
"Introduction à la conception des systèmes
intelligents" Herles PUBLISHING, 1985.
- ALS [87] "Turbine 1300/P'4, équipements de régulation µREC"
N/Ref: DTV/VM/EE/SZ N°14; ALSTHOM, mars 87.
- ARS [80] ARSENAULT J.E & ROBERTS J.A
"Reliability and maintainability of electronic systems"
Computer science press, 1980.
- AUG [86] AUGUERES M.J.
"Régulation des niveaux des générateurs de vapeur du CP1
HP 35/86/19 note interne EDF-chatou , octobre 86.
- AUT [87] "Journées techniques des API" Automation 87,
PARIS, mars 1987.
- BAC [84] BACHMAN.R, PANIS.L.M, SALM.M
"Principe de l'électronique BBC pour centrale"
Revue BBC tome 71, août 84.
- BAI [87] BAILLY.C
"Les langages orientés objets" CEPADUES-EDITIONS,
TOULOUSE 1987.
- BAS [85] BASTENAIRE.F, TAYMANS.E
"OPERATOR ADVISOR: un système expert orienté objet
pour le contrôle de processus"
A.I.M Liège, centrales électriques modernes 1985.
- BEL [87] BELHIMEUR.A
"Les caractéristiques fonctionnelles des différents
équipements intervenant dans un S.C.C"
HP 34/87/01 note interne EDF-chatou, Février 1987.
- BEN [84] BENMAIZA.M
"Concept d'événement dans la spécification et la
programmation d'application temps réel "
Thèse 3ème cycle Université de Nancy, 1984.

- BOR [87] BORDIN, FAYARD, LAINE, LERARE.
"F.I.P: Spécification des services de la couche application "
Document technique CGEE-ALSTHOM, juillet 1987.
- CAL [82] CALVEZ J.P
"Une méthodologie de conception des systèmes multi-microordinateurs pour les applications de commande en temps réel"
Thèse de 3ème cycle Université de Nantes, nov-82.
- CAR [82] CARMANT.C, FOUNAU.M, PIAT.G
"Normalisation de la représentation des modules d'automatismes de la centrale : THEMIS "
HP 44/82/13 note interne EDF-chatou, mars 1982.
- CHR [87] CHRISTILLE
"Contenu et forme des schémas analogiques de principe"
note technique DDE, janvier 1987.
- COT [84] COTTO.G, TESSERON.J.M
"Groupe de travail architecture PANDOR: Analyse de trois type d'architecture a intégration croissante"
HP 44/1726 note technique EDF/DPT, janvier 1984.
- CTA [86] "Guide de choix d'un automate programmable"
CTAP 001/86/V011, 1986.
- DEC [84] DECUYPEP.J
"Salle de commande et traitement d'information de la centrale de Creys-Malville "
R G N n°4, juillet-août 1984.
- DEI [85] DEI-SVALDI.D, VAUTRIN J.P
"Les automates programmables nouvelles technologies, nouveaux risques principes de sécurité à appliquer"
L'onde Electronique vol 65 n°2, mars-avril 1985.
- DOU [84] DOUMEINGTS.G
"Méthode GRAI : méthode de conception des systèmes en productique"
Thèse d'état, Université de Bordeaux 1, Nov-84.
- DUF [86] DUFRENE.B
"Spécification d'un outil d'aide à l'analyse et à la conception des systèmes de gestion de production "
Thèse de 3ème cycle Université de Bordeaux 1, av-86.

