

CONTRIBUTION A L'ETUDE
DES ARCHITECTURES
DE
SYSTEMES AUTOMATISES

THESE

Commun de la Documentation
Nancy-Bravois
Bravois

*présentée et soutenue publiquement le 8 Février 1989
pour l'obtention du diplôme de*

Docteur en informatique de l'Institut National polytechnique de Lorraine

par

Christian VERLINDE
*Ancien élève de l'ENSEM
Ingénieur à CSEE*



D 136 028546 9

membres du jury C. Baugouat (Président)

J.-F. Aubry
J.-P. Thomesse
Mr Roan
Mr Roche
E. Georgel

1900x 80 400

89 N° 100 02

Centre de Recherche en Informatique de Nancy
Institut National polytechnique de Lorraine

[M] 1989 VERLINDE, C.

CONTRIBUTION A L'ETUDE
DES ARCHITECTURES
DE
SYSTEMES AUTOMATISES

THESE

*présentée et soutenue publiquement le 8 Février 1989
pour l'obtention du diplôme de*

Docteur en informatique de l'Institut National polytechnique de Lorraine

par

Christian VERLINDE
*Ancien élève de l'ENSEM
Ingénieur à CSEE*



Rapporteurs M. Courvoisier
J.-C. Derniame

Membres du jury C. Laurgeau (*Président*)
J.-F. Aubry
J.-P. Thomesse
Mr Roan
Mr Roche
E. Georgel

Cette thèse a été réalisée en collaboration avec la Compagnie de Signaux et d'Equipements Electroniques (CSEE) et le Centre de Recherche en Informatique de Nancy (CRIN) dans le cadre d'un contrat CIFRE (référence 85077) conventionné par l'ANRT en novembre 1985.

Je tiens à remercier en premier lieu les membres du jury.

Claude Lurgeau me fait l'honneur de présider le jury. C'est sous son égide, dans le cadre du projet AIDA, que ces travaux de recherche ont été initialisés.

Marc Courvoisier a accepté d'être rapporteur de cette thèse, sa connaissance des systèmes industriels et ses commentaires ont permis d'améliorer notablement la qualité du rapport.

Jean-Claude Derniame éminent représentant du CRIN, auquel à travers lui je rends hommage à tous ses membres. Son expérience dans le domaine de la conception des applications réparties a été à l'origine de remarques pertinentes.

Jean François Aubry, membre du CRAN (Centre de Recherche en Automatique de Nancy), dont l'approche des systèmes industriels a permis de mieux appréhender les problèmes des automaticiens.

Mr Roan de la société VERILOG qui, à travers ses produits dans le domaine de la validation de spécification, a inspiré certains développements.

Mr Roche dont l'appui au sein de CSEE a contribué au déroulement de cette l'étude dans des conditions appréciables.

Jean Pierre Thomesse qui fût mon directeur de recherche durant ces trois années. Sans ses encouragements et ses conseils, ce travail n'aurait pu être ce qu'il est.

Etienne Georgel responsable de mes travaux au sein de CSEE. je rends hommage à son approche résolument objective et à son expérience qu'il a accepté de partager.

Je tiens à associer mes remerciements à **Hervé Sarrazin** dont la collaboration sur le projet MAGGALY m'a été des plus précieuse.

Mes remerciements vont aussi à **Jean Luc Delcuvelerie**, collègue et ami, dont les remarques et critiques ont facilité notablement la démarche.

Enfin comment ne pas joindre à ces remerciements mes parents et mes amis, je leur dédie à tous ce travail.

Introduction

Chapitre I

Problématique des systèmes Automatisés de Production

Présentation des process transport

Chapitre II

Concepts de base du modèle générale

Chapitre III

Utilisation du modèle

La démarche du concepteur

Chapitre IV

Fonctions de base d'un Système Automatisé de Production

Application au poste de travail ligne C

Conclusion et perspectives

Annexes

Glossaire

Bibliographie

INTRODUCTION

Productique, automatisation, ateliers flexibles... autant de termes résumant le souci actuel des utilisateurs. Il n'est pas un mois sans qu'un congrès ne présente de nouveaux développements dans le domaine des Systèmes Automatisés de Production (SAP).

Mais pourquoi automatiser ?

pour être plus compétitif clament les utilisateurs.

Et ce n'est pas un souci récent. Des solutions 'clé en main' existent, mais le système X du constructeur Y, prévu pour tout prévoir a quand même quelques inconvénients. La solution actuelle pour l'utilisateur noyé dans une masse de produits de plus en plus hétérogène est d'avoir recours aux services d'ingénieristes dans l'espoir de trouver la bonne solution.

Le trio utilisateur, constructeur et ingénieur se veut gagnant sur le terrain de la concurrence, chacun avec ses problèmes et ses solutions.

Mais quelle démarche peut adopter un ingénieur face à la diversité des besoins des utilisateurs et au nombre de plus en plus important des matériels proposés par les constructeurs.

L'emploi de méthodes issues du génie logiciel ne répond pas à toutes les espérances. On s'oriente donc vers des approches spécifiques aux SAP tout en essayant de profiter des acquis du génie logiciel et en particulier éviter l'écueil du développement sauvage.

La présente étude se propose d'apporter sa contribution au vaste domaine de l'analyse et de la conception des systèmes automatisés de production.

L'expérience actuelle dans ce domaine montre clairement un besoin très amont d'analyse dans le développement de systèmes. Proposer une organisation générale des fonctions et informations issues du cahier des charges, tout en intégrant les contraintes spécifiques des Systèmes Automatisés (topologie, modes de marche...) constitue le besoin actuel de l'ingénieur lors de l'étude de systèmes complexes.

L'étude d'un cahier des charges (réponse à un appel d'offre...) nécessite une démarche simple d'utilisation et offrant un modèle facilement compréhensible.

A ce niveau de l'analyse, l'ingénieur ne se soucie pas de la structure d'un algorithme particulier, mais de la fonctionnalité. Le modèle proposé offre un tel support à la réflexion.

A l'heure actuelle, quelques méthodes permettent de répondre en partie à ce besoin, par exemple SADT [PMS87] issue du génie logiciel, n'intégrant que très partiellement les contraintes spécifiques des systèmes automatisés. Des approches plus spécifiques comme GRAI [DOU84] pour la gestion de production... existent mais ne traitent qu'une partie bien définie du problème.

Vis à vis des grands projets, le concept CIM est rentré dans les mœurs et on peut citer : le projet NBS [CEN88], le CAM-I [CEN88], CIM-OSA [OSA87]...

Tous ces projets englobent la totalité des ressources du système étudié. Les modèles développés restent très généraux. L'approche proposée s'intègre dans ce concept du CIM, en présentant une organisation fine des fonctions et informations qui n'est souvent traitée qu'en termes de "besoin ressenti" et ou l'utilisation de méthodes existantes (extended SADT et GRAI dans NBS) constitue la seule solution actuelle.

Le travail proposé va donc s'attacher à définir une démarche de l'ingénieur dans un contexte industriel.

On se place très en amont du cycle de développement, en proposant un modèle d'architecture fonctionnelle basé sur un ensemble de concepts résultant de l'analyse des besoins existants, ainsi que des moyens de mise en oeuvre de ce modèle.

L'intégration du modèle résultant à l'aide des matériels proposés par les constructeurs ne fait pas partie de l'étude. Elle constitue néanmoins une étape nécessaire dans le cycle de développement d'un système.

La démarche adoptée s'organise suivant quatre chapitres.

Dans un premier temps on expose la problématique de chacun des trois intervenants (utilisateur, constructeur, ingénieur) et les différents étapes du développement d'un système. La fin du premier chapitre présente les process de type transport : SNCF et MAGGALY.

Le second chapitre aborde la définition du modèle, ses concepts de base et son formalisme, que l'on applique à un exemple simple.

Le chapitre trois présente l'utilisation du modèle, en introduisant des opérations de transformation de ce dernier, des outils de simplification de l'étude et un ensemble de critères, spécifiques aux SAP, permettant de le construire.

Enfin le chapitre quatre définit une passerelle entre la terminologie générique des chapitres deux et trois et les termes fréquemment rencontrés dans le domaine des SAP (conduire, contrôler, commander, superviser...). L'étude des relations homme machine (supervision) fait l'objet, dans ce chapitre, d'une analyse détaillée mise en valeur lors de la spécification du poste de travail de la ligne C du projet MAGGALY.

Tout au long du document, les exemples du domaine transport métro utilisés sont tirés du projet MAGGALY (Métro Automatique à Grand Gabarit de l'Agglomération LYonnaise) traité à la CSEE, qui est dans le cadre du groupement dont ALSTHOM est mandataire, chef de file du lot PCC (Poste de Commande Centralisé) dudit projet, réalisé sous la maîtrise d'oeuvre de la SEMALY, pour le compte de TCL.

CHAPITRE I

La problématique des systèmes Automatisés de Production

Présentation des process transport

Introduction	1
1. La problématique	2
1.1. Les problèmes des utilisateurs	3
1.1.1. L'environnement	3
1.1.2. Adaptation à une large gamme de parties opératives	4
1.1.3. Hétérogénéité du matériel	4
1.1.4. Hétérogénéité du logiciel	4
1.1.5. Evolutivité dans le temps d'une configuration	5
1.1.6. Ergonomie et adaptabilité de l'interface opérateur	5
1.2. Les solutions constructeurs	5
1.2.1. Diversité des solutions	5
1.2.2. Organisation des solutions	6
1.3. La problématique de l'ingénieur	8
1.3.1. Réponse aux appels d'offres	8
1.3.2. Le développement du système	8
1.3.3. La méthodologie standard de développement	10
2. Présentation des process transport	15
2.1. La SNCF	15
2.1.1. Les équipements de voie	15
2.1.2. Les gares	16
2.1.3. Les classes d'équipements	16
2.2. Le métro de l'agglomération Lyonnaise	17
2.2.1. Les caractéristiques de régulation	19
2.2.2. Présentation détaillée	19
Conclusion	25

Introduction

Les trois intervenants dans l'automatisation d'un SAP jouent chacun un rôle essentiel. L'**utilisateur**, qui est aussi le client, est à la base du cahier des charges. Il participe aux travaux d'étude du système, ainsi qu'aux opérations de validation et de vérification du système.

Le **constructeur** fabrique et / ou propose des matériels et des logiciels répondant à un ensemble de besoins généraux.

L'**ingénieur** conçoit l'architecture du système, définit les matériels et logiciels, coordonne l'exécution des travaux, intègre et valide le système. Il doit avoir d'une part une bonne connaissance de l'existant et d'autre part doit être en relation étroite avec le client. La démarche de l'ingénieur nécessite l'emploi d'une méthode adaptée.

Pour chacun d'eux on se propose de définir la problématique associée. On ne prétend pas être exhaustif, le sujet étant trop vaste pour être présenté en quelques pages, mais seulement de mettre en avant les différents besoins en modèle et surtout le manque de méthode adaptée pour les ingénieurs.

La présentation en fin de chapitre des process transports sert de support aux différents exemples qui sont traités dans le document.

1. La problématique

L'automatisation de la production consiste à transférer tout ou partie des tâches de coordination, auparavant exécutées par des opérateurs humains, à un ensemble d'objets techniques appelé **partie commande** [GRE85].

L'objectif de base d'un **Système Automatisé de Production (SAP)** est l'obtention de façon reproductible d'une valeur ajoutée liée à de la matière ou à un service.

Tout SAP est constitué d'une **partie opérative (PO)** procédant au traitement des **matières d'oeuvre** afin d'élaborer la **valeur ajoutée** et d'une partie commande (PC) coordonnant la succession des actions sur la PO avec la finalité d'obtenir une valeur ajoutée [GRE85].

Remarque : la matière d'oeuvre peut prendre plusieurs formes [GRE85] :

- un produit (matière à l'état solide liquide ou gazeux), sous une forme plus ou moins transformée.
- de l'énergie sous forme électrique, thermique..., qu'il faut produire, stocker, transporter...
- de l'information sous forme écrite, audio..., qu'il faut transmettre, archiver, décoder...
- des êtres humains (par unité ou en groupe), qu'il faut former, transporter...

Remarque : la valeur ajoutée à ces matières d'oeuvre est l'objectif global du système. Elle peut résulter par exemple :

- d'une modification physique des matières d'oeuvre (traitement mécanique, chimique,.... conversion d'énergie...)
- d'un arrangement particulier sans modification des matières d'oeuvre (montage, emballage, assemblage...)
- d'une mise en position particulière, ou d'un transfert de ces matières d'oeuvre (manutention, transport, stockage, commerce, communication)
- d'un prélèvement d'information sur ces matières d'oeuvre (contrôle, mesure...)

On peut différencier plusieurs types de partie opérative suivant les critères employés. Si on se réfère au critère d'état stable de stockage à long terme, on identifie trois catégories de processus :

- les processus continus
- les processus discontinus
- les processus mixtes

leur présentation détaillée est faite en annexe A.

Si on s'intéresse aux systèmes de production de type manufacturier leur mise en oeuvre par la partie commande fait l'objet de différentes organisations :

- les lignes transfert
- les ateliers

qui constituent les organisations de base actuelles dans le domaine manufacturier et que l'on détaille en annexe A. Dans la seconde partie de ce chapitre nous présenterons une autre catégorie de systèmes de production : les process transport (SNCF, métro...).

On s'intéresse maintenant à la problématique de chacun des intervenants.

1.1. Les problèmes des utilisateurs

L'automatisation d'un système de production est toujours motivée par les mêmes raisons.

Accroître la productivité, exprimant un gain de valeur ajoutée sous la forme d'une meilleure rentabilité, d'une meilleure compétitivité...

Améliorer la flexibilité de la production permettant de s'adapter à des petites séries et/ou à des changements rapides de production.

Améliorer la qualité du produit grâce à une meilleure répétabilité de la valeur ajoutée.

Augmenter la sécurité du personnel sur le terrain ou des machines.

Améliorer la qualité du travail, en remplaçant l'opérateur humain dans le cas des environnements hostiles, ou pour les tâches répétitives ou fastidieuses.

L'automatisation va néanmoins se heurter à un certain nombre de problèmes, on peut citer en particulier :

- l'environnement, plus ou moins hostile
- la variété des parties opératives à commander
- l'hétérogénéité des matériels à interconnecter
- l'hétérogénéité des logiciels, découlant du point précédent
- le besoin d'évolutivité d'une configuration
- la spécificité des exploitations, se traduisant par une contrainte d'ergonomie et d'adaptabilité des interfaces opérateurs

1.1.1. L'environnement

Suivant la situation du matériel (salle de contrôle ou atelier) les contraintes d'environnement sont différentes. On peut noter :

- vibrations, chocs
- poussière
- humidité
- parasites électromagnétiques
- ...

Cette contrainte peut par exemple motiver un système centralisé, ou l'emploi d'un certain type de matériel.

1.1.2. Adaptation à une large gamme de parties opératives

Le système doit pouvoir être dimensionné et configuré pour une large gamme de parties opératives, les principaux critères étant :

- taille du processus, répartition géographique
- nombre d'équipements à contrôler et commander
- nombre et type des grandeurs à traiter
- nombre et type des fonctionnalités requises
- ...

Il est donc important de proposer un modèle évolutif, capable de supporter l'ajout, le retrait, ou la modification de fonctionnalités.

1.1.3. Hétérogénéité du matériel

L'hétérogénéité découle du besoin d'un ensemble de préoccupations des utilisateurs, on peut citer :

- non dépendance vis à vis d'un seul fournisseur
- coût des matériels
- évolution dans le temps d'une configuration : réutilisation de l'existant et apport de matériels plus modernes
- diversités des matériels et de leur performances :
- automates programmables
 - système de régulation décentralisés
 - systèmes de supervision
 - calculateurs de gestion de production
 - ...

Vis à vis de l'analyse et de la conception il est important de reporter le choix des matériels le plus tard possible et donc d'exprimer des contraintes techniques précises.

1.1.4. Hétérogénéité du logiciel

Elle s'applique principalement aux :

- Systèmes d'exploitation pour les calculateurs
- Structures de données
- Protocoles de communications
- ...

De la même façon que pour le matériel, les choix d'implantation du logiciel doivent être repoussés le plus tard possible.

1.1.5. Evolutivité dans le temps d'une configuration

Le système doit être en mesure de supporter des modifications (ou retrait) de fonctionnalités pour une partie opérative donnée, ou l'extension de la partie opérative elle même.

Les ajouts permettent d'augmenter la configuration existante :

- possibilités fonctionnelles du système
- part de fonctionnalités exécutées de façon automatique
- élargissement du système de commande (connexion d'une partie commande hiérarchiquement supérieure, connexion d'une partie commande de même niveau hiérarchique)
- extension de la partie opérative
- ...

1.1.6. Ergonomie et adaptabilité de l'interface opérateur

L'interface opérateur doit être ergonomique, et adaptée à des opérateurs non informaticiens (voir non automaticiens) mais familiers avec le processus.

Elle doit être étudiée pour limiter au maximum les efforts de mémoire de l'opérateur. De plus elle doit être adaptable en fonction :

- de la nature de la partie opérative
- des habitudes de l'exploitant

et éventuellement des préférences individuelles des opérateurs (système à apprentissage).

Le problème de l'interface opérateur constitue l'un des soucis majeur dans la mise en oeuvre d'un SAP. Même si elle apparait dans tous les systèmes, la façon dont elle est traitée correspond rarement aux besoins réels du système.

1.2. Les solutions constructeurs

Il existe à l'heure actuelle bon nombre de réalisations, allant du système dédié à un domaine (maintenance, dispatching d'énergie, surveillance de centrales...) offrant l'ensemble des fonctionnalités nécessaires, au petit système s'adaptant aux divers types de process.

Néanmoins tous ces systèmes reposent sur un modèle commun d'architecture que l'on présente dans ce paragraphe.

1.2.1. Diversité des solutions

Historiquement les premiers SAP proposés étaient organisés autour d'un calculateur central, relié en fil à fil à ses périphériques. Cette organisation lourde que les constructeurs proposaient en tant que système homogène intégrant toutes les fonctionnalités de contrôle commande classiques, permettait de répondre à un problème en offrant un système 'clé en main'.

L'inconvénient majeur de ce type de système est leur 'fermeture', rendant ainsi l'utilisateur tributaire d'une seul constructeur et rendant la réutilisation du matériel existant des plus aléatoire.

L'avènement des microprocesseurs a permis petit à petit la décentralisation des fonctions, le calculateur central jouant le rôle d'unité de coordination.

Parallèlement à l'initiative des utilisateurs et suite aux inconvénients des systèmes homogènes, le développement de systèmes ouverts ou hétérogènes a permis l'interconnexion de matériels différents.

Cette démarche a été favorisée par l'arrivée des réseaux et à la standardisation des protocoles de communication, en particulier dans le cas des automates. Elle devrait permettre aux utilisateurs, à partir d'un ensemble de fonctionnalités de base offertes en standard, de gérer des process complexes à l'aide de petits systèmes interconnectables.

1.2.2. Organisation des solutions

La traduction des besoins utilisateurs par les constructeurs a débouché sur la mise en oeuvre d'une architecture matérielle organisée en trois niveaux ayant chacun des objectifs spécifiques et regroupant des matériels adaptés.

Il existe des architectures plus complexes résultantes de la subdivision des niveaux présentés ci-dessous. Ces modèles à plus de trois niveaux expriment la complexité du process.

Ces architectures mettent en évidence le besoin de coordinations et de hiérarchie dans les SAP.

1.2.2.1. Le niveau 1

Il regroupe les automatismes de protection et de surveillance, effectuant des traitements combinatoires, séquentiels et de régulation.

A ces automatismes, viennent s'ajouter d'autres fonctions comme la régulation et la commande d'axes, propres à certains types de processus.

Le temps de réponse de ce niveau, directement en contact avec le processus est de 1 à 100 ms.

L'exigence principale concernant la commande est la **sécurité**. Les traitements correspondants sont dits **indispensables ou nécessaires** à la bonne marche de la partie opérative car ils influencent directement la sécurité du personnel et des matériels.

1.2.2.2. Le niveau 2

Il regroupe la conduite et la supervision du processus. Son temps de réponse est de l'ordre de 100 ms à quelques secondes.

L'exigence principale à ce niveau est la **disponibilité**.

On peut distinguer trois fonctionnalités essentielles :

- la conduite
- le contrôle
- l'aide à la conduite et au contrôle

que l'on détaille ci-dessous.

1.2.2.2.1. La conduite

Elle regroupe des traitements **nécessaires ou utiles** à la conduite de processus :

- Gestion des modes de marche et d'arrêt
- Génération de consignes
- Coordination des machines/sous-ensembles
- Imagerie

1.2.2.2.2. Le contrôle

Il regroupe les traitements **nécessaires ou utiles** au contrôle de processus :

- Gestion des alarmes
- Editions de journaux de bord
- Historiques
- Suivi de fonctionnement

1.2.2.2.3. L'aide à la conduite et au contrôle

Elle ne regroupe que des traitements utiles d'aide au contrôle et à la conduite de processus :

- Gestion de recettes et de types de fabrication
- Calcul de bilans matière
- Optimisation de la conduite
- Simulation
- ...

Les fonctionnalités présentées dans ce niveau sont celles que l'on rencontre le plus fréquemment dans la littérature. La terminologie à ce sujet est des plus floue et on s'attachera dans le chapitre IV à la définition d'un certain nombre de termes et de leur champ d'utilisation.

L'énumération de ces fonctions permet d'autre part de remarquer une organisation horizontale plus liée au matériel qu'aux besoins réels du système automatisé. Par exemple dans le cas des relations homme / machine, l'intervention d'un opérateur ne se fait pas uniquement en salle de commande (niveau 2) mais aussi sur le terrain ou sur les automatismes du niveau 1 si nécessaire.

Cette constatation est à la base d'une organisation horizontale des fonctions présentée dans le chapitre II.

1.2.2.3. Le niveau 3

Son temps de réponse varie de une à plusieurs dizaines de minutes. Il se subdivise en deux sous niveaux, correspondants à des objectifs à court et moyen terme pour le premier et à moyen et long terme pour le second.

On y trouve les fonctionnalités d'**exploitation** permettant de gérer les objectifs à court et moyen terme, et regroupant des fonctions d'ordonnement de suivi et d'**aide à l'exploitation** permettant la prise en compte des objectifs à moyen et long terme.

On rencontre souvent ce niveau sous l'appellation GPAO [DBP..] (Gestion de Production Assistée par Ordinateur) .

1.3. La problématique de l'ingénieur

Un système constructeur ne répondant que rarement aux besoins spécifiques de l'utilisateur, il est nécessaire de l'adapter. C'est le rôle de l'ingénieur connaissant d'une part les systèmes existants et d'autre part assurant l'interface avec l'utilisateur.