- DUM [88] DUMOND.Y
"Etude et évaluation d'environnements pour la conception des systèmes de contrôle-commande de centrales électrogènes"
Thèse de 3ème cycle, Université de Nice, Mai 88.
- DUP [86] DUPONT
"Contenu et forme des schémas logiques de principe"
note d'étude EDF/DDE/REP, juillet 1986.
- ELF [85] ELFAZZIKI.A
"Contribution à la structuration et à la programmation des applications de contrôle de procédés industriels "
Thèse de 3ème cycle Université de Nancy, février 85.
- ERH [85] ERHARDT.C, JAN.K
"Utilisation du système de bus de processus PROCONTROL P pour la transmission du signal dans différents types de centrale"
Revue B B C tome 71, août 84.
- FOU [83] FOUNAU.M, PIAT.G
"Dossier de système élémentaire : K.C.O"
HP 44/83/04 note interne EDF-chatou, juin 1983.
- FOU [85] FOUNAU.M
"Eléments pour le choix d'une méthode de spécification des moyens de conduite des centrales"
note interne E D F HP 44/85/22, décembre 1985.
- FOU [86] FOUNAU.M
"Eléments de réflexion sur les outils d'aide à la conception, à la réalisation et à la maintenance des automatismes programmés"
HP.30/86/01, rapport interne EDF/Chatou, janv 1986.
- FRA [87] FRACHET
"Structuration des données proposé pour une C A O d'automatismes industriels"
ISMCM-GRECOSIA, projet PTA, janvier 1987.
- FUX [85] FUX.A
"Le contrôle industriel: convergence des techniques d'automatismes de régulation et d'informatique industrielle"
Contrôle Bailay, 1985.

- GAL [83] GALARA.D, HENNEBIQ J.P
"Système de communication pour le contrôle-commande
des processus industriels "
EDF/DER/EP/OAP, Chatou 1983.
- GAL [84] GALARA.D, THOMESSE J.P
"Réseaux locaux industriels"
Groupe de réflexion FIP, 1984.
- GAL [85] GALARA.D
"Besoins en communication dans les systèmes auto-
matisés de production"
EDF/DER/EP/OAP, Chatou 1985.
- GAL [86] GALARA.D
"Elaboration d'informations crédibles pour les
systèmes de contrôle-commande industriels"
Rapport interne EDF, HP 31/86-14, juin 1986.
- GAR [80] GARELLY.H
"Le traitement centralisé de l'information face aux
micro-coupures"
Rapport interne EDF HP 44/80-3, janvier 1980.
- GAR [87] GARRIGUE
"Contenu et forme des Diagrammes Fonctionnels Ana-
logique : D.F.A pour N4 "
note technique EDF/DDE/REC, juillet 1987.
- GER [84] GERARDIN J.P, SCHWEITZER.A
"Méthodes permettant d'améliorer le niveau de
sécurité des systèmes à logique programmé"
ETI Technologie n°13, décembre 1984.
- GON [80] GONDRAN.M, PAGES.A
"Fiabilité des systèmes"
Collection de la DER/EDF n°39, 1980.
- GRA [88] GRABOT.b
"Modélisation situationnelle et théorie des possibi-
lités : application à l'aide à la décision d'explo-
itation des systèmes complexes"
Thèse de 3ème cycle Université BORDEAUX 1, juin 1986.
- GRI [85] GRISLAIN J, VALLESPER B.
"Méthode de définition fonctionnelle de systèmes
de conduite de processus complexes"
Rapport interne GRAI, Université de BORDEAUX1,1985
- GUI [88] GUINET.A
"Ordonnancement d'une fonderie de fontes"
APII volume-22,n°5, 1988.

- HAM [86] HAMAD.M
"Validation des mesures et détection des capteurs défaillants dans un système de contrôle-commande"
Thèse de 3ème cycle Université de Lille, juin 1986.
- HAM [87] HAMELIN J.F
"Architecture de communication pour le contrôle-commande des centrales"
Rapport interne EDF HP/32/87 , 1987.
- HEI [80] HEILBRONN.B
"Proposition d'un projet de travail: réalisation d'une base de données, et d'outils associés, en vue de la conception et de suivi du contrôle commande"
HP 41/80/01 note interne EDF, janvier 1980.
- HEI [85] HEILEIN.B, PAGEL.P
"S.C.C PROCONTROL P pour une installation d'épuration des fumées dans la grande centrale Mamhein"
Revue BBC tome 72, février 1985.
- HEN [85] HENNEBEIQ J.P
"Thémis : c'est aussi un essai pour les réseaux locaux"
Revue mesures, novembre 1985.
- HEN [86] HENNEBEIQ J.P
"CONTRIBUTION AU RAPPORT CORECH: Automatisation des moyens de production et systèmes experts"
HP 35/86/08 rapport interne EDF/Chatou, juil-1986.
- HOU [87] HOUBART.G
"SMALLTALK/V ou la programmation objet sur MICRO"
article micro-système N° 79, octobre 1987.
- IGL [84] "Introduction à M A C H"
Intromach - I G L , septembre 1984.
- JOS [85] JOSET.A
"PROCONTROL 160, le SCC avec ordinateur de processus répartis de Brown Boveri "
Revue BBC tome 73, juin 1985.
- KRO [86] KROTOFF M.H
"Approche industrielle de la sûreté de fonctionnement"
Mesures, numéro spécial, septembre 1986.
- LAD [82] LADET.P
"Contribution à l'étude des systèmes informatiques répartis pour la commande des procédés industriels"
Thèse d'état Université de Grenoble, juin 1982.

- LAD [86] LADET.P, GALARA.D
"Synthèse des langages d'automatisme destinés au
contrôle et à la commande des processus
industriels semi-continus"
Rapport EDF-INPG(LAG), octobre 1986.
- LEG [85] LEGALLAIS.J
"Nouvelle approche pour obtenir une meilleur
sécurité dans le contrôle des procédés industriels
continus et discontinus"
Congrès mesucora session n°9, décembre 1985.
- LHO [85] LHOSTE.P
"EXploitation des systèmes AutOmatisés, EX.A.O :
Proposition d'une approche méthodologique et
d'outils d'assistance"
Thèse 3ème cycle Université de NANCY 1, déc-1985.
- LIB [87] "Livre blanc : Les capteurs intelligents; réflexion
des utilisateurs" C I A M E - A F C E T, 1987.
- LIN [82] LIND MORTIN
"Multilevel flow modelling of process plant for
diagnosis and control"
Riso National laboratory, DENMARK, août 82.
- LOU [83] LOUSTALOT J.P
"Automatismes de démarrage-arrêt et de traitement
des défauts; application à la centrale Thémis"
Diplôme d'ingénieur CNAM; EDF/DER/OAP, juin 1983.
- LOC [86] LOCHET, NARAT.V
"Les différentes techniques de représentation de
connaissances utilisées en intelligence
artificielle "
HI 52/91-08,EDF/DER-clamart, janvier 1986.
- LYO [86] LYONNET.P
"La maintenance: mathématique et méthodes"
Edition technique et documentation-Lavoisier, 1986.
- MAR [87] MARZOUKI J.
Recherche bibliographique : l'aide à la génération de la
commande des automatismes industriels
C.R.A.N - L.A.C.N Université de NANCY I, mai 1987
- MAT [86] MATHIEU.F
"Les modules intelligents dans les systèmes
d'automatisme "
Electronique industrielle n°89, 1986.

- MEI [82] MEIR.P, WALKNER.H
"Périphéries de processus subcentrale et
décentralisée pour SCC industriels "
Revue BBC, octobre 1982
- MIC [85] MICHEL.P
"Approche de la fiabilité des systèmes de sécurité"
Congrès mesucora session n°9, décembre 1985.
- MIK [86] MIKOL.D
"Les nouvelles architectures d'automatisme à
l'épreuve de feu"
Jeumont-schneider, journées d'études SEE, 1986.
- MIL [87] MILLOT.P
"Coopération homme-machine dans les tâches de
supervision des procédés automatisés"
Thèse 3ème cycle Université de VALENCIENNES et
du HAINAUT CMBRESIS, septembre 1987.
- MOR [84] MORILLON.F
"Comportement en présence de pannes des automates
programmables"
EDF/DER les renardières, 1984.
- MOR [85] MORRIS D.J
"Communication for command & control systems"
Elbit computers LTD (haifa-isr), 1985.
- MZA [87] M'ZALI.N
"Methodologie pour le développement de logiciels
temps réels"
Thèse de doctorat informatique, Université Nice, 1987
- NYF [84] NYFFENEGGER J.J
"PROCONTIL I: SCC pour processus industriels"
Revue BBC tome 71, novembre 1984.
- PAR [84] PARIS L.M, SALM.M
"PROCONTROL P: SCC moderne pour centrale"
Revue BBC tome 71, août 1984.
- PIA [82] PIAT.G
"Présentation de l'automate programmable CONTROBLOC
de CGEE ALSTHOM"
Rapport interne EDF Chatou HP/44/82/03, avril 1982.
- PIA [84] PIAT.G
"Critères d'évaluation d'un A P et des réseaux
associés"
Rapport interne EDF/DER Chatou HP/44/84/08, 1984.