Les deux problèmes essentiels auxquels sont confrontés les ingénieurs sont

- la réponse aux appels d'offre
- le développement de système

1.3.1. Réponse aux appels d'offres

L'utilisateur souhaitant obtenir le meilleur compromis entre prix, performances et délais va faire entrer en **concurrence** plusieurs ingénieurs.

Il faut savoir qu'en moyenne **une proposition sur dix est retenue**.

Les conséquences essentielles pour l'ingénieur sont donc :

- l'élaboration d'une solution technique avec **l'impossibilité de rentrer dans le détail** du cahier des charges et **la nécessité d'identifier rapidement les points essentiels**.

- l'élaboration du **prix de la proposition** en essayant d'être compétitif, le résultat revenant souvent à proposer une **architecture minimale** au risque d'être inadaptée ou sous-dimensionnée.

- la maîtrise des **délais de réponse aux appels d'offre** de l'ordre de quelques semaines à quelques mois

- la maîtrise des **délais de fourniture** des matériels et logiciels qui s'il ne sont pas respectés entraînent des **pénalités de retard** données par le client.

1.3.2. Le développement du système

L'obtention d'un marché par l'ingénieur constitue la première étape. Il lui reste ensuite à développer le système qui lui a été commandé.

Face aux problèmes qui lui sont posés, l'ingénieur se doit de suivre une démarche pour mener à bien l'analyse et la conception du système.

L'emploi d'une méthode de travail permet de fixer un canevas de décomposition et de validation : elle définit les différents intervenants et les documents ou produits qu'ils s'échangent entre eux.

L'intérêt pour les méthodes et modèles n'est pas récent, le génie logiciel constitue le pionnier dans ce domaine, et quelques une de ses méthodes se proposent de répondre de près ou de loin à certains aspects du développement des SAP. On peut citer en particulier :

- la méthode SADT [ROS77],[PMS87]
- la méthode MERISE [TRC83]
- le modèle entité - association [PSC76]
- la méthode SSAD

D'autres démarches plus récentes intègrent des contraintes spécifiques aux SAP et en particulier :

- le Grafset et les réseaux de Pétri [GRE85]
- l'outil méthode GEMMA [ADE..]
- la méthode GRAI [DOU84]
- le modèle CIM-OSA [EAI87]
- les modules communicants [THL.]
- le modèle de commande décentralisée coordonnée [BIN84]

On décrit brièvement quelques unes d'entre elles dans les paragraphes suivants.

1.3.2.1. La méthode SADT (Structured Analysis and Design Technic)

Surtout utilisée dans le domaine du génie logiciel, SADT est une méthode de type descendante, modulaire et structurée. Elle différencie le modèle fonctionnel (le quoi) du modèle de conception (le comment).

Son formalisme graphique permet une modélisation claire. Cette méthode très décomposée est néanmoins lourde et ne propose aucun outil permettant le passage du modèle fonctionnel à l'architecture matérielle et logicielle.

1.3.2.2. La méthode Merise

C'est une méthode de conception et de développement de systèmes d'informations. Elle est très utilisée dans les domaines de la gestion, de la comptabilité...

Supportée par un formalisme rigoureux, c'est néanmoins une méthode lourde. Son utilisation se justifie sur des projets mobilisant une quinzaine de personnes et sur un domaine bien identifié.

1.3.2.3. Le modèle entité - association

Ce modèle, orienté données, offre une représentation cohérente et structurée de l'univers réel. Orienté vers la conception de bases de données, il favorise la manipulation des informations, ainsi que leur intégrité.

1.3.2.4. Grafset / Réseaux de Pétri

Supportés par un formalisme mathématique rigoureux, les réseaux de Pétri constituent un outil bien adapté aux problèmes de validation, simulation...

L'utilisation d'outils informatiques permet la mise en oeuvre de réseaux de grande taille.

Le Grafset constitue l'adaptation des réseaux de Pétri au cas des automatismes et de la représentation des traitements séquentiels.

1.3.2.5. Le GEMMA (Guide d'Etude des Modes de Marche et d'Arrêt)

Proposé comme un outil méthode pour l'étude des modes de marche et d'arrêt d'un automatisme, il représente l'une des seules démarches qui ait abouti à un résultat exploitable dans ce domaine.

Son utilisation se limite néanmoins au cas des automatismes simples et ne permet pas la prise en compte de façon aisée de partie commande de niveau supérieur.

Ces outils, méthodes ou modèles ont chacun leur domaine d'application, mais ne peuvent répondre à l'ensemble des besoins des SAP. Les inconvénients majeurs sont :

- leur spécificité (dédiés gestion, base de données ...)
- d'être peu adaptés aux contraintes industrielles (pas de gestion de la dynamique, de prise en compte de la topologie...)
- leur approche non structurante
- leur non informatisation
- d'être peu adaptés au dialogue concepteur-client
- leur apprentissage complexe
- ...

La constatation est qu'à l'heure actuelle il n'existe pas de modèle ou méthode adapté et reconnue, permettant l'analyse, la conception et la réalisation d'un SAP en partant du cahier des charges.

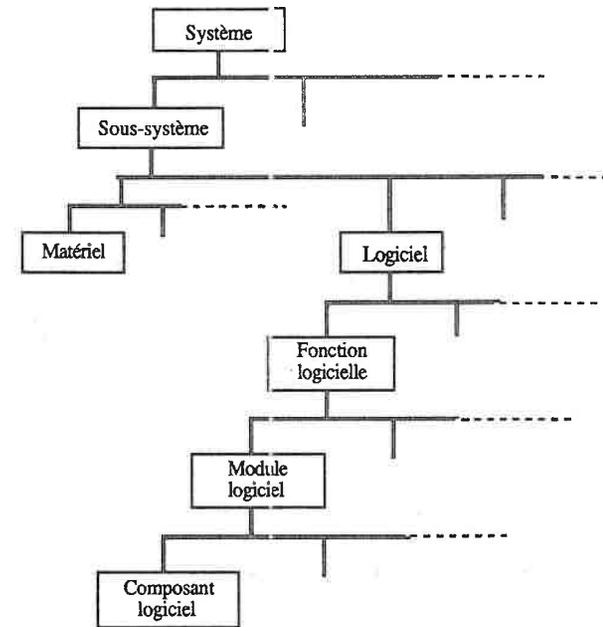
L'utilisation ponctuelle des différents outils, méthodes et modèles offre une aide non négligeable mais ne permet en aucun cas une démarche continue.

L'approche industrielle du développement d'un SAP repose d'une part sur l'expérience et d'autre part sur le respect d'un certain nombre de phases présentées dans la méthodologie standard de développement.

1.3.3. La méthodologie standard de développement

Elle est surtout adaptée au développement de logiciels intégrés dans des systèmes.

La décomposition d'un système en sous-systèmes puis en termes de matériels et logiciels est représenté sur le schéma suivant :



Remarque : les différents constituants d'un système présents sur le schéma, soit :

- sous-système
- matériel / logiciel
- fonction logicielle
- module logiciel
- composant logiciel

sont définis dans le glossaire.

La méthodologie identifie les phases suivantes :

- définition d'un constituant
- conception d'un constituant
- réalisation
- intégration
- validation
- qualification / opérations de vérification

que l'on détaille dans les paragraphes suivants.

1.3.3.1. Définition d'un constituant

Ensemble des activités qui conduit à la rédaction des spécifications externes. Description fonctionnelle du constituant (du point de vue externe) et description de son environnement.

Dans le cas du logiciel, la démarche classique est la suivante :

1.3.3.1.1. Analyse du contexte

Elle correspond au :

- **Pourquoi** doit on mettre en oeuvre un tel constituant ?
- **Pourquoi** certaines contraintes de faisabilité (techniques, opérationnelles, économiques) définissent les "conditions aux limites" du constituant ?.

1.3.3.1.2. Spécification fonctionnelle

C'est la question :

- **Qu'est ce que** le constituant va faire en termes de fonctions qu'il doit accomplir ?

A ce niveau, on construit une architecture, dite fonctionnelle, permettant de mettre en évidence les relations entre les différentes fonctionnalités qui ont été référencées.

1.3.3.2. Conception d'un constituant de système

Ensemble des activités qui conduit à la rédaction des spécifications internes.

Description interne de ce constituant selon les points de vue suivants :

1.3.3.2.1. Conception fonctionnelle

Découpage du constituant selon des critères fonctionnels et de criticité et description fonctionnelle de ses sous-ensembles (du point de vue externe).

1.3.3.2.2. Conception physique

Découpage physique du constituant et description de l'environnement de ses sous-ensembles.

On distingue à ce niveau :

- la **conception préliminaire** ou conception globale (d'un constituant de système). Découpage du constituant et identification des sous-ensembles selon les deux points de vue précédents.

- la **conception détaillée** (d'un constituant de système). Définition des sous-ensembles du constituant selon les deux points de vue précédents.

Le schéma ci-dessous illustre les deux aspects de la conception :

	conception fonctionnelle	conception physique
conception préliminaire	découpage et identification des sous-ensembles fonctionnels	découpage et identification des sous-ensembles physiques
conception détaillée	description fonctionnelle des sous-ensembles	description de l'environnement des sous-ensembles

Cette phase représente le :

- **Comment** le système va être construit et implémenté, et dans notre cas, comment les fonctions vont être réparties en matériel et logiciel.

Cela ne signifie pas que l'on va préciser ce qui se trouve dans le système, mais plutôt définir des critères permettant les choix ultérieurs.

A la fin de cette phase, les spécifications externes des matériels et logiciels sont constituées et permettent le choix des divers maîtres d'oeuvre des matériels et logiciels.

Lors des phases de définition et de conception d'un constituant, il est souhaitable de mener l'étude suivant au moins trois points :

- **Point de vue technique** : lié à l'architecture du système et aux fonctions à réaliser.
- **Point de vue opérationnel** : lié aux performances du système dans son environnement.
- **Point de vue économique** : lié au coût et à l'impact de l'implantation et de l'utilisation du système.

1.3.3.3. Réalisation

Ensemble des activités destinées à produire un constituant conforme à ses spécifications externes.

1.3.3.4. Intégration

Opération qui consiste à assembler progressivement les sous-ensembles d'un constituant qui appartiennent à un même niveau et à vérifier la conformité des résultats obtenus aux spécifications internes du constituant. Cette opération est réalisée sur une plate forme d'intégration, en simulant les fonctions des niveaux manquants lorsque c'est nécessaire.

1.3.3.5. Validation

Opération qui consiste à vérifier que le constituant développé exécute correctement les fonctions prévues et définies dans les spécifications externes du constituant. Cette opération est réalisée en environnement réel ou simulé, sur une plate forme de validation.

1.3.3.6. Qualification / Opération de vérification

La qualification est une série de tests effectués sur un produit à l'état de prototype de façon à valider sa définition, sa conception et sa réalisation.

Les opérations de vérification sont des tests effectués sur chacun des produits à l'état de série de façon à valider leur production, elles se font avant la livraison.

La distinction entre qualification et opérations de vérification présente un intérêt évident pour les matériels, par contre elle en présente très peu pour les logiciels.

1.3.3.7. Maintenance logicielle

Elle regroupe toutes les activités de correction ou d'évolution du logiciel qui sont effectuées après les opérations de vérification de ce logiciel.

2. Présentation des process transport

Les chemins de fer ont prouvé qu'ils étaient un moyen de transport confortable et non polluant. Ils ont gagné leur place tant dans le trafic de banlieue, tels le métro et les lignes régionales, que dans le transport à longue distance des voyageurs et des marchandises.

Le vaste réseau ferroviaire qui couvre aujourd'hui l'Europe a été développé à partir de lignes isolées, qui furent posées il y a 150 ans. En conséquence, l'infrastructure, quoique complète, n'est pas uniforme, ce dont il faut tenir compte lors de la modernisation de la régulation du trafic et des autres fonctions.

L'offre de transport, voyageurs et marchandise contribue aussi à l'attrait du chemin de fer, en rencontrant les besoins des utilisateurs. En outre, la sécurité est très recherchée, et le chemin de fer la privilégie. La ponctualité des trains est aussi importante, et elle est mieux assurée sur des voies en sites propres, que par des voitures dans le trafic urbain.

L'offre de transport doit en outre s'adapter à la demande des voyageurs. La demande de transport est tout à fait différente en semaine de celle des dimanches et des jours fériés. On trouve des différences semblables entre le jour et la nuit, et entre l'hiver et l'été. En outre, il faut offrir des trains spéciaux pour certaines occasions.

L'adaptation à long terme de la demande aux besoins est illustrée par l'élaboration et la modification des tableaux horaires, qui tiennent compte de facteurs prévus longtemps à l'avance.

Cependant, il arrive souvent qu'un régulateur de trafic doive réagir rapidement à un changement des circonstances. C'est pourquoi, la régulation du trafic doit permettre l'intégration souple de telles mesures, même à court terme, dans l'ensemble des opérations.

2.1. La SNCF

Le réseau SNCF en chiffres [VRA88][ABS85] se présente de la façon suivante. 34665 km de lignes dont 10850 électrifiées (en continu 1500 v ou en alternatif 25000 v).

Suivant le type de trafic on distingue, 23990 km de lignes voyageurs dont 10584 km électrifiées (890 km en banlieue parisienne), et 33936 km de lignes marchandises dont 10750 km électrifiées.

D'autre part la SNCF distingue les lignes à double voies (15510 km électrifiées) et les lignes à voie unique (19160 km dont 1613 km électrifiées).

Enfin la SNCF distingue les voies principales des voies de service et des voies TGV.

2.1.1. Les équipements de voie

Lié à la localisation des trains et à la signalisation on distingue les équipements suivants :

- détecteur de circuit de voie (tous les 2 km sur les voies TGV)
- affichage de limitation de vitesse
- balise de signalisation (mécanique ou électronique)
- contrôle de l'échauffement des essieux (tous les 20 km) ou boîtes chaudes
- site relais tous les 10 km permettant :

- contrôle des circuits de voie
- contrôle / commande des aiguilles
- contrôle commande des feux de signalisation
- contrôle des boites chaudes

2.1.2. Les gares

On distingue les types de gare suivants :

- **gare terminus** permettant la gestion des retournements, des départs et du garage / dégarage.
- **gare sans personnel** avec télécommande des aiguilles s'il en existe.
- **gare courante** possédant un chef de gare et devant assurer le contrôle / commande de plusieurs aiguilles. Il existe trois types d'équipements énergie traction dont peuvent être équipées ces gares :
 - unité 1500 v continu ou 25 kv alternatif
 - unité d'isolation 1500 v continu ou alternatif
 - sans unité d'énergie traction

2.1.3. Les classes d'équipements

On identifie les classes d'équipements énergie-traction, trafic, station (lié au mouvement des voyageurs).

2.1.3.1. Les équipements énergie-traction

On distingue :

- unité d'énergie 1500 v continu ou 25 kv alternatif
- unité d'énergie 380 alternatif
- unité d'isolation d'un secteur de voie
- unité d'énergie 24 v continue secourue (ventilation, locaux batterie)
- unité d'épuisement des eaux (pompage de l'eau lors des intempéries)
- unité d'éclairage
- unité de détection incendie

2.1.3.2. Les équipements station

Liées au confort et à la sécurité des voyageurs en gare, on distingue :

- unité escalier mécanique
- unité ascenseur
- unité oblitérateur
- unité de distribution de billets
- unité de contrôle d'accès (sur les voies)
- unité de sonorisation
- unité de caméra de visualisation des quais
- unité de climatisation
- unité grilles d'accès (ouverture et fermeture de la gare)

2.1.3.3. Les équipements trafic

Ces équipements sont liés à la circulation des trains :

- unité de détection de personne sur la voie
- unité de contrôle de pression des pneumatiques (voies spécialisées)
- unité feu de signalisation (peut être gérée par un automatisme local)
- unité poste automatique
- unité aiguille
- unité circuit de voie
- unité de conduite manuelle (marche à vue, détection de forçage d'arrêt)
- unité de téléphonie de quai (dialogue conducteur poste central)
- unité boite chaude

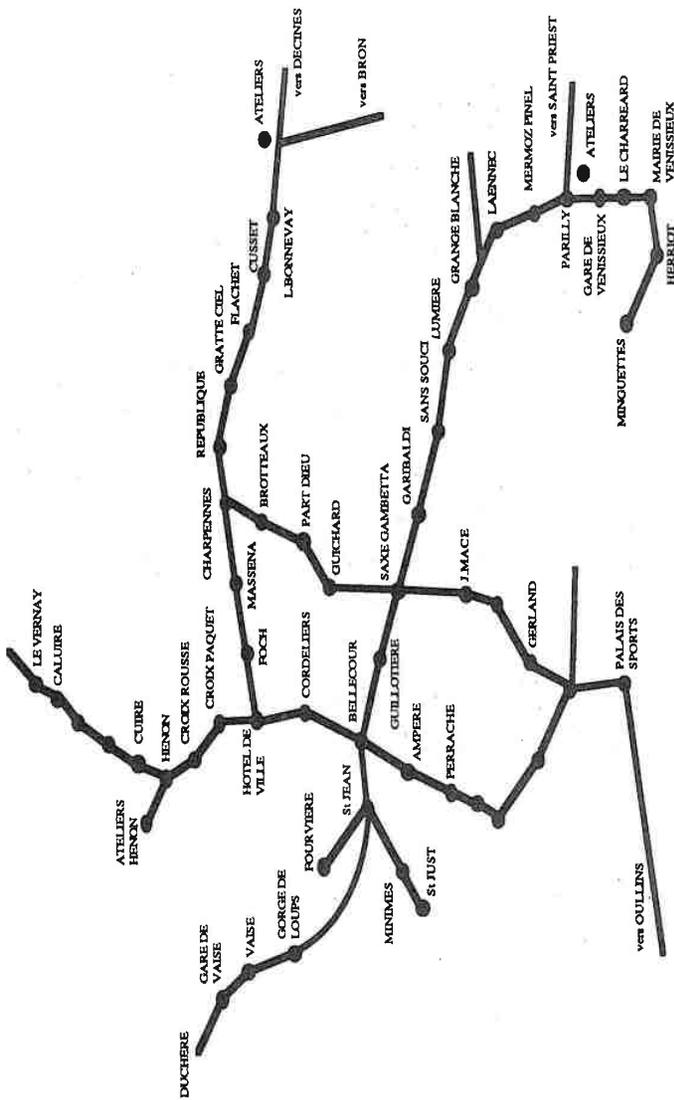
Cette énumération des différents équipements nécessaires à des process de type SNCF, mais que l'on retrouve aussi dans le cas du métro, permet de montrer la complexité du problème mais aussi la répartition qui est faite parmi ces équipements et qui nous permettra une simplification notable de la démarche d'analyse.

2.2. Le métro de l'agglomération Lyonnaise

L'exploitation actuelle du métro comprend trois lignes. La ligne A avec 13 stations sur 9,5 km, la ligne B avec 6 stations sur 4 km et la ligne C avec 3 stations sur 1 km. Actuellement le prolongement de la ligne C est en voie de réalisation ainsi que la première tranche de la ligne D comportant 10 stations sur 8 km.

L'objectif 1990 étant d'environ 25 km de ligne avec 29 stations dont 4 en correspondance.

Le plan de ce métro est donné page suivante.



La SEMALY (Société d'Economie Mixte du Métropolitain de l'Agglomération Lyonnaise) est chargée des études, et de la réalisation de ce réseau, exploité par la Société Lyonnaise de Transports en Commun (TCL), fermière du Syndicat des Transports en Commun de l'Agglomération Lyonnaise (STCRL).

On propose dans ce qui suit les objectifs généraux et les équipements utilisés, une synthèse des fonctions nécessaires est donnée en annexe D.

2.2.1. Les caractéristiques de régulation

Elles sont liées au mode d'exploitation du métro. En exploitation nominale on dispose de trois niveaux de régulation :

- **locale** (en Pilotage Automatique PA) : action sur un train (accélération pour rattrapage de temps).
- **centrale** (au Poste de Commande Centralisé PCC) : action sur un train (modification des heures de départ et d'arrivée en station avec une précision souhaitée de l'ordre de quelques secondes).
- **globale à la ligne** (au PCC) : action sur tous les trains en même temps (injection ou retrait, répartition du retard sur n trains, décalage horaire, recalage horaire) avec régulation sur une demi ligne.

et en exploitation dégradée ou seule une régulation d'intervalle entre les trains est réalisée en local.

2.2.2. Présentation détaillée

On s'intéresse ici au différents sites (le PCC et les gares) dont on détaille les objectifs et contraintes essentielles. On présente ensuite d'un point de vue quantitatif les différentes classes identifiées dans le cas de la SNCF.

2.2.2.1. Les types de sites

L'organisation du métro de Lyon permet d'identifier deux types de site : le poste de commande centralisé et les stations.

2.2.2.1.1. Le poste de commande centralisé (PCC)

Il regroupe la majeure partie des moyens de contrôle et commande sur :

- la circulation des trains pour le parcours et la marche
- la surveillance des stations et du mouvement des voyageurs
- l'alimentation et la distribution en énergie

Ce poste de commande est installé dans la station Part Dieu sur la ligne B et permet une exploitation des 4 lignes et de deux funiculaires. Trois types d'exploitation sont mis en oeuvre pour la conduite de la marche des trains :

- un pilotage automatique pour les lignes A et B
- une conduite manuelle contrôlée pour la ligne C
- un pilotage automatique pour la ligne D

Le système répond aux trois objectifs suivants :

- **organiser et assurer le mouvement des trains et des voyageurs** qui exprime la dynamique du système de transport ainsi que la qualité de service.
- **accueillir les voyageurs** qui exprime la qualité du service offert dans les stations et accès ainsi que la sécurité.
- **maintenir les ressources** par la fourniture des informations à un système externe qui assure la régénération des moyens dont dispose le système de transport.

Par extension, un certain nombre d'objectifs généraux sont aussi atteints par la fonction de contrôle commande de l'exploitation :

- **la sécurité** : la connaissance réelle des événements d'exploitation en un lieu unique de commandement permet la mise en place et l'intervention rapide des services et moyens de sécurité.
- **la limitation des coûts d'exploitation** : la fonction de contrôle commande de l'exploitation entraîne une réduction du personnel et une amélioration de productivité de l'ensemble.
- **la qualité de service** : elle est améliorée par une meilleure régularité du trafic et par une plus grande rapidité des interventions pour résorber les perturbations en ligne.
- **la revalorisation du travail** des agents d'exploitation : la mise en place d'automatismes permet de libérer les agents des tâches routinières et pénibles.
- **l'amélioration de l'efficacité des services de maintenance** : les aides à la décision et au diagnostic, la redondance de certains équipements, une meilleure précision dans l'appréhension des informations permettant d'améliorer l'efficacité et la rapidité d'interventions des services de maintenance.