- PHI [84] PHILIP.G
"PROCONTROL P10, le langage de programmation performant pour commande et régulation"
Revue BBC tome 71, juin/juillet 1984.
- PIC [85] PICHON.E, ZANNE.C
"Etude sur les systèmes de c.c - μ Z "
Document EXERA n° S3383X85, février 1985.
- PIG [84] PIGNON M.P
"Utilisation de calculateurs modulaires pour la conduite de tranche thermique"
Société Hartmann & Braun France, 1984.
- POU [85] POUSSE.M
"Maintenabilité des systèmes modulaires à microprocesseurs utilisés pour l'aide à l'exploitation ferroviaire "
Jeumont-Schneider, 1985.
- PTA [87] "Poste de Travail pour l'Automatisation"
Club utilisateur: ADEPA, MICHELIN, PSA, RNUR, SGN. Janvier 1987.
- RAS [82] RASMUSSEN.J, LID.M
"A model of human decision making in complex systems and its use for design of system control strategies"
Proceedings of the American control conference, ju-89.
- REP [81] "Répérage fonctionnel et matériel des centrales thermiques et nucléaires"
91.D.013.04 note FO 73-35 EDF, janvier 1981.
- RIC [82] RICARD.B
"Eléments d'appréciation de la sûreté de fonctionnement du bus de transmission multiplexés: K S U"
Rapport interne EDF HP/41/82-02, décembre 1982.
- RIC [83] RICARD.B
"Etude de diagramme de fiabilité d'une procédure l'arrêt d'urgence par le SPIN: Application de méthodes de classification aux coupes minimales"
Note interne EDF HP/41/83-12, novembre 1983.
- ROL [85] ROLLAND DE RAVEL.C, TRIOUX.C
"Conception d'automatisme modulaire sur automate programmable a programmation structurée"
Rapport interne EDF DER/OAP Chatou, 1985.
- ROO [83] ROOCHOUSE.G
"Etude et description du cahier des charges des automatismes le GRAFCET - le GEMMA"

- SIE [82] SIEWIOREK D.P, SWARZ R.S
"The theory and practice of reliable système design"
Digital press, 1982.
- TIL [75] TILTI.A
"Commande hiérarchisée et optimisation des
processus complexes"
DUNOD, 1975.
- TIL [79] TILTI.A
"Analyse et commande des systèmes complexes"
Monographie A F C E T, 1979.
- THO [75] THOMA.U, JEAN.SC
"Introduction to bond graphs and thier applications"
Pergamon press, 1975.
- TYR [83] TYRAN J.L
"La représentation de fonctionnement dans les
études d'aide au diagnostic"
Note interne EDF-DER, HP 41/83-11, octobre 1983.
- TYR [83] TYRAN J.L, HO A.D, ZWINGELSTEIN.G
"Presentation du projet : système de surveillance
et d'analyse de défaut en ligne"
Note interne EDF-DER, HP 41/84-12, octobre 1984.
- ZAK [84] ZAKARI.A
"FLEXI : Langage de conception d'application de
conduite de procédés industriels; contribution à
l'étude de la communication entre processus coopérants"
Thèse de 3ème cycle Université de Nancy, mars 1984.
- ZIN [84] ZINNIKER.P
"Prévision de fiabilité d'unités fonctionnelles
électroniques "
Revue BBC tome 71, juin/juillet 1984.
- UBE [84] UBERSCHLAG.J & al
"Functional modelling and reliability assessment
methodologies state of the art review"
Rapport interne DER-EDF, 1984
- VAL [87] VALLESPER.B
"Exploitation des systèmes de production discrets-
continus : contribution à une méthode de conception"
Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux-1, Nov-87.
- VIL [81] VILLEMEUR.A
"Méthodes d'analyse qualitative"
Rapport interne DER-EDF, 1981
- WIL [85] WILLIAM.H
"Serial communication and PCs indiscrete manufac-
turing and thermal application"
Mechanical Engineering, octobre 1985.