2.2.2.1.2. Les stations

On distingue :

- **l'atelier** disposant de fonctions de pilotage mais n'assurant aucune fonction liée aux voyageurs.
- **les stations terminus et terminus provisoire** permettant d'assurer l'autonomie des missions en local et en particulier la gestion de tout ou partie des retournements, des départs et des garages / dégarages.
- **les stations courantes** équipées selon le cas d'unités énergie 750 v ou d'isolation du 750 v.

2.2.2.2. les classes d'équipements

On identifie les mêmes classes que dans le cas de la SNCF. On présente ici en détail les différents équipements dans le cas de la ligne C.

Classe des équipements de trafic

Equipements relatifs à l'occupation des voies

Circuit de voie : indique l'occupation ou la non occupation d'une portion de voie. (1 contrôle)

Position de garage : indique l'occupation ou la non occupation d'une position de garage. (1 contrôle)

Balise de détection : Relève l'identité des trains circulant sur les voies 1 et 2 par lecture du numéro de service. (7 contrôles)

Equipements relatifs aux manoeuvres

Signal de manoeuvre : protège un faisceau de voie de mouvements incompatibles ou simultanés. (1 commande, 6 contrôles)

Aiguille : permet à un train de changer de voie. (3 contrôles)

Itinéraire simple : ensemble de portions de voies et d'appareils de voie que peut emprunter une circulation dans un sens de marche déterminé, et comportant un signal de protection à l'origine. (2 commandes, 3 contrôles)

Destruction d'urgence : provoque la destruction d'urgence d'un itinéraire. (commande fil à fil, 1 contrôle)

Cycle : impose aux rames qui attaquent un Circuit De Voie d'approche de l'un des itinéraires simples composant le cycle, le parcours de la suite des itinéraires simples du cycle. Il existe plusieurs types de cycles, chacun disposant d'un ensemble de commandes et contrôles.

PML (Poste de Manoeuvre Local) : autorise l'exécution des commandes à partir du PML. Les commandes du PCC deviennent alors inopérantes.

Equipements relatifs au départ des trains

Automate de départ en terminus : gère le départ des trains en terminus en fonction d'un intervalle de départ programmable. (4 commandes, 4 contrôles)

Sonnerie de départ en terminus : informe auditivement le conducteur de l'imminence (20 secondes) du départ. (1 commande)

Coffret commun : informe le conducteur sur :

- interdiction / autorisation de départ
- interdiction / autorisation de franchissement des signaux d'espacement au rouge sur l'interstation aval.

(6 commandes, 2 contrôles)

Equipements divers

Signal d'espacement : protège une portion de voie de mouvements simultanés. (1 commande, 4 contrôles)

Signal d'arrêt : signifie l'arrêt absolu. (1 contrôle)

Fosse de visite : permet le contrôle technique du matériel roulant. (2 commandes, 3 contrôles)

Taquet : protège l'accès à la fosse de visite, permet la commande de l'itinéraire simple 12/FV. (2 contrôles)

Atelier : permet le garage et la maintenance des trains. (1 commande, 2 contrôles)

Radiotéléphone (THF) : permet le dialogue entre le régulateur au PCC et les conducteurs des trains en ligne.

Flèche de sens : indique le sens de circulation sur le TCO pour les garages CDV24, la navette et le CSV2. (8 contrôles)

Classes des équipements station

Equipement à la disposition des voyageurs

Distributeurs : ces équipements assurent la distribution des titres de transport dans chaque station. (1 commande, 4 contrôles)

Oblitérateurs : ces équipements permettent l'oblitération des titres de transport. (1 contrôle)

Comptage oblitérateur : cartes permettant le comptage du nombre de titres oblitérés pour chaque quai d'une station. (2 commandes, 32 contrôles)

Escaliers mécaniques : ces équipements facilitent le déplacement des voyageurs en stations. (2 contrôles)

Equipements destinés au confort des voyageurs

Equipements d'éclairage : ils assurent l'éclairage en station, en interstation et à l'extérieur. (4 commandes, 2 contrôles)

Distribution de l'heure : ces équipements assurent la distribution de l'heure aux horloges de quai, au local d'agent en station (LAS), aux distributeurs et oblitérateurs implantés en station. (1 contrôle)

Equipements pour la sécurité des voyageurs

Vidéo - surveillance : ces équipements permettent la surveillance des zones publiques. (2 commandes, 3 contrôles)

Sonorisation d'annonce et d'ambiance : ces équipements permettent aux opérateurs du PCC et aux agents en station d'informer les voyageurs par voie sonore. (4 commandes, 4 contrôles)

Interphonie d'alarme : ces postes implantés en station, interstation et ascenseurs, permettent aux voyageurs de contacter les régulateurs du PCC lors d'apparition d'événements anormaux.

Rupteurs d'urgence : poignées implantées en station permettant de couper le courant de traction dès leur activation.

Equipements destinés à la protection des biens

Détection d'incendie : ces équipements détectent l'apparition de tout incendie en station. (5 contrôles)

Boucle de sécurité incendie : ces équipements génèrent une alarme dès qu'un incendie apparaît sur une demi-ligne. (1 contrôle)

Epuisement des eaux : ces équipements surveillent le niveau des eaux en station et en interstation. (2 contrôles)

Ventilateurs : ces équipements assurent la ventilation des locaux techniques et l'extraction des fumées en cas d'incendies. (1 contrôle)

Grilles d'accès : ces équipements permettent de contrôler l'accès des voyageurs en station. (1 commande, 1 contrôle)

Equipements divers

Pédale d'alerte LAS : chaque local d'agent en station dispose d'une pédale. Cette pédale permet à l'agent de prévenir le régulateur lorsqu'il est victime d'une agression. (1 contrôle)

Recherche de personne : des voyants lumineux équipent certains locaux. Lorsqu'ils s'allument, les personnes qui sont dans ces locaux doivent prendre contact avec le régulateur. (2 commandes)

Téléphone : explicite. (3 contrôles)

Equipements traction

Disjoncteur de distribution de l'énergie de traction. (2 contrôles)

Sectionneur de répartition de l'énergie. (2 contrôles)

Sous-section électrique. (1 contrôle)

Ligne aérienne : alimentation en énergie du matériel roulant. (2 contrôles)

Conclusion

L'orientation actuelle des architectures de systèmes automatisés de production, motivée par les utilisateurs et par l'avènement des microprocesseurs et des réseaux, est à la décentralisation et aux systèmes hétérogènes.

L'évolution du travail de l'ingénieur est significative, passant de configurateur de système homogène à intégrateur de matériels hétérogènes.

Ces différents intervenants que l'on s'est efforcé de présenter séparément ne sont pas toujours aussi bien différenciés et on trouve des sociétés polyvalentes.

C'est le cas de la CSEE, à la fois ingénieur et constructeur de matériels. Dans ces conditions, la tentation est forte d'utiliser des matériels que l'on sait construire au risque d'adapter les besoins du client.

C'est le problème de la méthodologie et de son respect. Jusqu'où peut on reporter les choix de matériel et de logiciel.

Le problème n'est pas nouveau, et si l'utilisation de méthodes de génie logiciel ne donne pas toujours les résultats espérés, elles offrent tout de même un support à la réflexion.

D'autre part l'utilisation de méthodes spécifiques aux SAP commence à faire surface, même si elles ne couvrent pas l'ensemble des phases décrites dans la méthodologie standard de développement.

Le sujet est vaste et on ne peut prétendre détailler chacune des phases.

On se propose donc de se limiter aux phases les plus amont de définition et de conception, en proposant un modèle fonctionnel puis dans le chapitre III un guide d'utilisation de ce modèle.

La présentation des process transport et du métro de Lyon, qui servira de support aux exemples tout au long du document, montre la complexité du problème sur un exemple réel et de ce fait la nécessité d'une démarche structurée.

CHAPITRE II

Concepts de base du modèle général

Introduction	31
1. Besoin d'un modèle hiérarchisé	32
1.1. L'approche systémique	32
1.2. Principes de la structuration en couches	33
1.2.1. Sous-système (N)	33
1.2.2. Couche (N)	33
1.2.3. Entité (N)	34
1.2.4. Entités homologues	34
1.2.5. Service (N)	34
1.3. Expression de la coordination dans le modèle multiniveaux	34
1.3.1. L'approche coordonnée	34
1.3.2. L'approche coopérante	35
1.3.3. Le choix d'une représentation	36
1.3.4. Conséquences du second concept	36
2. Modélisation de la partie opérative	39
2.1. Notion de Système Élémentaire (SYEL)	39
2.2. SYEL fondamentaux	40
2.2.1. Actionneur élémentaire - effecteur	40
2.2.2. Capteur élémentaire	41
2.3. Notion de domaine	42
3. Modèle général	43
4. Spécification des entités	44
4.1. Spécification externe	44
4.1.1. Définitions	44
4.1.2. Echanges d'informations entre entités mère-fille	46
4.1.3. Services et entités	46
4.2. Spécification interne	47
4.2.1. Vecteur d'état d'une entité	47
4.2.2. Notion de fonction	47
4.2.3. Coopération inter-fonctions	48
4.3. Hypothèse sur l'échange d'informations entre fonctions	50
5. Modélisation des entités	51
5.1. Définition des espaces d'une entité	51
5.2. Modélisation des traitements	52
6. Conclusion sur le modèle	59
7. Exemple d'application	60
7.1. Description générale	60
7.2. Modélisation	60

Introduction

Si du côté du génie logiciel le problème de méthodologie a été posé depuis de nombreuses années, le cas des SAP est beaucoup plus récent. La méthodologie constitue le seul recours de l'ingénieur pour éviter l'empirisme source de surprises parfois catastrophiques (produit non conforme aux besoins, maintenabilité faible voir nulle, réutilisabilité faible, impossibilité d'intégrer des constituants développés par des équipes différentes, dialogue impossible avec les utilisateurs...).

Le besoin de méthode est d'autant plus critique que le projet est vaste et nécessite un nombre important d'intervenants. La méthode doit permettre de supporter un travail d'équipe. D'autre part elle doit constituer un moyen de dialogue entre les utilisateurs et les concepteurs et pour ce faire proposer un formalisme simple à appréhender (on peut citer le cas du formalisme graphique de la méthode SADT).

L'objet de ce chapitre est de présenter un ensemble de concepts débouchant sur la proposition d'un modèle général adapté au domaine étudié et servant de support à une approche méthode présentée au chapitre suivant.

Pour cela on dégage des caractéristiques importantes comme, le besoin de hiérarchie, la représentation de la partie opérative, et la répartition en domaine caractérisant des ensembles de fonctions.

L'emploi d'une terminologie générique pour représenter les fonctions et informations, permet de s'affranchir du type de process étudié, et leve les ambiguïtés du vocabulaire courant, dont on reprendra certaines définitions au chapitre IV.

La proposition d'un formalisme permet ensuite l'expression des différents concepts proposés.

1. Besoin d'un modèle hiérarchisé

Les systèmes et leur hiérarchie constituent un sujet d'intérêt de plus en plus présent dans les différentes sciences. L'approche systémique [DUR83][LEM78] constitue la réplique moderne au rationalisme classique mis en forme par Descartes dans son discours de la méthode" [DES66].

On se propose de présenter un modèle de représentation des hiérarchies, puis de proposer une organisation des constituants de ce modèle suivant les différents critères présents.

1.1. L'approche systémique

Si la représentation de la hiérarchie dans une entreprise ou une société est une chose simple à appréhender, car elle nous concerne directement de part notre appartenance à l'une ou l'autre, on ne peut la considérer comme universelle. Il existe des hiérarchies dans tous les domaines, la biologie (atome, cellule, molécule...), l'information (bit, octet, mot, fichier...).

Si une hiérarchie donnée repose sur un critère unique, il existe une multitude de critères permettant de définir autant de hiérarchie, non réductible à une seule.

Mathématiquement une hiérarchie est basée sur une relation d'ordre (totale ou partielle) ou de pré-ordre (réflexive et transitive).

Exemple : la relation : 'est constitué de' définit une relation d'ordre et permet de représenter une hiérarchie du type ... une cellule est constituée de molécules, une molécule est constituée d'atomes,...

Plus généralement on peut citer [AFC88] des **hiérarchies d'emboîtement** (organisées autour de relations du type 'appartient à' ou d'encapsulation), des **hiérarchies de régulation** (du type coordonné / coordonnant), des **hiérarchies temporelles** (prise en compte du court terme / long terme), des **hiérarchie de causalité** (représentation de la relation 'est conséquence de'), des **hiérarchies de typologie qualitative** (classification d'objets du plus spécifique au plus général) et des **hiérarchies d'implication logique** (principe déductif : passage des hypothèses aux conclusions).

Tous ces types de hiérarchie n'apparaissent pas dans les SAP. Les hiérarchies les plus importantes que l'on puisse identifier sont :

- **hiérarchie de coordination** permettant d'exprimer une vue de plus en plus générale du process, et donc la réalisation d'objectifs de plus en plus généraux.
- **hiérarchie de fonction**, liée à la complexification des traitements à réaliser
- **hiérarchie d'information**, liée à l'élaboration de structures de données de plus en plus complexes.
- **hiérarchie de décision**, liée à la compréhension que l'on a d'un process, la mise en fonctionnement d'une entreprise ne nécessitant pas une décision du même ordre que l'ouverture ou la fermeture d'une vanne.

Parallèlement à ces hiérarchies que l'on peut qualifier de statiques, on identifie des hiérarchies dites dynamiques et en particulier :

- **hiérarchie temporelle** liée aux objectifs à court / moyen et long terme, ou aussi à la criticité des temps de réponse (voir chapitre I sur les organisations des systèmes constructeurs)
- **hiérarchie de matériels** liée à leur performances respectives

Ces différentes hiérarchies permettent de représenter la complexité des systèmes et les différents états possibles. Il faut aussi remarquer que ces différentes hiérarchies sont interdépendantes (l'augmentation du niveau de coordination entraîne la complexification des fonctions à réaliser et donc les temps de réponse...).

Un autre avantage, et non des moindres, de la hiérarchie est de favoriser le processus d'abstraction et par conséquent de faciliter l'étude d'un système.

Ces différentes hiérarchies sont d'ailleurs sous-jacentes aux réalisations des constructeurs (voir chapitre I).

Le modèle que l'on se propose de définir doit donc pouvoir représenter de façon simple ces différentes hiérarchies. Le premier concept s'énonce de la façon suivante :

Modèle multiniveaux

La représentation des différentes hiérarchies inhérentes aux systèmes automatisés de production est organisée autour d'un modèle multiniveaux. Le nombre de niveaux dépend d'une part du système, et d'autre part des critères de hiérarchisation utilisés.

Remarque : ce modèle se place dans le cadre de la définition et de la conception de la méthodologie standard de développement, et donne une représentation de la partie commande d'un système automatisé.

Cette structuration en niveaux ou couches peut être formalisée à l'aide de définitions analogues à celles du modèle OSI.

1.2. Principes de la structuration en couches

On reprend ici les définitions de base du modèle OSI [OSI84].

1.2.1. Sous-système (N)

Élément d'une division hiérarchique d'un système n'ayant d'interaction qu'avec les éléments des niveaux immédiatement supérieur et inférieur de cette division.

1.2.2. Couche (N)

Subdivision de l'architecture, constituée de sous-systèmes de rang (N).

1.2.3. Entité (N)

Elément actif d'un sous-système.

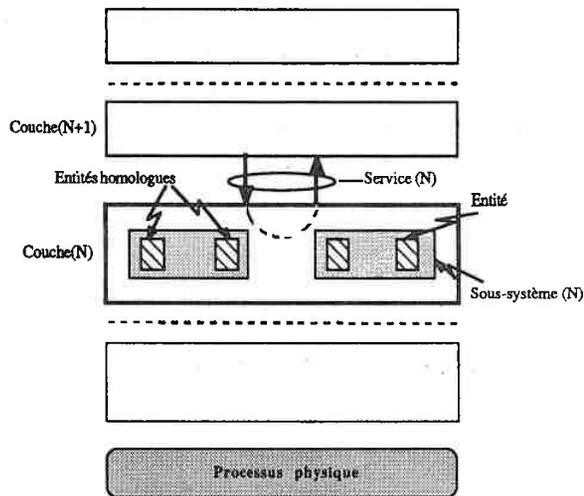
1.2.4. Entités homologues

Entités appartenant à une même couche.

1.2.5. Service (N)

Capacité que possèdent la couche (N) et les couches inférieures à celle-ci, fournie aux entités (N+1) à la frontière entre la couche (N) et la couche (N+1).

Le schéma suivant résume ces notions :



1.3. Expression de la coordination dans le modèle multiniveaux

On s'intéresse dans ce paragraphe à l'organisation des entités dans le modèle.

1.3.1. L'approche coordonnée

Supportée par un arbre n-aire (au sens mathématique), elle s'intègre facilement dans le cadre du modèle multiniveaux (premier concept). D'un

point de vue fonctionnel, elle fournit un modèle simple à manipuler, où les entités représentent les noeuds de l'arbre et les arcs les flux d'informations.

Plus on monte dans l'arbre, plus on dispose d'une vue globale du process, résultante de l'agrégation des vues des entités du niveau inférieur et ainsi de suite, et par conséquent plus les informations à traiter deviennent complexes, plus les objectifs sont généraux...

Le cas extrême de la coordination est constitué par un modèle à deux niveaux : un coordonnateur, n coordonnés (système centralisé).

D'un point de vue matériel, l'avantage essentiel d'un tel modèle est la rapidité du temps de réponse lié à la vue de plus en plus générale que l'on a du process, et donc la facilité à prendre une décision. Les inconvénients sont plus nombreux et on peut citer :

- la **vulnérabilité** en cas de défaillance d'un coordonnateur ou de rupture des échanges d'informations dans une branche de l'arbre.
- la **complexité** croissante des opérations de coordination liées à une centralisation de plus en plus importante de l'information.

On peut moduler ces inconvénients d'une part en redondant les coordonnateurs (matériels les supportant) et d'autre part en déléguant le maximum de traitements à chaque entité.

1.3.2. L'approche coopérante

Elle se représente par un modèle plan, où tous les éléments sont en interaction mutuelle. Il n'existe aucune entité coordonnante. Cette représentation masque les différentes hiérarchies, même si elle est en mesure de les supporter.

Chaque entité a une vue locale du process et doit s'attacher au maximum à résoudre de façon autonome les problèmes qui lui sont posés. Dans la mesure où cette résolution locale s'avère impossible, elle doit engager des processus de coopération avec les entités qui sont en relation avec elle. Le résultat est un échange d'information jusqu'à la résolution du problème posé.

D'un point de vue matériel, les avantages sont les suivants :

- **simplicité** des opérations de coordination, liée à la vue locale de chacun des éléments
- **tolérance** aux pannes dans la mesure où il existe plusieurs chemins pour échanger de l'information entre deux entités.

Les inconvénients essentiels sont :

- un **temps important** pour la prise de décision lié à l'échange massif d'informations
- un **besoin important en communication**
- la possibilité de **perte de cohérence** de l'information liée aux différents chemins possibles
- une **structure inadéquate pour la représentation des modes de marche** d'un système automatisé (cette approche est détaillée au chapitre III)

D'autre part ce cas extrême de la coopération stricte est aussi extrême pour le modèle multiniveaux dans la mesure où il induit un modèle mononiveau.

1.3.3. Le choix d'une représentation

L'organisation multiniveaux du modèle proposé supporte la coordination sans pour cela rejeter des processus de coopération à l'intérieur d'un même niveau. Ces deux processus cohabitent d'ailleurs dans certains modèles comme la commande décentralisée coordonnée [BIN84], ou le modèle oligarchique de [KSA...] permettant de palier certains des inconvénients énoncés précédemment. On trouve dans [KSA...] des estimations de la sûreté, de l'efficacité, de la taille et du temps de réponse pour différents modèles.

Il est toutefois important de rappeler que nous nous intéressons à un modèle de niveau fonctionnel et que les choix d'architectures matérielles se feront ultérieurement.

Les motivations du choix prennent en compte ces considérations, mais surtout liées à une représentation graphique simple, et à l'obtention d'un modèle facilement manipulable, vérifiable (cohérence de l'information...). Pour ces raisons, le processus de coopération entre entités homologues est rejeté. L'organisation des entités se fait donc suivant un arbre n-aire.

La mise en oeuvre d'un processus de coopération dans un tel modèle revient à faire remonter l'information à échanger au premier noeud commun, ce qui représente une issue fonctionnelle tout à fait viable et qui ne présage en rien de la façon dont cet échange sera réalisé vis à vis du matériel.

L'intérêt de cette solution est d'assurer la cohérence de l'information dès les premières étapes de la définition du système. On force alors le concepteur à traiter le maximum d'information à un niveau donné, en évitant de complexifier inutilement les niveaux supérieurs.

Le second concept du modèle proposé s'énonce alors :

Structure n-aire

L'organisation des entités dans le modèle multiniveaux se base sur une hypothèse de coordination. Le modèle résultant est un arbre n-aire dans lequel les entités constituent les noeuds.

Remarque : on définit une relation mère-fille entre une entité d'un niveau i et un ensemble d'entités de niveau $(i-1)$.

1.3.4. Conséquences du second concept

La représentation sous forme d'arbre n-aire du modèle multiniveaux permet de compléter les définitions du §1.2. Dans ce qui suit le préfixe 'i' identifie le niveau auquel on se réfère.

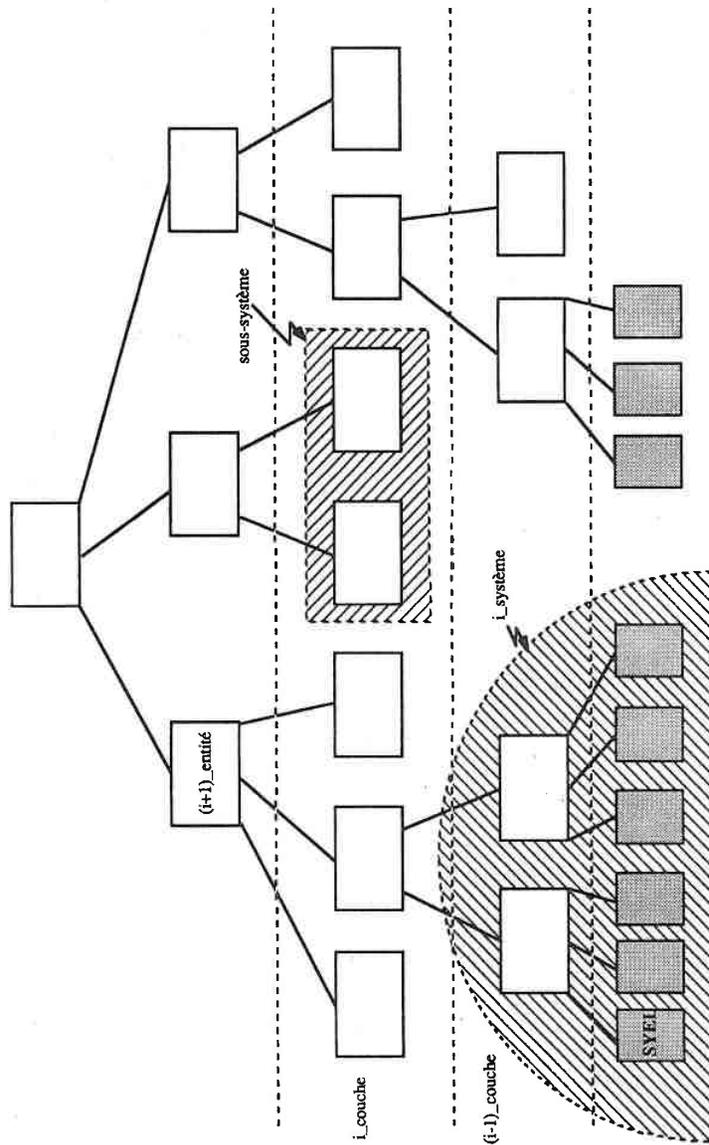
- On introduit la notion de i _système, comme l'ensemble des entités ayant une parente commune. Un i _système représente une branche de l'arbre n_aire. Le i _système de plus haut niveau est le système.

- La notion de service devient i _service et représente la capacité que possède un i _système fournie à la $(i+1)$ _entité mère à la frontière entre la i _couche et la $(i+1)$ _couche.

- Un i _service tel qu'il est défini est rempli par un i _système. On peut néanmoins considérer qu'il puisse être rendu par une seule i _entité (ou une fonction d'une i _entité).

- Une i _entité fournit des services à une unique $(i+1)$ _entité (sa mère) et utilise les services d'une ou plusieurs $(i-1)$ _entités (ses filles).

On résume les différentes notions introduites par les deux concepts sur le schéma page suivante.



2. Modélisation de la partie opérative

La partie opérative, présentée dans [GRE85], procède au traitement des **matières d'oeuvre** afin d'élaborer la **valeur ajoutée**. Elle est constituée par un ensemble de machines dont seule l'interface avec la partie commande nous intéresse. Cette interface est matérialisée un ensemble de capteurs et d'actionneurs [SAP87].

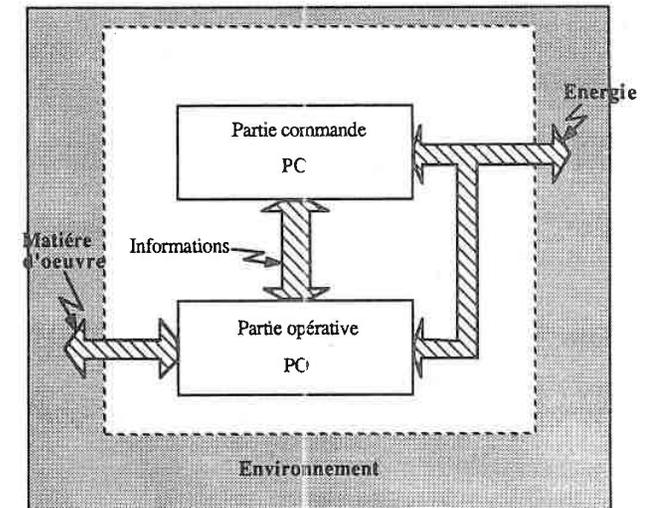
On introduit à ce niveau une décomposition élémentaire sous la forme de **Système Élémentaire (SYEL)** permettant la modélisation microscopique de la partie opérative.

On introduit ensuite une modélisation macroscopique de la partie opérative, liée à l'identification de flux de matière d'oeuvre.

2.1. Notion de Système Élémentaire (SYEL)

La représentation schématique d'un SAP peut se faire en introduisant la notion de **partie commande** [GRE85]. C'est elle qui mémorise le savoir faire des opérateurs pour obtenir la suite des actions à effectuer sur les matières d'oeuvre afin d'élaborer la valeur ajoutée. Elle exploite un ensemble d'informations prélevées sur la partie opérative pour élaborer la succession des ordres nécessaires pour obtenir les actions souhaitées.

On peut représenter le modèle de base par le schéma suivant [GRE85]:



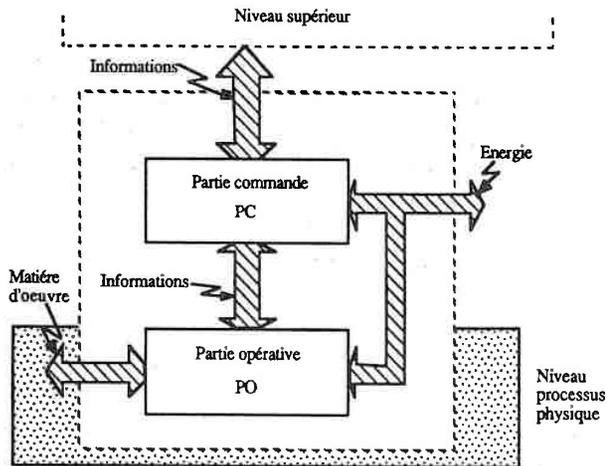
L'importance de la partie opérative réside dans le fait qu'elle constitue la source et la destination (après traitement par la partie commande) de toutes les informations.

Modéliser l'interface entre PC et PO revient à donner une existence (au sens de l'information élémentaire d'un capteur ou d'un actionneur) à cette frontière, permettant de définir les fondations du modèle de la PC. D'autre part cette modélisation microscopique permet de s'affranchir des types de matériels utilisés et de la façon dont sont traitées les informations, permettant l'élaboration de modèles complexes à partir d'éléments simples.

La représentation d'un système élémentaire découle du schéma précédent. Tout SYEL comporte une PC et une PO élémentaires et manipule les mêmes flux que ceux définis précédemment.

La PC communique avec un niveau hiérarchiquement supérieur par échange d'informations de commande ou de contrôle.

Le synoptique d'un SYEL est donnée ci-dessous :



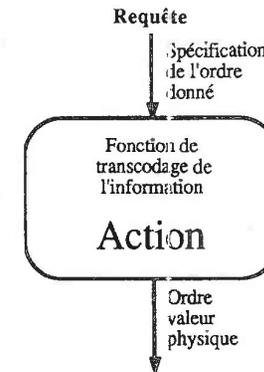
2.2. SYEL fondamentaux

Ils sont au nombre de deux.

2.2.1. Actionneur élémentaire - effecteur

Il constitue la plus petite entité commandable. A partir d'une requête émise par le niveau supérieur, il agit directement sur le processus physique par transformation d'un signal codé en un signal physique (analogie avec la couche physique du modèle OSI). Il n'effectue aucun contrôle de position ou de sécurité. On peut le schématiser de la façon suivante :

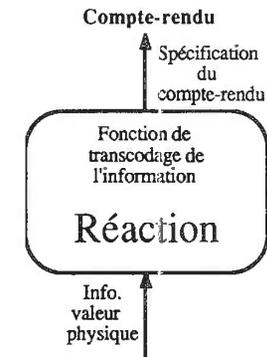
Système élémentaire actionneur



2.2.2. Capteur élémentaire

De la même façon que l'actionneur, il émet un compte-rendu vers le niveau supérieur par transcodage d'une information en provenance du processus. Il n'effectue aucun traitement sur la valeur acquise. On peut le schématiser de la façon suivante :

Système élémentaire capteur



➤ La requête est de type élémentaire, par exemple : Marche, Arrêt ...

2.3. Notion de domaine

L'étude de la PO et des flux de matière d'oeuvre manipulés permet de proposer une modélisation complémentaire. Cette dernière est liée à l'identification de matériels manipulant un même flux.

Un domaine est caractérisé par un ensemble de matériels de la PO manipulant un même flux de matière d'oeuvre.

Par rapport à la modélisation en SYEL qui est indépendante du type de processus, la modélisation en terme de domaines fait intervenir des spécificités de chaque process.

Un domaine recouvre un ensemble de SYEL, et pour deux domaines distincts l'intersection des deux sous-ensembles de SYEL est vide (un capteur ne peut servir à la fois à la mesure d'une pression et d'une tension...).

Les domaines fréquemment rencontrés dans les SAP sont regroupés sous le terme de 'communs', on peut citer : l'énergie, l'eau, l'air comprimé qui sont partagés par la plupart des matériels d'une installation.

Dans le cas du transport on identifie quatre domaines essentiels :

- le domaine train associé au matériel roulant
- le domaine énergie traction
- le domaine trafic associé aux équipements de voie
- le domaine station associé aux gares

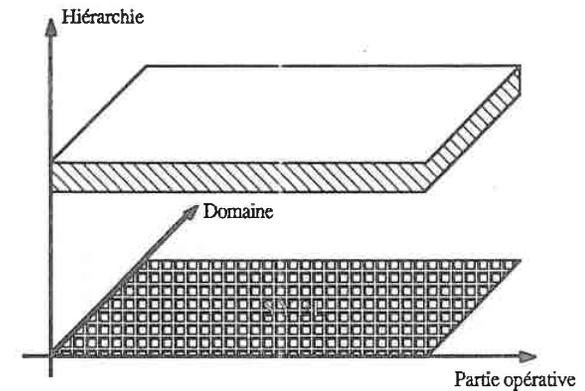
Nous venons de voir les domaines du point de vue de la PO, pour chaque domaine on va disposer d'une PC qui assurera la mise en oeuvre des fonctions nécessaires. Vis à vis du modèle multiniveaux global, on va retrouver ces différentes fonctions à tous les niveaux suivant les besoins. Cela ne signifie pas que les domaines restent indépendants à tous les niveaux, comme c'est le cas avec les SYEL, mais qu'il est possible d'identifier des fonctions dédiées à chacun dans tous les niveaux. On dispose alors de la même représentation multiniveaux pour chaque domaine et par extension du même arbre n-aire.

3. Modèle général

On propose un modèle général représenté par un repère à trois dimensions :

- un axe PO donnant une décomposition microscopique en termes de SYEL
- un axe domaine donnant une décomposition macroscopique de cette même PO
- un axe hiérarchie représentatif des niveaux hiérarchiques du modèle

Le schéma suivant présente ce repère tridimensionnel :

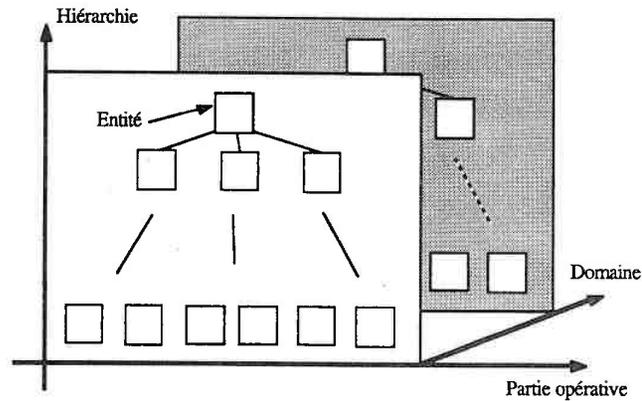


A partir de cette représentation, on visualise quelques notions précédemment introduites.

Un niveau i est représenté par un plan (domaine, PO) et recouvre par conséquent l'ensemble des domaines.

Dans un premier temps, on présente l'entité comme le point d'intersection de trois plans (hiérarchie, PO), (domaine, PO) et (hiérarchie, domaine). Cette représentation simple de l'entité sera complétée ultérieurement.

On précise ce modèle en intégrant les remarques faites au paragraphe précédent, sur l'existence des domaines à tous les niveaux et sur leur organisation suivant le même arbre, soit on aboutit au schéma :



Nous venons de voir de façon très succincte les relations qui pouvaient exister entre les différentes entités du modèle et la façon dont on pouvait les définir. Dans ce qui suit, on s'attache à la spécification d'une entité d'un point de vue externe et interne.

4. Spécification des entités

On considère une entité comme un producteur-consommateur vis à vis d'une entité qui lui est hiérarchiquement supérieure et d'un ensemble d'entités hiérarchiquement inférieures.

Les paragraphes suivants développent cette organisation en spécifiant de façon externe puis interne les entités.

4.1. Spécification externe

On s'intéresse ici à l'interaction entre entités de niveaux adjacents et aux flux échangés. Le flux d'information reliant deux entités mère-fille peut se décomposer en un premier sous-ensemble d'informations ascendantes et en un second descendant. Dans un souci d'homogénéité avec les définitions du modèle multiniveaux empruntées à l'OSI on introduit les termes de requêtes et compte-rendus. L'utilisation de ces termes permet en outre de s'affranchir d'une terminologie mouvante (état, événement, bilan...) dont on donne quelques exemples au chapitre IV.

4.1.1. Définitions

Requête : flux d'informations en provenance d'une entité mère et à destination de l'une de ses filles. C'est un flux descendant.

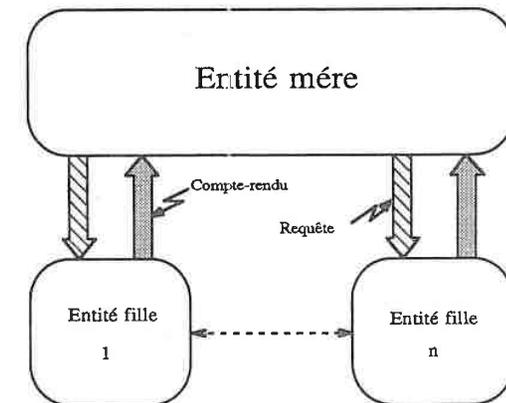
Compte-rendu : flux d'informations en provenance d'une entité fille et à destination de sa mère. C'est un flux ascendant.

Le troisième concept s'énonce de la façon suivante :

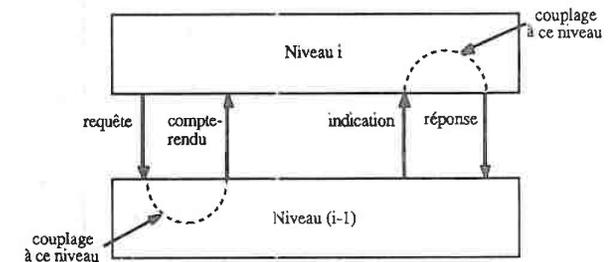
Flux interniveaux

La représentation de l'échange d'informations entre un couple d'entités mère-fille s'exprime sous forme de requêtes et de compte-rendus.

Le schéma suivant résume ces notions.



Remarque : la différenciation faite dans le modèle OSI entre les couples (requête, compte-rendu) et (indication, réponse) se schématise de la façon suivante :



La requête après traitement au niveau inférieur induit un compte-rendu (si nécessaire), quant à l'indication, après traitement au niveau supérieur induit (si nécessaire) une réponse.

Dans le cadre de notre modèle fonctionnel, on ne présuppose pas, au niveau d'abstraction ou on se place de l'existence initiale d'une requête pour un compte-rendu (pas de notion de chronologie), on peut donc dire que le couple (requête, compte-rendu) couvre le couple (indication, réponse).

La différenciation deviendra importante lorsque les relations de séquençement et les algorithmes seront explicitées, dans les phases ultérieures de développement du système.

4.1.2. Echanges d'informations entre entités mère-fille

On s'intéresse dans ce paragraphe à un formalisme de représentation des flux d'informations. Dans ce contexte, on propose l'emploi de la notation mathématique vectorielle pour représenter requêtes et compte-rendus.

Un vecteur d'échange entre entités mère-fille regroupe l'ensemble des informations échangées. Chaque composante est considérée comme un état n-aire (cf § suivant).

On adopte les notations suivantes :

vecteur requête pour une entité : $V_{Req(fille)}$

l'indice fille indique la référence de la fille vers laquelle est destinée la requête.

vecteur compte-rendu pour une entité : $V_{CR(fille)}$

l'indice fille indique la référence de la fille productrice du compte-rendu. Il ne peut y avoir ambiguïté sur la mère vu l'unicité de celle-ci.

4.1.3. Services et entités

La définition générale d'un service donnée au §1.2.5. (*capacité que possède la couche(N) fournie aux entités(N+1) à la frontière entre la couche(N) et la couche(N+1)*) est ici spécialisée au niveau d'une entité.

Service : capacité que possède une $i_entité$, fournie à la $(i+1)_entité$ mère.

Une entité fournit des services à une unique entité mère et utilise les services d'une ou plusieurs entités filles. Une entité effectue un (ou un ensemble) de traitements à partir des flux qu'elle reçoit (requêtes de la mère, compte-rendus des filles) et de son état courant qui la caractérise (voir § 4.2.1.) pour fournir les services nécessaires.

4.2. Spécification interne

On s'intéresse ici à la façon dont sont rendus les services par une entité de niveau i quelconque.

On distingue deux catégories de services : les services liés aux traitements spécifiques de données comme par exemple un algorithme de calcul PID, une gestion de base de données..., et les services liés au séquençement et à la coordination des entités. Dans ce qui suit on ne détaille que ces derniers. On admet pouvoir représenter les traitements associés à ces services à l'aide d'automates séquentiels, c'est à dire que les sorties (requêtes et compte-rendus émis) à un instant t dépendent à la fois des entrées (requêtes et compte-rendus reçus) à ce même instant et de l'état antérieur de l'entité. Dans la suite de ce chapitre nous vérifierons au fur et à mesure les hypothèses d'un système séquentiel présentées dans [COV86].

Vis à vis de la définition des vecteurs d'entrée et de sortie définis dans une machine séquentielle, ou chaque composante est un état 0 ou 1 [COV86], les définitions de V_{Req} et V_{CR} doivent être considérées comme des extensions. En effet chaque composante n'est pas binaire mais n-aire, on peut néanmoins se ramener facilement au cas binaire en assignant une composante binaire à chaque état n-aire.

4.2.1. Vecteur d'état d'une entité

Il caractérise l'état antérieur de l'entité, on note $V_{(ref)}$ le **vecteur d'état** de l'entité, ou chaque composante représente une **variable interne** de l'entité. On considère que le nombre d'états d'une entité est fini, on parlera donc de **machines à états finis** en parlant d'une entité.

L'indice (ref.) représente la position de l'entité dans le modèle général à trois axes.

4.2.2. Notion de fonction

Comme dans le modèle OSI une entité est constituée par un ensemble de fonctions. Les fonctions d'une même entité coopèrent pour rendre à l'entité mère les services requis.

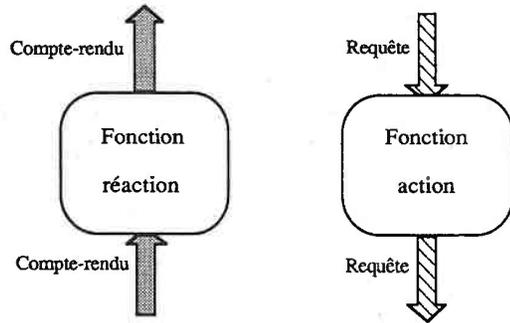
Pour préciser cette notion de fonction, on peut prendre l'exemple de la spécification des traitements à l'aide de la méthode SADT. On assimile alors une fonction à une activité du modèle actigramme.

Associés aux requêtes et aux compte-rendus on définit deux catégories de fonctions.

Fonction de type action : fonction consommant de façon sélective des requêtes en provenance du niveau hiérarchiquement supérieur et produisant des requêtes à destination du niveau hiérarchiquement inférieur.

Fonction de type réaction : fonction consommant de façon sélective des compte-rendus en provenance du niveau hiérarchiquement inférieur et produisant des compte-rendus à destination du niveau hiérarchiquement supérieur.

On peut schématiser ces notions de la façon suivante :



Remarque : on considère de même qu'une fonction puisse être représentée par un système séquentiel, et on admet pouvoir déduire la machine à état de l'entité à partir de celles de ses fonctions.

Remarque : une caractéristique importante des fonctions est d'être mono-domaine. C'est à dire qu'une fonction, action ou réaction n'appartient qu'à un des domaines identifiés, au sens du §2.3.

Remarque : On n'introduit pas à ce niveau de fonction mixte (action/réaction) dans la mesure où une telle fonction peut toujours être décomposée en fonctions de type action et réaction.

Par analogie on note $V_{(ref)}^{\partial}$ le vecteur d'état de la fonction f^{∂} (fonction de type ∂ : action, réaction ou mixte).

4.2.3. Coopération inter-fonctions

Nous avons vu qu'un service pouvait être rendu par une ou plusieurs fonctions. Les différentes fonctions d'une même entité coopèrent pour rendre des services plus complexes que l'action ou la réaction.

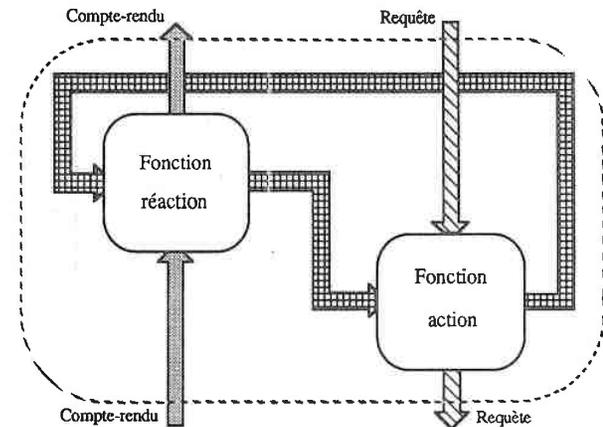
La coopération (au sens du §1.3.2.) représente la prise de décision par deux ou plusieurs fonctions d'une même entité sans faire appel aux fonctions de l'entité mère. Le processus de coopération se caractérise par l'échange d'information entre les différentes fonctions coopérantes.

Soit deux fonctions f et g d'une même entité, on dit que f coopère avec g ou g avec f si et seulement si f fournit de l'information à g OU g de l'information à f .

Le 'OU' n'étant pas exclusif.

Remarque : on ne considère la coopération qu'entre fonctions d'une même entité et non pas entre fonctions d'entités homologues. Ceci est inhérent au modèle coordonné proposé. Nous verrons au chapitre III une opération permettant de résoudre le problème de la coopération (dans un contexte défini) entre fonctions d'entités homologues sans sortir du cadre du modèle général.

On représente ci-dessous la coopération entre une fonction de type action et une fonction de type réaction. C'est le cas général de la coopération entre fonctions de cette nature.



Dans le cas général une entité n'est pas uniquement constituée de deux fonctions mais il est inutile de représenter tous les cas de figure possibles entre p fonctions de type réaction et q fonctions de type action.

On introduit le terme de **vecteur interne** pour représenter l'échange d'informations entre fonctions.

La notation proposée est : $V_{(ref)}^{\partial\beta}$ ou f^{∂} représente la fonction productrice β et f^{∂} la fonction réceptrice.

4.3. Hypothèse sur l'échange d'informations entre fonctions

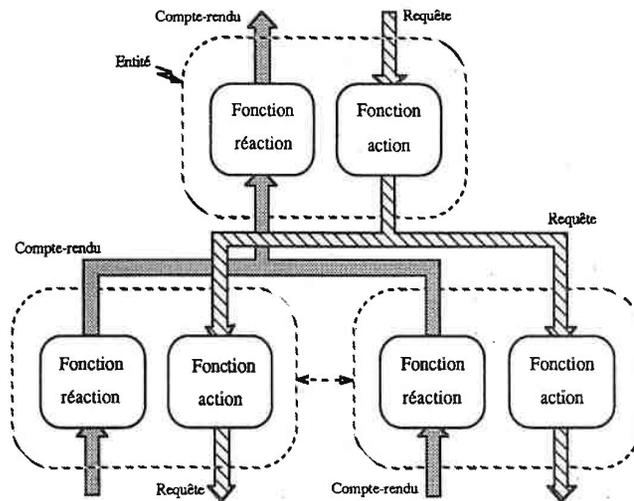
Pour compléter la définition du modèle vis à vis des échanges d'informations entre fonctions, on pose l'hypothèse suivante :

Relation entre fonctions de niveaux adjacents

Entre entités mère - filles, seuls les échanges d'informations suivants sont définis et tolérés :

- émission de requêtes des fonctions action de l'entité mère vers les fonctions actions des entités filles
- émission de compte-rendus des fonctions réaction des entités filles vers les fonctions réactions de l'entité mère

Ce que l'on schématise comme suit :



Cette règle constitue une contrainte sur les échanges d'informations. La justification réside dans la définition des fonctions action et réaction qui interagissent au niveau d'une entité.

5. Modélisation des entités

On dispose donc d'un modèle et (d'opérations) permettant d'exprimer les relations entre les différents éléments constitutifs. Dans ce qui suit on définit un formalisme de représentation de ces différentes notions.

L'objet de ce formalisme est de montrer qu'il est possible d'offrir un support mathématique à la réflexion, et donc de permettre la validation, la preuve... et surtout l'informatisation que ne pourrait supporter un modèle non formalisé. Cette démarche permet de se rapprocher de théories existantes comme les automates [COV86], les réseaux de pétri [BRA83] possédant leur propres outils adaptés.

On s'intéresse maintenant à la spécification des traitements à partir des vecteurs précédemment définis.

5.1. Définition des espaces d'une entité

Les états constituant les vecteurs précédemment définis évoluent dans un espace d'états caractéristique de l'entité. Cet espace est de **dimension fini** pour un SAP donné. Cette hypothèse est valable pour les autres espaces définis ci-dessous.

$\Omega_{Et(ref)}$: Espace des vecteurs d'état de l'entité

$\Omega_{ReqR(ref)}$: Espace des vecteurs requête recevables par l'entité

$\Omega_{CRR(ref)}$: Espace des vecteurs compte-rendu recevables par l'entité

$\Omega_{ReqE(ref)}$: Espace des vecteurs requête émissibles par l'entité

$\Omega_{CRE(ref)}$: Espace des vecteurs compte-rendu émissibles par l'entité

La dépendance de ces espaces entre une entité mère et ses filles s'exprime de la façon suivante :

$$\Omega_{ReqE(ref)} = \bigcup^i \Omega_{ReqR(ref.fille(i))}$$

$$\Omega_{CRR(ref)} = \bigcup^j \Omega_{CRE(ref.fille(j))}$$

Vis à vis des machines séquentielles, la réunion de $\Omega_{CRR(ref)}$ et de $\Omega_{ReqR(ref)}$ représente l'ensemble des vecteurs d'entrées. $\Omega_{ReqE(ref)}$ (union) $\Omega_{CRE(ref)}$ représente l'ensemble des vecteurs de sorties.

Ces notions d'espace de vecteurs d'une entité s'étendent aux fonctions, on adopte alors la notation suivante déduite de la précédente :

$\Omega^{(v)}$ ou (v) représente le type de fonction action ou réaction

On définit de plus les vecteurs internes exprimant les échanges d'informations entre fonctions d'une même entité soit :

$\Omega^{(v)} \text{IntE}_{(ref.)}$: Espace des vecteurs internes émis par la fonction ∂ à destination des autres fonctions coopérantes de l'entité

$\Omega^{(v)} \text{IntR}_{(ref.)}$: Espace des vecteurs internes reçus par la fonction ∂ à destination des autres fonctions coopérantes de l'entité

Remarque : on admet ici pouvoir définir les différents espaces de l'entité en fonction des espaces des fonctions qui la constituent.

Dans le cas d'une fonction, l'ensemble des vecteurs d'entrées est la réunion de : $\Omega^{(v)} \text{IntR}_{(ref.)}$, $\Omega^{(v)} \text{CRR}_{(ref.)}$ et de $\Omega^{(v)} \text{ReqR}_{(ref.)}$, de même pour l'ensemble des vecteurs de sorties qui est la réunion de : $\Omega^{(v)} \text{IntE}_{(ref.)}$, $\Omega^{(v)} \text{CRE}_{(ref.)}$ et de $\Omega^{(v)} \text{ReqE}_{(ref.)}$.

5.2. Modélisation des traitements

On s'intéresse au traitement global effectué par une entité, la transposition étant faite ensuite aux fonctions.

Soit $T_{(ref.)}$ le traitement effectué par l'entité. On pose :

$$\begin{aligned} T_{(ref.)} : \Omega^{(v)} \text{Et}_{(ref.)} * \Omega^{(v)} \text{ReqR}_{(ref.)} * \Omega^{(v)} \text{CR}_{(ref.)} &\longrightarrow \Omega^{(v)} \text{Et}_{(ref.)} \\ V_{(ref.)} * V_{\text{Req}(ref.)} * \{V_{\text{CR}(ref. fille(k))}(t)\}_k &\longrightarrow V_{(ref.)} \\ V_{(ref.)}(t) = T_{(ref.)} (V_{(ref.)}(t - \Delta t), V_{\text{Req}(ref.)}(t), \{V_{\text{CR}(ref. fille(k))}(t)\}_{k=1..a}) &\quad (1) \end{aligned}$$

L'expression (1) montre la relation entre le vecteur d'état à l'instant t (du calcul), son antécédent à t - Δt , le vecteur requête à l'instant t et l'ensemble des vecteurs compte-rendus des entités filles à t.

Elle représente la fonction état suivant qui représente l'évolution interne d'une machine séquentielle.

Remarque : dans la suite du document la référence temporelle n'apparaîtra plus dans les expressions pour raisons de simplification d'écriture.

Cette relation s'exprime aussi pour une fonction en prenant en compte les vecteurs internes, soit pour une action :

$$\begin{aligned} T_{(ref.)}^{\partial} : \Omega^{\partial} \text{Et}_{(ref.)} * \Omega^{\partial} \text{ReqR}_{(ref.)} * (\Omega^{\partial} \text{IntR}_{(ref.)})^i &\longrightarrow \Omega^{\partial} \text{Et}_{(ref.)} \\ V_{(ref.)}^{\partial} * V_{\text{Req}(ref.)}^{\partial} * \{V_{(ref.)}^{\partial(i)}\}_i &\longrightarrow V_{(ref.)}^{\partial} \\ V_{(ref.)}^{\partial} = T_{(ref.)}^{\partial} (V_{(ref.)}^{\partial}, V_{\text{Req}(ref.)}^{\partial}, \{V_{(ref.)}^{\partial(i)}\}_i) &\quad (2) \end{aligned}$$

et une réaction :

$$\begin{aligned} T_{(ref.)}^{\beta} : \Omega^{\beta} \text{Et}_{(ref.)} * \Omega^{\beta} \text{CRR}_{(ref.)} * (\Omega^{\beta} \text{IntR}_{(ref.)})^j &\longrightarrow \Omega^{\beta} \text{Et}_{(ref.)} \\ V_{(ref.)}^{\beta} * \{V_{\text{CR}(ref. fille(k))}^{\beta}\}_k * \{V_{(ref.)}^{\partial(j)\beta}\}_j &\longrightarrow V_{(ref.)}^{\beta} \\ V_{(ref.)}^{\beta} = T_{(ref.)}^{\beta} (V_{(ref.)}^{\beta}, \{V_{\text{CR}(ref. fille(k))}^{\beta}\}_{k=1..a}, \{V_{(ref.)}^{\partial(j)\beta}\}_{j=1..b}) &\quad (2') \end{aligned}$$

La construction du vecteur requête pour une fille s'exprime de la façon suivante :

$$\begin{aligned} T_{\text{Req}(ref. fille)} : \Omega^{\beta} \text{Et}_{(ref.)} &\longrightarrow \Omega^{\beta} \text{ReqE}_{(ref.)} \\ V_{(ref.)} &\longrightarrow V_{\text{Req}(ref. fille)} \\ V_{\text{Req}(ref. fille)} = T_{\text{Req}(ref. fille)}(V_{(ref.)}) &\quad (3) \end{aligned}$$

$T_{\text{Req}(ref. fille)}$ représente un traitement de construction du vecteur requête (à partir du vecteur d'état de l'entité de référence) pour une fille donnée (ref.) et ou (ref. fille) représente l'entité fille destinataire.

On transpose de la même façon que précédemment pour une fonction.

Pour le vecteur compte-rendu on a :

$$\begin{aligned}
 & T_{CR(ref.)} : \Omega Et_{(ref.)} \dashrightarrow \Omega CRE_{(ref.)} \\
 & \quad \quad \quad V_{(ref.)} \dashrightarrow V_{CR(ref.)} \\
 \\
 & V_{CR(ref.)} = T_{CR(ref.)}(V_{(ref.)}) \quad (4)
 \end{aligned}$$

où $T_{CR(ref.)}$ représente un traitement de construction du vecteur compte-rendu (à partir du vecteur d'état de l'entité de référence) pour l'entité mère. On transpose de la même façon que précédemment pour une fonction.

Si on se réfère à la définition de la fonction de sortie d'un automate séquentiel, on constate qu'elle est définie entre le produit cartésien de l'ensemble des états avec l'ensemble des vecteurs d'entrées et l'ensemble des vecteurs de sorties. Dans notre cas on ne considère comme espace de départ que l'espace des vecteurs d'états de l'entité. Ce qui revient à dire que ce vecteur est caractéristique à un instant t des entrées et de l'état antérieur, il est donc calculé à chaque instant t . C'est une simplification des équations qui ne nuit en rien à l'hypothèse des machines séquentielles.

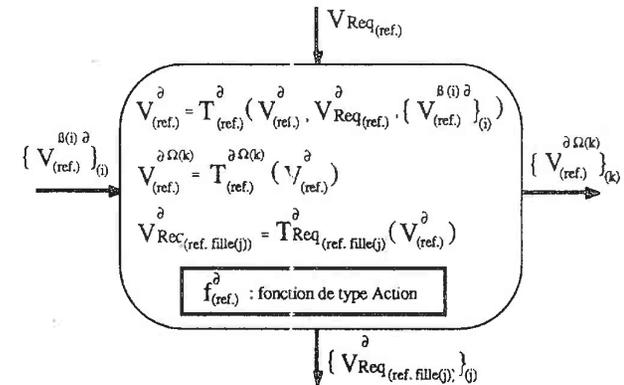
La fonction de sortie (surjective : toute sortie définie est accessible) est donc dans notre cas représentée par : $T_{CR(ref.)}$ et les différentes $T_{Req(ref. fille)}$.

Pour les vecteurs internes échangés entre fonctions d'une même entité on a :

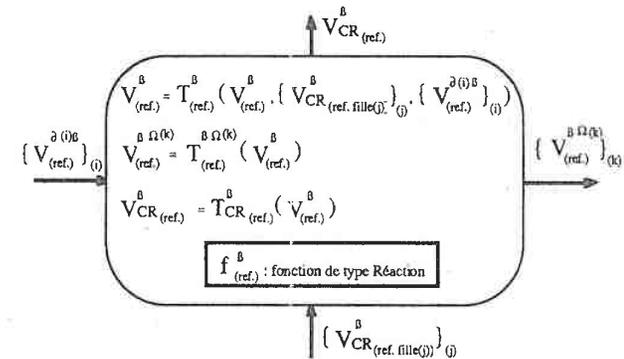
$$V_{(ref.)}^{\partial B} = T_{(ref.)}^{\partial B} (V_{(ref.)}^{\partial}) \quad (5)$$

Les schémas suivant résument ces différentes notations :

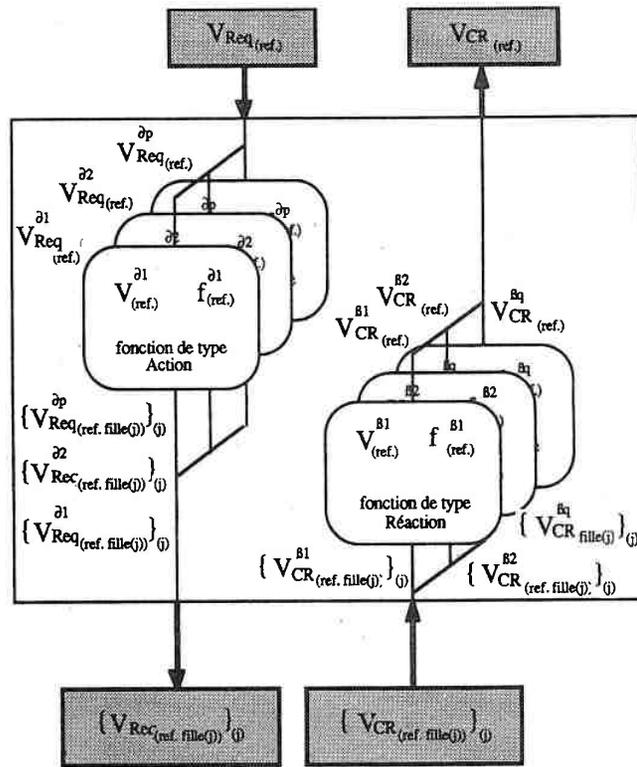
pour une fonction action



pour une fonction réaction



Remarque : on admet pouvoir définir les traitements et vecteurs de l'entité en fonction de ceux des fonctions qui la constitue. Pour illustrer les différentes notations employées on propose le schéma suivant :



A titre d'exemple de présentation du formalisme, on reprend la coopération entre une fonction de type action et une fonction de type réaction présentée au § 4.2.3. Du point de vue des espaces d'état, la coopération s'exprime de la façon suivante :

deux fonctions ∂ et B coopèrent

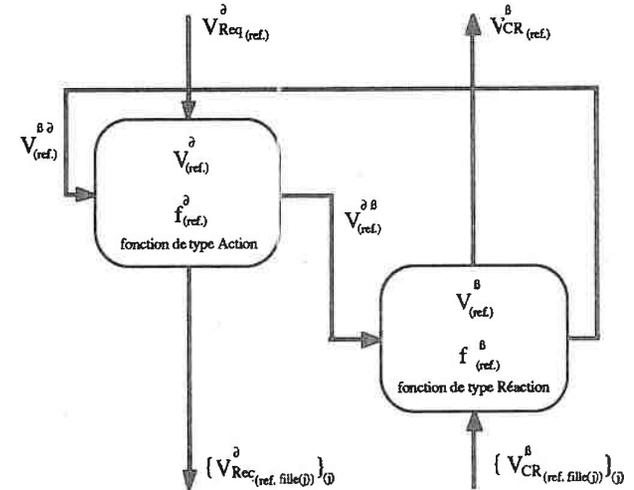
si et seulement si

$$\Omega_{IntE_{(ref.)}}^{\partial} \text{ (inter) } \Omega_{IntR_{(ref.)}}^B \neq \emptyset$$

ou

$$\Omega_{IntR_{(ref.)}}^{\partial} \text{ (inter) } \Omega_{IntE_{(ref.)}}^B \neq \emptyset$$

Le schéma suivant présente le modèle de base de la coopération entre une fonction action et une fonction réaction à l'aide des vecteurs.



Du point de vue des traitements, la coopération s'exprime à l'aide des équations suivantes :

>

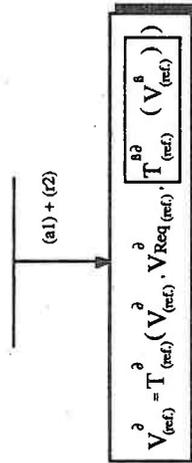
Coopération entre une fonction action et une fonction réaction

$f_{(ref)}^a$: fonction de type Action

(a1) $V_{(ref)}^a = T_{(ref)}^a (V_{(ref)}^a, V_{Req(ref)}^a, V_{(ref)}^{a,b})$

(a2) $V_{(ref)}^{a,b} = T_{(ref)}^{a,b} (V_{(ref)}^a)$

(a3) $V_{Req(ref,filles(i))}^a = T_{Req(ref,filles(i))}^a (V_{(ref)}^a)$

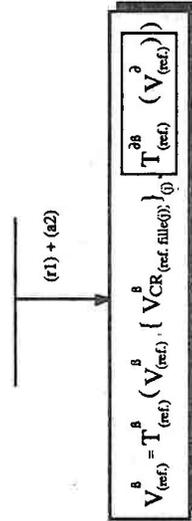


$f_{(ref)}^b$: fonction de type Réaction

(r1) $V_{(ref)}^b = T_{(ref)}^b (V_{(ref)}^b, \{V_{CR(ref,filles(i))}^b\}_0, V_{(ref)}^{b,b})$

(r2) $V_{(ref)}^{b,b} = T_{(ref)}^{b,b} (V_{(ref)}^b)$

(r3) $V_{CR(ref)}^b = T_{CR(ref)}^b (V_{(ref)}^b)$



6. Conclusion sur le modèle

En résumé, le modèle proposé repose sur quatre concepts que l'on regroupe ci-dessous.

Modèle multiniveaux

La représentation des différentes hiérarchies inhérentes aux systèmes automatisés de production est organisée autour d'un modèle multiniveaux. Le nombre de niveaux dépend d'une part du système, et d'autre part des critères de hiérarchisation utilisés.

Structure n-aire

L'organisation des entités dans le modèle multiniveaux se base sur une hypothèse de coordination stricte. Le modèle résultant est un arbre n-aire dans lequel les entités constituent les noeuds.

Flux interniveaux

La représentation de l'échange d'informations entre un couple d'entités mère-fille s'exprime sous forme de requêtes et de compte-rendus.

Relation entre fonctions de niveaux adjacents

Entre entité mère - filles, seuls les échanges d'informations suivants sont définis et tolérés :

- émission de requêtes des fonctions action de l'entité mère vers les fonctions actions des entités filles
- émission de compte-rendus des fonctions réaction des entités filles vers les fonctions réactions de l'entité mère

Pour illustrer ce modèle on se propose de traiter un cas simple.

7. Exemple d'application

Un exemple valant souvent mieux que de longues explications on ce propose de présenter les concepts du modèle et le formalisme proposé sur le cas simple d'une aiguille utilisée dans le domaine ferroviaire.

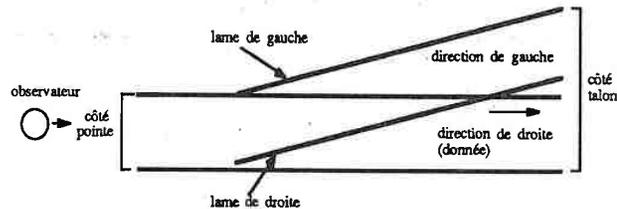
7.1. Description générale

L'aiguille est un ensemble de rails mobiles, destinés à faire passer les véhicules ferroviaires d'une voie sur une autre.

Une aiguille est dite :

- à gauche si la direction de gauche est donnée quand on regarde l'aiguille par la pointe : la lame de droite est appliquée

- à droite si la direction de droite est donnée quand on regarde l'aiguille par la pointe : la lame de gauche est appliquée



Une aiguille peut être manoeuvrée soit par transmission mécanique en local par un aiguilleur, soit à distance par mécanisme électrique en particulier dans les triages et sur les voies de service.

On distingue trois types de dispositifs de contrôle. Les contrôles d'entrebaillement et de position qui ne sont qu'indicatifs. Ils ne sont efficaces que dans la mesure où l'aiguilleur observe leurs indications.

Lorsque les conditions d'exploitation l'exigent, il est nécessaire de recourir à des dispositions de sécurité impératives.

Le contrôle impératif d'une aiguille a pour but, suivant son type, d'interdire matériellement l'ouverture du signal, ou de le maintenir fermé, ou encore de provoquer sa fermeture, si l'aiguille intéressée ne réunit pas les conditions de sécurité suivante :

- concordance de position entre l'aiguille et son organe de commande
- collage d'une lame
- décollage de la lame opposée
- verrouillage le cas échéant

Dans l'exemple on considère une aiguille commandable manuellement ou électriquement et assurant les différents contrôles à l'aide de capteurs ad hoc.

7.2. Modélisation

Dans un premier temps on s'intéresse à la définition des SYEL (cf §3.2.1). Ils sont constitués par les capteurs et actionneurs précédemment définis et constituant le mécanisme de l'aiguille. On adopte les abréviations suivantes pour les différents états :

système élémentaire de type actionneur :

Ac : requête d'activation de l'actionneur : états possibles : D, G, I, S
(D)roite, (G)auche, (I)nactif, (S)top

systèmes élémentaires de type capteur :

Occ : Compte-rendu d'occupation états possibles : OK, !OK
Lm : Compte-rendu de reprise en manuel états possibles : OK, !OK
Fd : Compte-rendu de fin de course droit états possibles : OK, !OK
Fg : Compte-rendu de fin de course gauche états possibles : OK, !OK
Cd : Compte-rendu de collage / décollage droit états possibles : OK, !OK
Cg : Compte-rendu de collage / décollage gauche états possibles : OK, !OK

Le besoin de coordination (critère développé par ailleurs) nécessite l'agrégation (outil développé par ailleurs) de l'ensemble des SYEL pour former la 0_{entité} aiguille.

Cette 0_{entité} coordonne l'ensemble des SYEL et communique avec un niveau hiérarchiquement supérieur de la façon suivante :

requête :

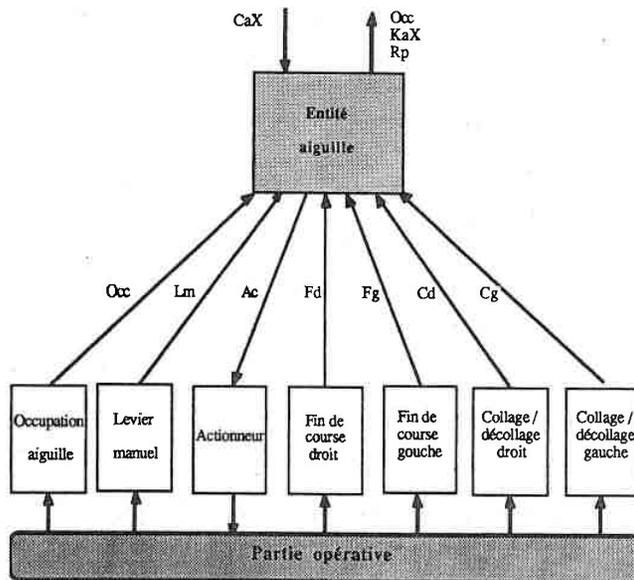
CaX : requête de positionnement de l'aiguille états possibles : D, G, I

Compte-rendus :

KaX : Compte-rendu de position états possibles : D, G, I
Rp : Compte-rendu de reprise en manuel états possibles : OK, !OK
Occ : Compte-rendu d'occupation états possibles : OK, !OK

>

On résume tous ces états sur le schéma suivant :

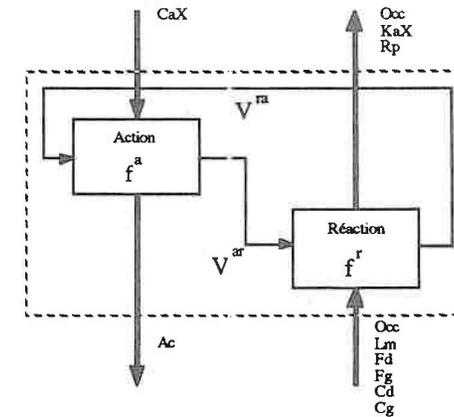


Le modèle est un arbre 7-aire organisé suivant deux niveaux hiérarchiques dont on étudie uniquement le domaine trafic.

On s'intéresse maintenant à la spécification interne de l'entité aiguille.

Par la simplicité de l'entité, on la modélise à l'aide d'un couple de fonctions action / réaction suivant le modèle de base de la coopération défini au §4.2.3 (couple action / réaction).

Soit la représentation de l'entité aiguille :



V^{ar} : représente le vecteur d'échange de la fonction action vers la fonction réaction. Il représente la position souhaitée.

V^{ra} : représente le vecteur d'échange de la fonction réaction vers la fonction action. Il représente une demande d'arrêt de l'actionneur.

Les états internes de la fonction action sont :

Pos : position courante de l'aiguille
MM : mode de marche de l'aiguille (HS ou ES)

et pour la fonction réaction on a :

Pos : position courante de l'aiguille (D, G, I)
MM : mode de marche de l'aiguille (HS ou ES)
TO : un time-out

le vecteur d'état de l'entité étant constitué de trois composantes : Pos, MM, TO.

On peut alors spécifier les traitements des deux fonctions de l'entité aiguille :

- la **fonction action** assure la mise en route et l'arrêt du moteur suivant une requête du niveau supérieur ou une demande de la fonction réaction

- la **fonction réaction** contrôle la position de l'aiguille à l'aide des informations des différents capteurs et assure la temporisation du moteur.

L'annexe A donne une formalisation de ces traitements en pseudo PASCAL pour chaque fonction.

CHAPITRE III

Utilisation du modèle

La démarche du concepteur

Introduction	69
1. Les outils	70
1.1. Classification des informations	70
1.2. Identification des domaines	71
1.3. Le masquage d'information	74
2. Les opérations de transformation	75
2.1. Agrégation de systèmes élémentaires	75
2.2. Fusion d'entités - partitionnement	77
2.2.1. Principe	77
2.2.2. Mise en oeuvre de la fusion	79
2.2.3. Partitionnement	79
2.3. Décomposition - Composition	80
2.4. Généralisation - Spécialisation	82
3. Les critères de construction du modèle opérationnel	83
3.1. La simplification d'un problème	83
3.2. La topologie	83
3.2.1. Les processus de type répartis	83
3.2.2. Les processus localisés	86
3.3. Le besoin de coordination	88
3.4. Critère de mode de marche	93
3.4.1. Présentation	93
3.4.2. Extension de la notion de mode de marche	94
3.4.3. Le critère de mode de marche	97
Conclusion	99

Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté les concepts de base du modèle, ainsi qu'un exemple d'utilisation du formalisme employé.

Le choix de cet exemple simple a permis de construire le modèle associé sans faire ressortir explicitement la démarche employée pour y arriver. L'objet du présent chapitre est de présenter un ensemble de moyens permettant, à partir du cahier des charges, d'orienter la réflexion et de permettre une démarche structurée pour la conception de la structure d'un SAP.

Pour cela on dispose d'outils de classification des informations et d'identification des domaines, d'opérations de transformation du modèle général et enfin de critères permettant de justifier le choix d'une solution plutôt qu'une autre.

Parmi les critères présentés, outre ceux typiques au génie logiciel (la simplification...), on introduit des critères spécifiques aux SAP comme : la topologie, le critère de mode de marche, ...

Du point de vue de la terminologie employée, il est important de repositionner quelques termes dans leur contexte.

Le terme de modèle fonctionnel, employé indifféremment pour le modèle général issu des concepts du chapitre II et le modèle spécifique à un SAP nécessite un petit réajustement.

Un modèle élaboré à partir de critères opérationnels comme la topologie ou les modes de marche ne peut plus être qualifié de fonctionnel.

On réserve donc l'expression **modèle fonctionnel** au modèle général présenté au chapitre II.

L'expression **modèle opérationnel** caractérise le modèle associé à un SAP particulier et résultant de l'application des critères, outils et opération au modèle fonctionnel suivant le cahier des charges.

Enfin **modèle système** est réservé à la réalisation matérielle du SAP. On ne présente pas ici la façon dont on passe du modèle opérationnel au modèle système cela sort du cadre de l'étude.

1. Les outils

Le rôle d'un outil est de simplifier la tâche du concepteur dans sa démarche d'analyse. Il permet de manipuler des notions inhérentes au modèle proposé. Les outils présentés sont les suivants :

- classification des informations
- identification des domaines
- masquage de données

1.1. Classification des informations

La classification, telle qu'elle est définie dans le petit Larousse, consiste en une distribution systématique en diverses catégories, d'après des critères précis.

Le concept 3 définissant les flux inter-niveaux en termes de requêtes et de compte-rendu permet d'offrir une distribution en deux catégories, des informations manipulées dans un SAP.

Les deux critères permettant la distinction entre requête et compte-rendu sont les suivants :

Critère 1

L'information $i1$ est une requête

si et seulement si

il existe un couple d'entités, $e1$ de niveau i et $e2$ de niveau $(i+1)$, tel que $i1$ soit produite par $e2$ et consommée par $e1$.

(ou en utilisant les espaces d'états)

il existe un couple d'entités, $e1$ de niveau i et $e2$ de niveau $(i+1)$, tel que $i1$ appartienne à $\Omega_{ReqE(e2)} (inter) \Omega_{ReqR(e1)}$

le second critère se déduit du premier soit :

Critère 2

L'information $i1$ est un compte-rendu

si et seulement si

il existe un couple d'entités, $e1$ de niveau i et $e2$ de niveau $(i+1)$, tel que $i1$ soit produite par $e1$ et consommée par $e2$.

(ou en utilisant les espaces d'états)

il existe un couple d'entités, $e1$ de niveau i et $e2$ de niveau $(i+1)$, tel que $i1$ appartienne à $\Omega_{CRR(e2)} (inter) \Omega_{CRE(e1)}$

On en déduit la classe des requêtes (C_{Req}) et celle des compte-rendus (C_{CR}) dont on peut donner les propriétés générales suivantes :

$$- C_{Req} (inter) C_{CR} = \emptyset$$

$$- C_{Req} (union) C_{CR} = \{ \text{ensemble des informations manipulées dans le système} \}$$

- On peut affirmer que $C_{Req} \neq \emptyset$ car il existe au moins une requête de mise en marche et une requête d'arrêt du système.

D'autre part il est aussi possible que $C_{CR} = \emptyset$ pour un système réel.

Dans ces conditions C_{CR} et C_{Req} définissent une partition de l'ensemble des informations dans un SAP.

Remarque : si on réduit la classe des requêtes à une seule entité, on a alors :

$$C_{Req(ref.)} = (U \Omega_{ReqE(ref.)}) \cup \Omega_{ReqR(ref.)}$$

ce qui revient à dire que la classe des requêtes, pour une entité, est égale à la réunion des espaces des requêtes émises vers les filles et de l'espace des requêtes reçues de l'entité mère.

de même pour les compte-rendus :

$$C_{CR(ref.)} = (U \Omega_{CRR(ref.)}) \cup \Omega_{CRE(ref.)}$$

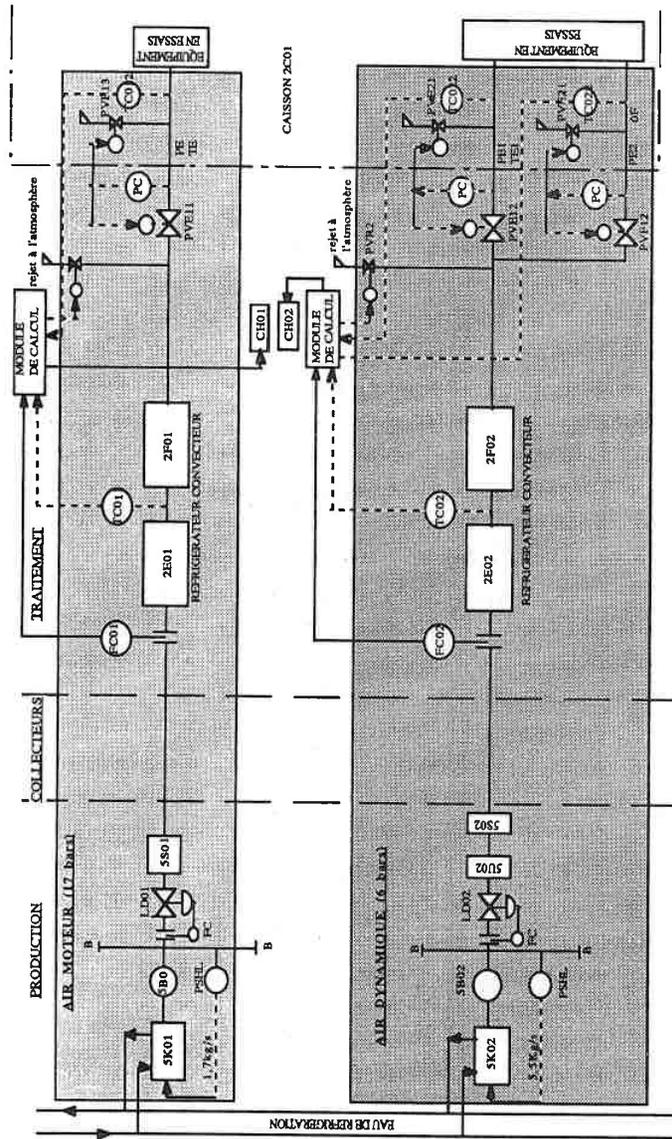
1.2. Identification des domaines

L'identification d'un ou plusieurs domaines est souvent liée à une connaissance du process par l'exploitant. L'expertise permet alors leur identification.

Le cas du laboratoire de conditionnement d'air de l'Hers : le CEAT (Centre d'Essais Aéronautique de Toulouse) offre un exemple intéressant de diagramme de flux de matière d'oeuvre couramment utilisé par les ingénieurs, lors du démarrage de l'étude du système.

Le synoptique page suivante fait ressortir deux flux :

- air moteur
- air dynamique



regroupant chacun un ensemble de SYEL (Ex : capteurs FC01, TC01... actionneurs : PVE11, LD01...). On constate une quasi-indépendance de ces deux flux que l'on assimile à deux domaines.

Pour chacun de ces deux domaines, on constate l'existence de fonctions de plus haut niveau (les modules de calculs) coordonnant plusieurs SYEL, que l'on assimile à des O_entités.

Dans le cas des process de type transport, les domaines identifiés sont liés à la topologie, et à la distinction sur le terrain de : la voie ferrée, le matériel roulant, le matériel d'énergie et les équipements voyageurs en gares, ce qui permet d'identifier les quatre domaines déjà définis : trafic, énergie-traction, train et station.

Pour chacun des domaines on peut alors identifier les services requis. A titre d'exemple on considère le process Métro de Lyon restreint à la ligne C, et pour chaque domaine on identifie les services :

Domaine trafic

- suivi et identification des trains
- formation des trains
- téléphonie avec les trains
- commande des manoeuvres
- commande des départs - régulation du trafic
- commande du réseau 750 V
- surveillance des équipements de sécurité et de contrôle du trafic
- acquisition et exploitation des données relatives au trafic, statistiques, tableau de bord

Domaine station

- suivi de l'exploitation des stations
- surveillance des locaux d'exploitation et du fonctionnement des équipements en station

Domaine énergie

- gestion du réseau HT, BT
- gestion de la production et de la distribution du réseau de traction
- acquisition des données relatives au réseau d'énergie - tableau de bord
- gestion des consignations
- gestions des défauts techniques relatifs à l'énergie et au mouvement des voyageurs

que l'on détaille dans l'annexe D.

Dans le cas général, on peut identifier ce que l'on appelle couramment les communs, c'est à dire des besoins que l'on retrouve sur tous les constituant d'un SAP.

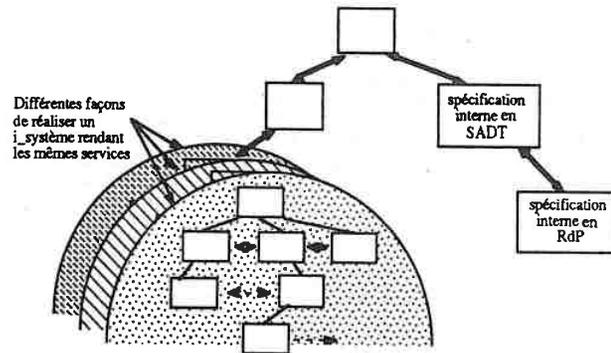
On peut citer la distribution de l'énergie, de l'eau, de l'air comprimé... Chacun caractérisant un domaine rendant des services bien identifiés.

1.3. Le masquage d'information

Le masquage d'information permet d'isoler un élément d'un système pour l'étudier indépendamment des autres. Cette isolation ne nécessite que la spécification externe de l'élément indépendamment de sa spécification interne. Le masquage est un moyen de simplification d'un problème complexe permettant d'isoler une caractéristique ou une propriété et de la considérer indépendamment des autres.

On peut de cette façon s'affranchir le plus longtemps possible des choix de réalisation des entités, ou modifier un choix de réalisation en affectant au minimum le reste du modèle.

Par exemple lors de la spécification d'un *i_système* on ne précise au niveau de l'entité mère que les services rendus par le *i_système*, sans en donner sa structure. Ce que l'on peut représenter par le schéma suivant :



De la même façon on peut spécifier des entités de façon interne à l'aide de méthodes différentes, dans la mesure où la connaissance des interfaces seules est nécessaire à l'utilisation de l'entité.

Cette approche favorise l'évolutivité du modèle, la manipulation des entités, la réutilisation, ainsi que le travail en équipe.

2. Les opérations de transformation

Si on se réfère au petit Larousse la définition d'opération dans le sens mathématique du terme est la suivante :

Opération

Combinaison effectuée sur des êtres mathématiques suivant des règles données, et admettant comme résultat un être mathématique bien déterminé.

Si on considère l'entité comme un être mathématique on peut définir des opérations de l'ensemble des entités dans lui-même. On peut procéder de la même façon pour les fonctions.

Dans ce qui suit on va donc définir un ensemble d'opérations sur les entités. On ne prétend pas les expliciter toutes, mais seulement celles permettant une utilisation optimale du modèle et s'attachant au respect des concepts présentés, soit :

- agrégation de SYEL
- fusion d'entités - partitionnement
- décomposition d'entités - composition
- généralisation - spécialisation

2.1. Agrégation de systèmes élémentaires

Agrégation

Opération consistant à regrouper des SYEL dans le but d'exprimer le besoin de coordination entre ces derniers.

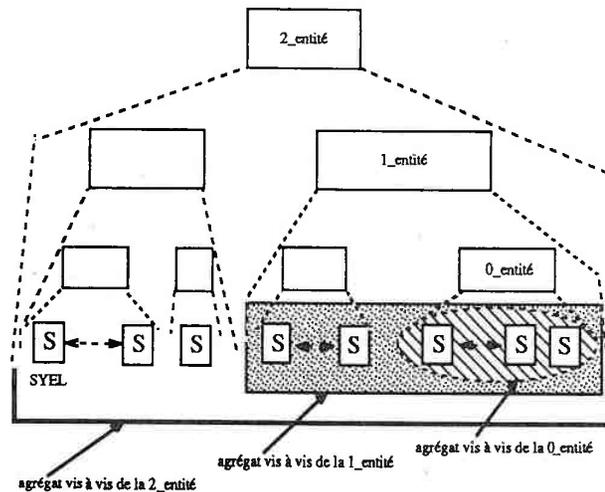
Un agrégat de SYEL résulte d'une opération d'agrégation, il permet d'exprimer le couplage des parties opératives des SYEL vis à vis des matières d'oeuvre.

Ce besoin d'agrégation résulte de la définition même des SYEL. En effet, un capteur ou un actionneur pris de façon isolée n'a pas toujours d'intérêt vis à vis du process. Son importance s'exprime surtout vis à vis d'autres SYEL. C'est le cas typique d'une machine dont on connaît le fonctionnement général mais dont on ne se préoccupe pas de chaque capteur ou actionneur. On peut reprendre le cas de l'aiguille, ou au niveau de l'entité aiguille, on ne s'intéresse qu'à des compte-rendus généraux.

Si on s'intéresse au niveau constitué par les 0_entités, on peut le définir comme le premier niveau rendant un service identifiable. Par exemple l'entité aiguille est une 0_entité.

L'opération d'agrégation de SYEL peut néanmoins prendre un sens plus général et définir des agrégats plus importants que celui identifié par une 0_entité. Un agrégat de SYEL peut être associé à une entité de niveau *i*, cette entité

coordonnant l'ensemble des SYEL de cet agrégat. Le schéma suivant illustre cette notion :



On peut énoncer quelques propriétés de cette opération :

- Propriété 1

l'intersection de deux agrégats associés à des 0_entités distinctes est vide.

En effet, par définition même des relations entre entités, si cette intersection était non vide, cela signifierait qu'un SYEL au moins est en relation avec deux entités, ce qui est en désaccord avec le concept 2 d'arbre n-aire.

- Propriété 2

l'opération d'agrégation définit une relation biunivoque dans le sens où à tout agrégat on peut associer une entité de niveau i et inversement, à toute entité de niveau i on définit un agrégat de SYEL.

- Propriété 3

l'intersection de deux agrégats associés à des entités de niveau i distinctes est vide.

sinon les deux entités ne pourraient être distinctes, de par l'hypothèse d'arbre n-aire.

- Propriété 4

la réunion de tous les SYEL d'un système constitue un agrégat coordonné par l'entité de plus haut niveau.

2.2. Fusion d'entités - partitionnement

L'approche proposée permet de définir l'entité comme un ensemble de fonctions coopérantes dans le but de rendre le ou les services assignés.

Telle qu'elle a été définie au Chapitre II §3 (*intersection de trois plans (hiérarchie, partie opérative), (domaine, partie opérative), (hiérarchie, domaine)*) l'entité ne recouvre qu'un seul domaine, ce qui signifie qu'il n'y a a priori de coopération entre des fonctions appartenant à des entités de domaines différents dans un même niveau.

Cette constatation est très restrictive et ne saurait être appliquée que dans quelques cas particuliers.

D'autre part dans un souci d'évolüvité on peut être amené à demander de nouveaux services et donc rajouter un ou plusieurs domaines. Des entités appartenant à ces nouveaux domaines peuvent être amenées à échanger de l'information avec des entités appartenant aux anciens domaines et donc créer des processus de coopérations entre fonctions d'entités homologues dans ces divers domaines.

Enfin, dans le cadre d'un système complexe, la répartition du travail entre plusieurs équipes est souvent nécessaire. On peut alors répartir les compétences par domaine, ce qui nécessite ensuite une intégration des différentes études. A ce niveau bien souvent les fonctions d'un domaine vont être amenées à coopérer avec des fonctions d'autres domaines.

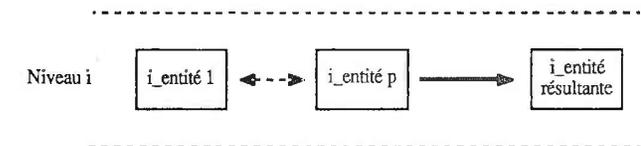
2.2.1. Principe

On considère la fusion d'entités comme une opération de l'ensemble des entités appartenant à un même niveau dans lui-même. L'opération de fusion se définit de la façon suivante :

Opération de fusion

Définie de l'ensemble des entités d'un niveau dans lui-même, l'opération de fusion associée à deux entités distinctes échangeant de l'information, pour assurer la coopération entre deux ou plusieurs de leur fonctions, une entité résultante constituée de la réunion des fonctions des deux entités précédentes.

Soit le schéma :



Par définition de la coopération entre fonctions (chapitre II § 4.2.3. : *f coopère avec g si et seulement si f échange de l'information avec g ou g avec f*), l'opération de fusion est commutative.

Les espaces d'états de l'entité résultante sont la réunion des espaces des différentes entités fusionnées soit si on considère la fusion des entités A et B en une entité C on a :

$$\Omega_{ReqE_{(ref(C))}} = \Omega_{ReqE_{(ref(A))}} \cup \Omega_{ReqE_{(ref(B))}}$$

$$\Omega_{CRR_{(ref(C))}} = \Omega_{CRR_{(ref(A))}} \cup \Omega_{CRR_{(ref(B))}}$$

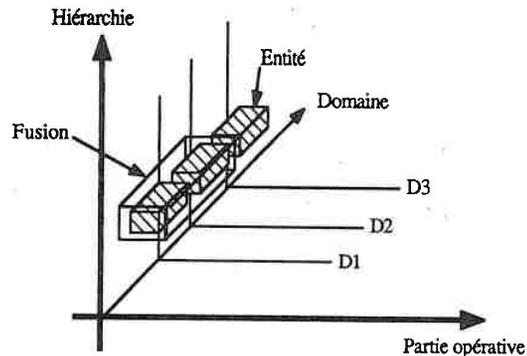
$$\Omega_{ReqR_{(ref(C))}} = \Omega_{ReqR_{(ref(A))}} \cup \Omega_{ReqR_{(ref(B))}}$$

$$\Omega_{CRE_{(ref(C))}} = \Omega_{CRE_{(ref(A))}} \cup \Omega_{CRE_{(ref(B))}}$$

Remarque : dans le cas où on fusionne des entités n'ayant pas la même mère, il est nécessaire de fusionner les mères pour rester dans le contexte de l'arbre n-aire, sinon on dispose d'une entité ayant deux mères.

L'opération de fusion est liée à des entités appartenant au même niveau, deux cas de figures se présentent.

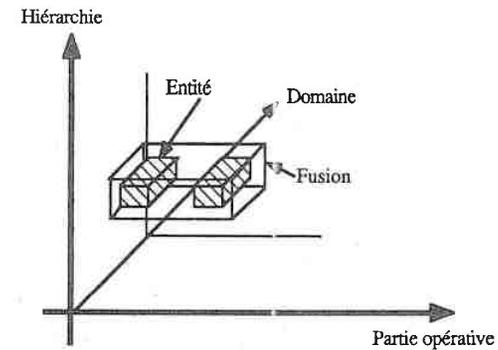
Premier cas : les entités à fusionner appartiennent à un même axe parallèle à l'axe domaine :



C'est dans ce cas que l'opération de fusion est la plus couramment employée.

Second cas : les entités à fusionner appartiennent au même domaine (et bien sûr au même niveau). Il est alors nécessaire de restreindre le champ d'application de l'opération dans la mesure où elle peut déboucher sur la fusion de toutes les entités d'un même niveau et donc à l'obtention d'un modèle à une seule entité. Le cas privilégié d'emploi est lié au remplacement de deux machines par une seule machine plus complexe et où la machine

finale devient un tout indivisible vis-à-vis du contrôle et de la commande (cas d'une 0_entité).



2.2.2. Mise en oeuvre de la fusion

La fusion constitue une opération importante permettant de supporter le processus de coopération entre entités, mais son utilisation nécessite certaines précautions (cf second cas) pour ne pas aboutir à des modèles extrêmes (modèle mono-entité par exemple). Il est donc important d'utiliser cette opération dans les deux cas particuliers présentés : entités sur un même axe domaine et au niveau des 0_entités.

Si un autre cas se présente nécessitant la coopération entre fonctions appartenant à des entités n'entrant pas dans les cas précédents, il est nécessaire de prévoir d'autres mécanismes d'échange de l'information. D'un point de vue fonctionnel on peut résoudre ce problème en remontant les informations à un noeud commun dans l'arbre n-aire.

Remarque : pour permettre une distinction entre des sous-ensembles de fonctions d'une même entité mais appartenant à des domaines distincts, on introduit le terme de groupe fonctionnel. Un **groupe fonctionnel** représente l'ensemble des fonctions coopérantes d'une même entité et appartenant à un même domaine.

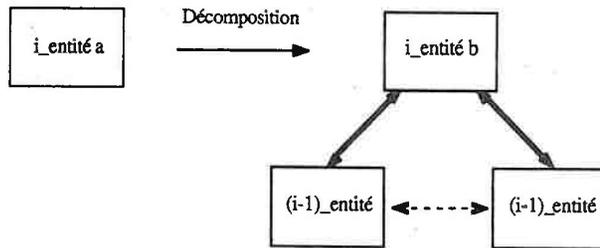
2.2.3. Partitionnement

On définit l'opération duale de partitionnement d'une entité, consistant à répartir une même entité en plusieurs entités de même niveau dans la mesure où on peut identifier des groupes fonctionnels indépendants. On pose les mêmes restrictions que pour la fusion c'est à dire que seul le partitionnement sur un axe parallèle à l'axe domaine ou pour des 0_entités est autorisé. Pour les autres cas on ne partitionne pas l'entité.

2.3. Décomposition - Composition

Décomposition
Opération visant à remplacer une entité en un ensemble comprenant une entité mère de même niveau et un ensemble d'entités filles.

Elle se représente de la façon suivante :

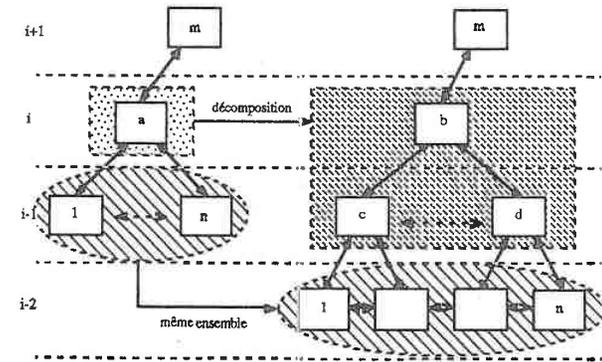


L'opération de décomposition est de type descendante.

Vis à vis des services rendus au niveau (i+1) il n'y a pas de changement, l'opération de décomposition est donc transparente vis à vis du niveau supérieur. Du point de vue des espaces d'états on peut donner les propriétés suivantes :

- vis à vis des compte-rendus émis vers (i+1) : $\Omega_{CRE(ref.a)} = \Omega_{CRE(ref.b)}$
- vis à vis des requêtes reçues de (i+1) : $\Omega_{ReqR(ref.a)} = \Omega_{ReqR(ref.b)}$

- pour le cas des relations avec le niveau inférieur, si avant l'opération de décomposition les filles de l'entité 'a' de niveau i étaient déjà définies alors d'une part il y a création d'un niveau intermédiaire et donc les ex-entités filles de niveau (i-1) deviennent des entités de niveau (i-2). Pour chaque entité de niveau (i-1) ainsi créée, on définit un sous-ensemble des entités filles coordonné par cette entité de niveau (i-1). Ce que présente le schéma suivant :



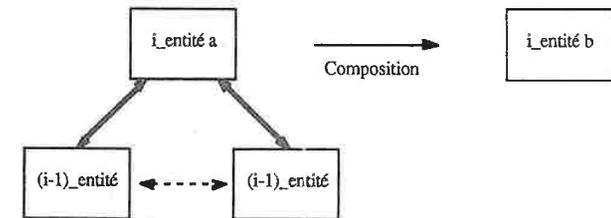
Les espaces requêtes reçues et compte-rendus émis restent inchangés et pour chaque entité de niveau (i-1) créée par décomposition, on peut dire que son espace de vecteurs requêtes émises est la réunion des espaces requêtes reçues d'un sous-ensemble des entités de niveau (i-2) et de même pour l'espace des vecteurs requêtes reçus. Soit :

$$\Omega_{ReqE(ref(c))} = \bigcup_k \Omega_{ReqR(ref.fille(k))}$$

$$\Omega_{CRR(ref(c))} = \bigcup_k \Omega_{CRE(ref.fille(k))}$$

(k : union sur le sous-ensemble des filles de l'entité c)

Dualement on définit une opération de composition qui à partir d'un ensemble d'entités de type une mère, n filles construit une unique entité de niveau i. Ce que l'on représente sur le schéma suivant :



L'opération de composition est de type ascendante.

Vis à vis du niveau (i+1) on dispose des mêmes propriétés que pour la décomposition.

Vis à vis des niveaux inférieurs à i, on constate qu'il y a suppression d'un niveau d'entité. L'ensemble des entités filles de niveau (i-2) des entités filles de

l'entité a deviennent les entités filles de l'entité b ainsi créée. Ce qui se traduit au niveau des espaces d'état par :

$$\Omega_{ReqE_{(ref(b))}} = \bigcup^k \Omega_{ReqR_{(ref.fille(k))}}$$

$$\Omega_{CRR_{(ref(b))}} = \bigcup^k \Omega_{CRE_{(ref.fille(k))}}$$

k : sur l'ensemble des filles des ex-entités de niveau (i-1)

2.4. Généralisation - Spécialisation

Définition de la généralisation

C'est une opération consistant, à partir d'un ensemble d'entités de même niveau rendant des services spécifiques, à définir une entité générale rendant l'ensemble de ces services.

L'intérêt de cette opération réside dans le fait que l'on peut à partir d'exemples particuliers construire un cas plus général ce qui facilite souvent la compréhension d'un problème complexe.

Un exemple issu du transport ferroviaire permet à partir des entités :

- gare ligne
- gare terminus
- gare atelier

de constituer une entité de type 'gare' rendant des services généraux couvrant chaque type de gare.

Dualement on définit l'**opération de spécialisation** qui consiste à partir d'une entité spécifiée de façon générale, à définir des entités spécialisées rendant tout ou partie des services et répondant à un besoin particulier.

Si par exemple on sait définir l'ensemble des services rendus par une entité de type 'gare ligne', le travail de spécification de l'entité ne sera effectué qu'une seule fois pour toutes les gares ligne d'une ligne, ce qui procure un gain de temps appréciable.

On peut dans ces conditions définir aisément des bibliothèques d'entités réutilisables pour d'autres systèmes.

A ce niveau il est intéressant de faire un parallèle entre le concept d'entité du modèle proposé et un modèle à objets [CMN86]. Même si un modèle à objets ne permet pas de structurer une application mais seulement de représenter des relations entre objets, il peut être profitable d'utiliser des langages à objets en leur adjoignant des contraintes sur la hiérarchie et sur les échanges d'informations.

3. Les critères de construction du modèle opérationnel

Défini comme un principe auquel on se réfère et qui permet de juger, de classer,...le critère est ce dont dispose l'ingénieur pour justifier la création d'une entité et ses relations avec les autres. S'il existe des critères généraux comme la complexité, le besoin de critères spécifiques aux SAP est le seul moyen dont on dispose pour intégrer leur contraintes.

Il n'existe pas de critère absolu permettant de définir le modèle unique pour un cahier des charges donné. L'emploi d'un critère plutôt qu'un autre, associé à la perception du problème par le ou les concepteurs va orienter la solution dans un sens ou dans l'autre. Pour un même SAP on peut donc envisager plusieurs solutions, chacune répondant bien sûr aux besoins de l'exploitant, mais mettant en avant une caractéristique plutôt qu'une autre.

Dans la suite, les critères suivants sont développés :

- de simplification
- de topologie
- de coordination
- de mode de marche

3.1. La simplification d'un problème

Critère subjectif par excellence, il est caractéristique de la démarche 'diviser pour régner'. Appliqué aux entités, ce critère va avoir tendance à décomposer (grâce à l'**opération de décomposition**) en entités de plus en plus simples à étudier. Le travers dans lequel il ne faut pas tomber est celui caractérisant les approches strictement descendantes (SADT) c'est à dire l'obtention d'entités simples mais n'ayant plus trop de rapport avec la partie opérative du process et donc sortir du cadre du modèle proposé. (exemple)

Le critère de complexité peut donc être utilisé mais en gardant à l'esprit qu'il existe une relation bi-univoque entre un agrégat de SYEL et une entité de niveau i.

On peut aussi utiliser ce critère pour étudier une entité particulière et ensuite re-composer (**opération de composition**).

3.2. La topologie

On le considère comme un critère permettant de définir des entités associées à un site géographique.

Auparavant il est intéressant de rappeler quelques types de topologie.

3.2.1. Les processus de type répartis

C'est en particulier le cas des processus de type transport : SNCF, Métro, dispatching d'énergie.

Leur répartition est une contrainte de base nécessaire. Leur géographie induit le besoin d'entités locales ayant une vue sur un sous-ensemble du process. Une centralisation totale de l'information étant peu envisageable.

Dans le cas SNCF ou métro, une gare dispose d'une zone de couverture regroupant une portion du réseau global. Les trains entrant et sortant de cette

zone sont signalés à l'extérieur de la zone, pour le reste, charge à la gare d'assurer le trafic interne.

A un niveau plus global, on s'intéresse à la région (SNCF) ou la ligne (métro).

D'un point de vue modèle, ce besoin en éléments déportés va se traduire par un arbre ayant de multiples branches. Chaque branche représentant par exemple une gare.

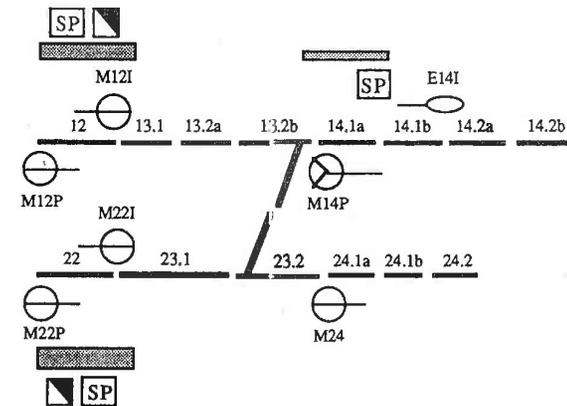
On dit que l'entité gare coordonne un agrégat de SYEL isolé géographiquement. Cette entité gare complexe dans son intégralité va pouvoir d'une part se subdiviser en **groupes fonctionnels** trafic, station et énergie traction, puis chaque groupe va pouvoir être décomposé. Par exemple pour le groupe fonctionnel trafic on va **décomposer** en entités aiguilles, circuits de voie, signaux caractérisant la portion de ligne vue par la gare.

Pour illustrer ce critère, on présente ici le cas d'une gare de la ligne C du métro de Lyon. Comme il a déjà été vu, il existe trois domaines, une gare couvre donc ces trois domaines. Dans le cas des domaines trafic et station une coopération est nécessaire pour pouvoir prévenir les voyageurs de l'arrivée d'un train, et d'autre part pour des problèmes de sécurité le domaine énergie est lui même lié au domaine trafic et stations (cas de la chute d'un voyageur sur les voies).

Au niveau d'une gare, ces trois domaines sont donc réunis dans la même entité. Dans ce qui suit on s'intéresse au groupe fonctionnel trafic. Pour fixer les idées on prend le cas particulier d'une gare de la ligne C.

La représentation synoptique de l'agrégat trafic est la suivante :

Station CROIX-ROUSSE ligne C



Définition des symboles employés :

M22P	signal à 2 feux : rouge et vert, ou jaune et vert et son numéro d'identité relatif à la station
M14P	signal à 3 feux : rouge, jaune et vert et son numéro d'identité relatif à la station
E14I	signal d'espacement et son numéro d'identité relatif à la station; il est vu par le conducteur lorsque le train circule dans le sens de la flèche
12	circuit de voie et son numéro relatif à une station
	quais - voyageurs
	quais - manoeuvres
	coffret commun
	indicateur de Service Provisoire

On identifie donc aisément les différentes entités associées au domaine trafic pour une gare :

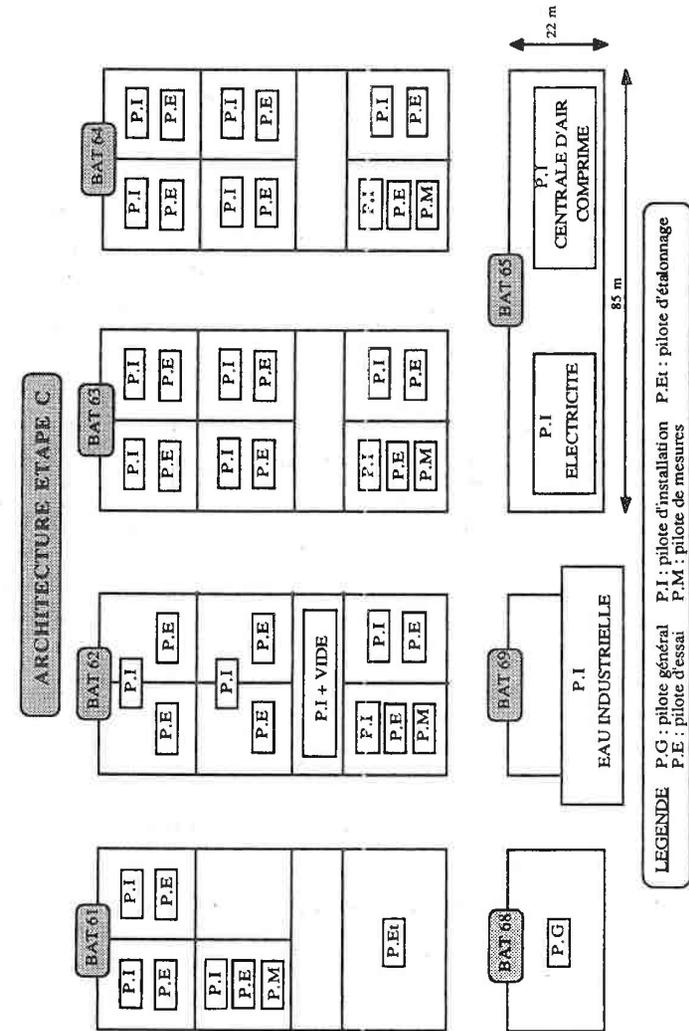
- des 0 entités aiguilles
- des 0 entités signaux
- des SYEL circuits de voie

3.2.2. Les processus localisés

A la différence des précédents, la topologie n'est pas un critère dominant. Ce qui ne signifie pas que les contraintes topologiques sont inexistantes, simplement qu'elles sont plutôt la résultante d'autres critères exposés plus loin.

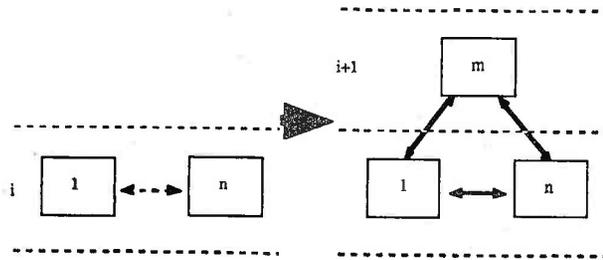
En effet dans un système on peut distinguer des groupes de machines (flots, ateliers...) comme des entités 'géographiques'. Ils sont néanmoins plus liés à des besoins en coordination qu'à des affinités matérielles.

On reprend ici le cas des installations du CEAT ou la répartition géographique des matériels se fait suivant sept bâtiments sur une surface ne dépassant pas 100m sur 200m (cf synoptique page suivante). Ce type de process ne justifie pas, de par sa topologie, une décentralisation des fonctions. Les choix sur la répartition des pilotes sont liés à l'autonomie des différents bâtiments pour les essais.



3.3. Le besoin de coordination

Critère issu du besoin fonctionnel présenté dans le concept d'arbre n-aire et permettant d'exprimer le couplage entre entités homologues. Il en résulte la création d'une entité de niveau hiérarchiquement supérieur.



La coordination permet d'exprimer qu'une information provenant d'une entité, à un niveau donné, n'est représentative que dans un contexte regroupant des informations provenant d'entités de même niveau. Dans le cas de l'aiguille traité au chapitre II §7, l'information produite par un fin de course n'a pas d'intérêt en elle-même, il est nécessaire de l'associer à des informations de collage de l'aiguille. Pour s'en convaincre il suffit de regarder le détail des traitements de l'aiguille en annexe B, et la signification relative des informations des différents capteurs.

D'un point de vue élémentaire, une 0_entité réalise la coordination d'un agrégat de SYEL.

Vis à vis des espaces d'états on énonce les propriétés suivantes :

$$\Omega_{ReqE(m)} = \bigcup_{j=1,n} \Omega_{ReqR(j)}$$

$$\Omega_{CRR(m)} = \bigcup_{j=1,n} \Omega_{CRE(j)}$$

L'expression des relations de coordination de l'entité ainsi créée se fait à l'aide du formalisme proposé. A titre d'exemple et pour des raisons de simplicité on traite les deux cas simples suivants :

- Une fonction action coordonnant deux fonctions actions (schéma 1)
- Une fonction réaction coordonnant deux fonctions réactions (schéma 2)

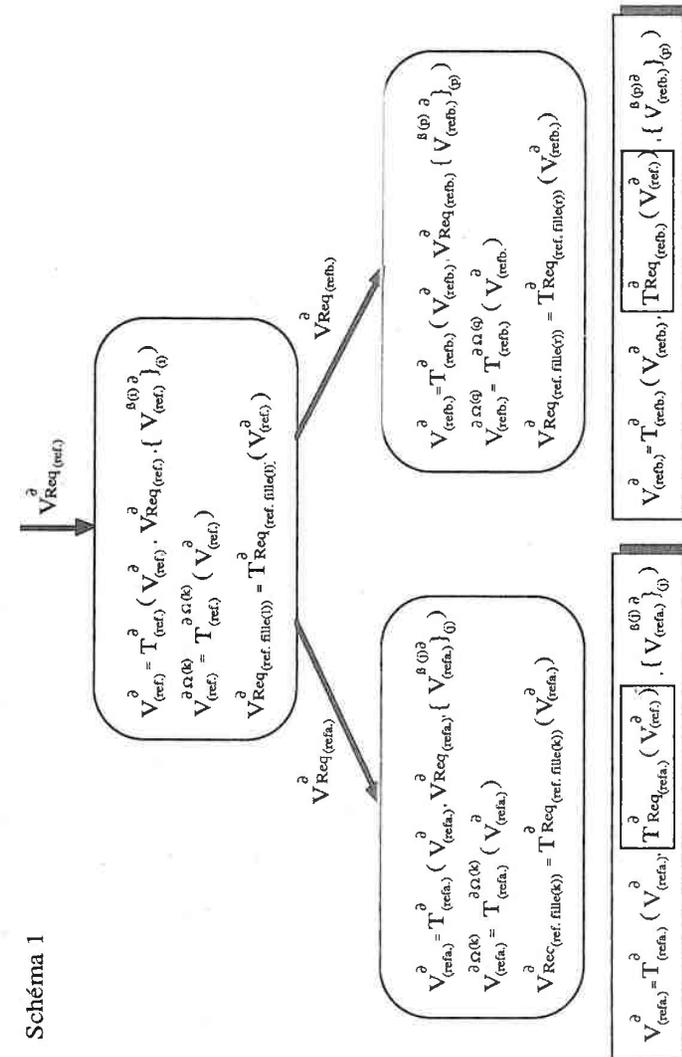
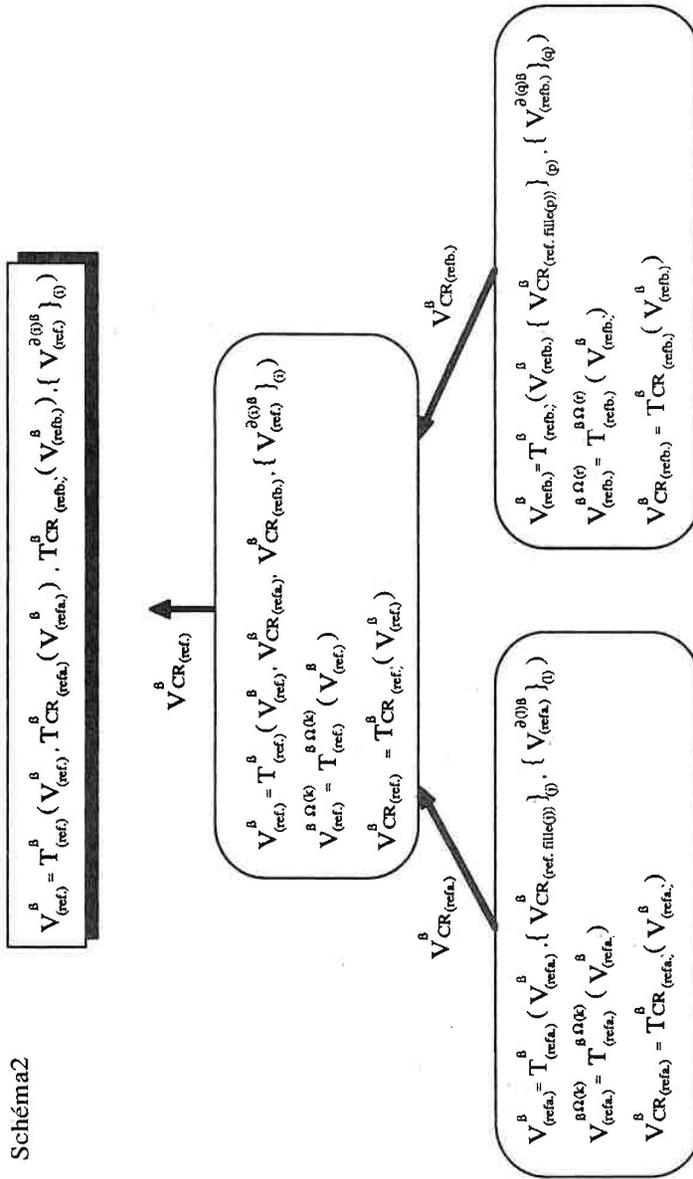


Schéma2



Pour présenter l'emploi de ce critère, on s'intéresse au cas d'une gare en tant qu'entité, telle qu'elle a été définie à l'aide du critère topologique et l'identification des domaines.

On ne traite ici que le cas du domaine trafic (Cf §3.2.1).

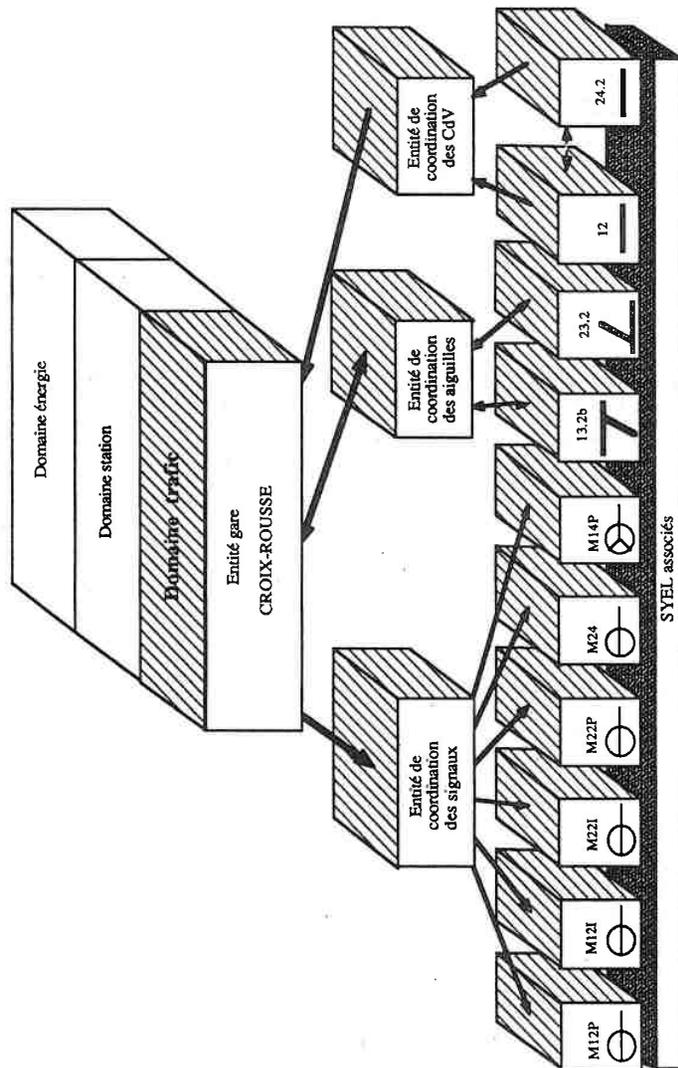
Il existe deux possibilités intéressantes de modèle d'une gare ligne. La première consiste à rattacher l'ensemble des 0_entités aiguilles, signaux et circuits de voie (pour des raisons d'homogénéité des niveaux on assimile un SYEL CdV à une 0_entité, c'est le cas particulier d'une information isolée ayant un intérêt intrinsèque) au groupe fonctionnel trafic de l'entité gare. Cette possibilité est en première analyse la plus naturelle dans la mesure où on est amené à coordonner l'ensemble de ces 0_entités.

Néanmoins si on s'intéresse aux services rendus par ce groupe fonctionnel, on identifie la gestion des itinéraires. Pour assurer un itinéraire, il va d'une part être nécessaire de coordonner la position des différentes aiguilles et d'autre part coordonner la signalisation. Ce qui nous amène à introduire un niveau intermédiaire d'entités constitué par :

- une entité de coordination des aiguilles
- une entité de coordination des signaux

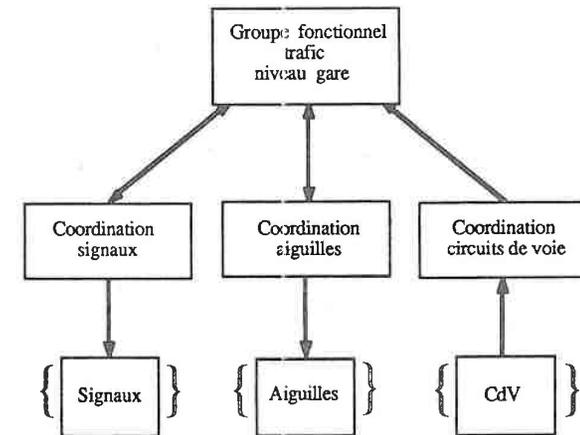
la coordination des circuits de voie n'est pas nécessaire, mais pour éviter l'absence d'un niveau, on crée une entité intermédiaire de 'coordination' des entités.

On propose donc le modèle suivant du groupe fonctionnel trafic d'une gare ligne :



La même procédure peut s'appliquer aux autres groupes fonctionnels de l'entité gare.

La généralisation du cas particulier du groupe fonctionnel trafic de l'entité gare ligne CROIX-ROUSSE permet de donner le modèle du groupe fonctionnel trafic d'une gare ligne quelconque :



Remarque : cette représentation se généralise au cas des gares terminus et ateliers.

3.4. Critère de mode de marche

Les critères précédemment définis réalisent une approche statique d'un SAP, même s'ils expriment, comme la topologie, des contraintes spécifiques.

Les modes de marche représentent une approche dynamique du même problème.

Dans un premier temps on présente les modes de marche dans le cadre des SAP, puis on développe leur utilisation en tant que critère de conception du modèle.

3.4.1. Présentation

Les modes de marches, modes d'exploitations, modes dégradés,... caractérisent les services rendus par un système à un instant donné. L'approche GEMMA [ADE...] constitue un guide d'étude précieux pour le concepteur. L'énumération des modes de marche possibles pour un automatisme et leur enchaînement, favorise une démarche organisée.

Mais le GEMMA définit lui même ses limites : il ne traite qu'un automatisme. Or, dans le cas d'un système complexe comprenant plusieurs automatismes et plusieurs niveaux de coordination, l'approche GEMMA perd beaucoup de son intérêt. Des approches plus générales [LHO85] expriment clairement ce manque.

Par rapport au modèle proposé, à partir d'un ensemble d'entités de niveau i , on introduit une entité de niveau $(i+1)$. Si le GEMMA est capable de représenter les modes de marche pour chaque entité vue comme une partie commande indépendante, il n'offre pas de mécanisme pour exprimer la coordination entre les deux niveaux.

L'emploi des modes de marche tels qu'ils sont présentés dans le GEMMA, s'intègre donc assez mal dans le modèle multiniveaux proposé. L'utilisation des modes de marche en tant que critère nécessite une présentation plus générale de la notion.

3.4.2. Extension de la notion de mode de marche

Le fonctionnement d'un SAP est le souci principal de l'exploitant. Ce fonctionnement est soumis à un ensemble de contraintes comme :

- la réalisation de l'objectif de production
- la qualité du produit ou du service
- la quantité produite
- les délais de fabrication
- la disponibilité du système
- la sécurité
- ...

L'exploitant, de par la connaissance qu'il a de son système sait définir les modes de marche réellement exploitables et dire à quoi ils correspondent, d'une façon générale, vis à vis des services rendus par son système.

C'est cet ensemble de contraintes et de connaissance qu'il est nécessaire de prendre en compte à l'aide d'un outil adapté.

Pour chaque entité on définit un état mode de marche caractéristique du mode de marche de l'entité à un instant t et des modes de marches de ses filles.

On fait l'hypothèse qu'à un instant donné une entité se trouve dans un mode de marche unique.

Les modes de marche d'une entité sont ensuite traités suivant trois points :

- la définition des modes de marche d'une entité
- la définition des transitions entre modes de marche
- la gestion des modes de marche

3.4.2.1. Définition des modes de marche

On s'intéresse ici à la définition des modes de marche d'une entité en fonction des modes de marche de ses filles dans le contexte de l'arbre n -aire précédemment défini.

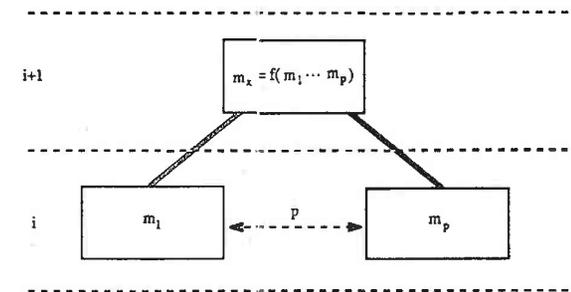
On se propose d'offrir un guide permettant de construire l'ensemble des modes de marche d'une entité quelconque du modèle.

Au chapitre §3.4.2. nous avons défini le mode de marche d'une entité comme un état. Cet état évoluant dans un ensemble caractéristique de l'entité.

Le mode de marche d'une entité à un instant donné, caractérise les services rendus. Suivant le mode de marche, le service sera optimal, dégradé voir inexistant.

L'objet de l'opération proposée est de définir l'espace $X_{(ref.)}$ des modes de marche exploitables (c'est à dire reconnus par l'exploitant) en fonction des espaces $X_{(ref.fille(i))}$ des entités filles.

Soit $m_{(ref.)}$ le mode de marche de l'entité référencée par (ref.) dans le modèle, le schéma suivant explicite l'opération présentée :



soit pour l'ensemble des p -uplets $(m^1 \dots m^p)$ on définit m^x le mode de marche résultant de l'entité mère.

Remarque : il est inutile de considérer l'ensemble des combinaisons des modes de marche des entités filles, certaines d'entre elles pouvant n'avoir aucun sens vis à vis de l'exploitation.

Vis à vis des différents espaces définis pour une entité, on admet [VMM88] que, pour un mode de marche donné de l'entité, seul un sous-espace de chacun des espaces définis est accessible.

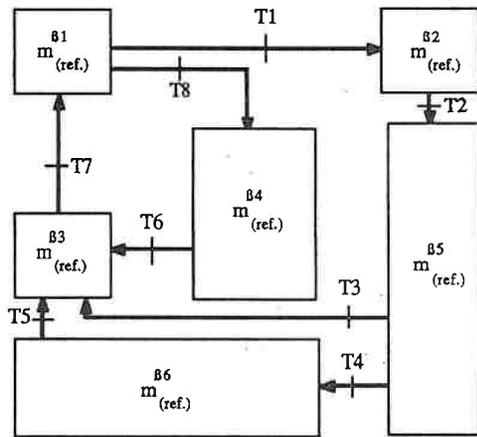
Ce qui revient à dire que, par exemple dans le cas de l'espace des requêtes reçues, dans un mode de marche donné seul quelques requêtes pourront être effectivement traitées par l'entité.

Le mode de marche $m_{(ref.)}^i$ d'une entité est donc caractérisé par le 5-uplet :

i i i i i
 $(\Omega_{Et(ref.)}, \Omega_{ReqR(ref.)}, \Omega_{CRR(ref.)}, \Omega_{ReqE(ref.)}, \Omega_{CRE(ref.)})$
 et ou :
 i
 $\Omega_{Et(ref.)} \subset \Omega_{Et(ref.)}$: sous-espace des vecteurs d'états possibles pour
 l'entité dans le mode de marche $m_{(ref.)}$
 etc...

3.4.2.2. Définition des transitions

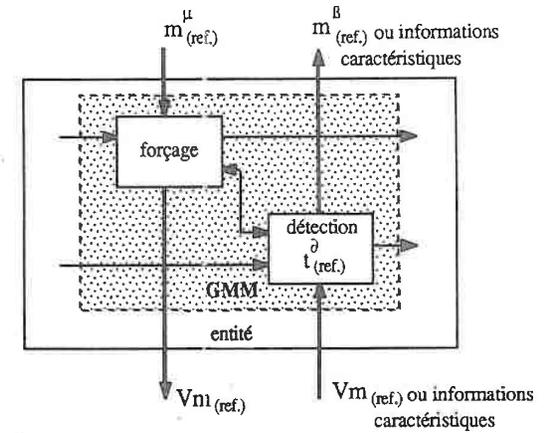
Elle représente l'aspect dynamique des modes de marche, en explicitant pour une entité donnée la transition d'un mode de marche vers un autre.
 Si on représente modes de marche et transition à l'aide d'un formalisme graphique dérivé de celui du GEMMA on a le schéma suivant :



ou les T_i représentent les conditions des transitions entre les différents modes de marche.
 L'espace $X_{(ref.)}$ étant défini, il reste à construire l'espace des transitions associées.

3.4.2.3. Gestion des modes de marche

On explicite ici la fonction de gestion des modes de marche, comme un couple (détection, forçage) soit :



Remarque : une transition s'effectue soit sur réception des modes de marche des entités filles, soit sur détection au niveau de l'entité à l'aide d'informations caractéristique. Dans ces deux cas le changement de mode de marche de l'entité mère peut induire le changement des modes de marche des entités filles par forçage.

Remarque : des 'informations caractéristiques peuvent aussi provenir de la coopérations avec d'autres fonctions de l'entité.

D'un point de vue démarche, l'approche proposée est très systématique. Un guide est proposé dans [VMM88] pour l'étude des modes de marche dans le contexte du modèle proposé. Un extension au modèle SADT est aussi proposée permettant une approche dynamique de l'analyse SADT.

3.4.3. Le critère de mode de marche

Ce critère permet d'exprimer la coordination des entités de façon dynamique.

Si quelque soit le mode de marche d'une entité, il influe directement sur les modes de marche d'un ensemble d'entités de niveau inférieur alors ils est nécessaire de coordonner directement ces entités par celle de plus haut niveau.

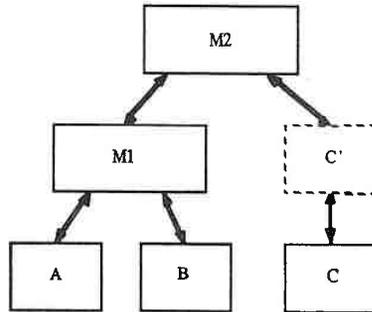
Par contre si dans l'ensemble des entités que l'on souhaite coordonner, il existe des sous-ensembles autonomes, c'est à dire pouvant être coordonnés indépendamment des autres suivant certains modes de marche, on introduit un niveau intermédiaire d'entités permettant d'exprimer cette indépendance sélective des modes de marche.

L'exemple suivant permet d'éclaircir ces considérations.

Soit trois entités homologues A, B, C représentant des machines, on envisage les deux situations suivantes :

Situation 1

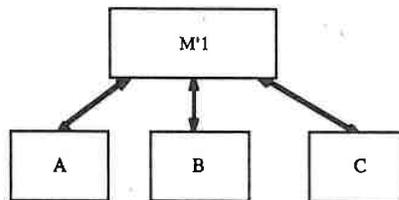
A et B peuvent fonctionner indépendamment de C si cette dernière est hors service ou suivant des besoins particuliers de production. Par contre dans certains cas il est nécessaire de coordonner ces trois machines. Le critère de mode de marche va alors favoriser le modèle suivant :



L'entité M1 permettant de supporter la coordination de A et B dans les cas où C n'est pas requise. M2 permettant de supporter la coordination globale de A, B et C.

Situation 2

Quel que soit les modes de marche de A, B et C il est nécessaire de coordonner les trois entités. On favorise alors le modèle suivant :



Remarque : les deux modèles peuvent convenir aux deux situations, néanmoins la raison d'être de chacun est lié à la représentation d'une contrainte qui existe réellement dans le système étudié et non pas à une vue dépendant d'un concepteur donné.

Le cas de la gare est aussi caractéristique, l'indépendance relative entre signaux et aiguilles apparaît dans le cas de la conduite à vue en l'absence de signalisation.

Conclusion

Proposer une chronologie pour l'utilisation des différents critères, outils et opérations proposés n'est pas l'objectif visé. Chaque concepteur dispose d'une expérience qu'il va utiliser.

L'utilisation des critères va nécessiter la mise en oeuvre des opérations pour transformer le modèle, et que les outils vont permettre la simplification du travail. Il est en effet plus simple d'utiliser une opération sur un sous-ensemble des informations ou un domaine (voir le cas de la gare) que de vouloir tout traiter en bloc.

On dispose d'une analogie classique entre le programme monolithique qui fait tout et le programme organisé en sous-programmes, qui fait la même chose.

Le résultat de cette démarche est la mise en forme des besoins de l'utilisateur, et la transformation de ce qu'on peut appeler les fonctions client en fonctions ingénieur. C'est cette étape qui est source de nombreux malentendus entre les différents intervenants. Le client ne retrouvant plus ce qu'il connaît de son système dans le modèle proposé par l'ingénieur.

Dans le chapitre suivant on se propose d'énumérer quelques fonctions et types d'informations 'client' que l'on explicitera à l'aide des notions introduites dans les chapitres précédents.

CHAPITRE IV

Fonctions de base d'un système Automatisé de Production

Application au poste de travail ligne C

Introduction	105
1. Les fonctionnalités automatisées	107
1.1. Caractérisation des flux	107
1.1.1. Objectif	107
1.1.2. Consigne	107
1.1.3. Commande	108
1.1.4. Bilan	108
1.1.5. Evénement	108
1.1.6. Etat	108
1.1.7. Représentation externe de l'entité	109
1.2. Caractérisation des fonctions	109
1.2.1. Fonctions d'exploitation	110
1.2.2. Fonctions hors exploitation	112
1.2.3. Représentation interne	113
2. La supervision	114
2.1. Spécification de la supervision	115
2.1.1. Les flux	115
2.1.2. Les fonctions	116
2.2. Coopération avec les fonctions de la partie automatisée	117
2.3. Modèle général	120
3. Application au poste de travail ligne C	121
3.1. Modèle général dans les process: transport	122
3.2. Cas de la ligne C	123
3.2.1. Répartition des fonctions de la partie automatisée	126
3.2.2. La supervision	127
Conclusion	136

Introduction

L'utilisation du modèle sur les exemples simples des chapitres précédents présente les principes de base de la définition et de la conception d'un SAP

La terminologie employée reste néanmoins très générale et, même si l'utilisation de critères spécifiques permet de particulariser le contexte d'utilisation, il est important de mettre en relation le langage des automaticiens avec celui proposé.

L'objet de ce chapitre est de particulariser les notions introduites, à l'aide d'une terminologie couramment utilisée par les utilisateurs.

L'expression des besoins faite au chapitre I permet de décomposer le problème, en identifiant quatre groupes distincts de fonctionnalités dans un SAP.

Sous-ensemble des fonctionnalités automatisées

Elles permettent la mise en oeuvre de tout ou partie de la partie opérative sans intervention humaine sous certaines conditions liées aux modes de marches.

Exemple : Un atelier de production possédant sa propre partie commande est capable de produire de façon autonome dans la mesure où il n'y a pas occurrence de panne.

Dans la suite du document on emploie le terme de 'Partie Automatisée (PA)' d'un SAP, pour représenter ces fonctionnalités.

Sous-ensemble des fonctionnalités non automatisées

Bien que pouvant être automatisées, elles restent à la charge d'opérateurs humains. Ce choix de non-automatisation peut être du à des impératifs financiers, à des choix de production ne permettant pas de rentabiliser la production...

Sous-ensemble des fonctionnalités non automatisables

On regroupe dans ce sous-ensemble les fonctionnalités qui, pour des raisons technologiques, administratives... ne peuvent être automatisées. On trouve par exemple des opérations de maintenance dans des zones difficilement accessibles.

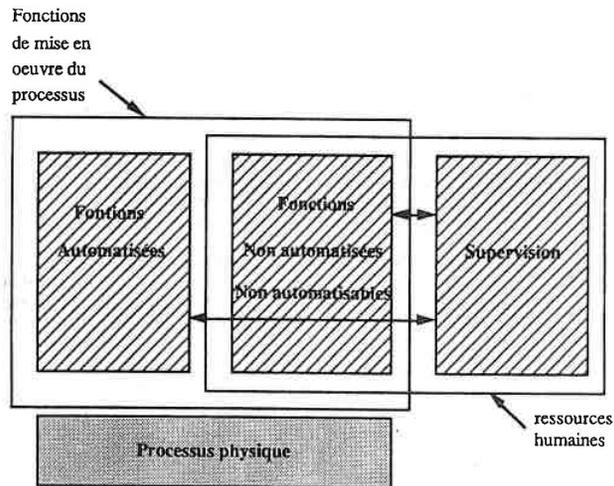
La supervision

Associés à ces trois sous-ensembles liés au matériel on considère ici les moyens humains permettant de :

- Surveiller et agir sur le sous-ensemble des fonctionnalités automatisées
- Mettre en oeuvre les deux autres sous-ensembles

La supervision regroupe les moyens humains (personnel de maintenance...) permettant de mettre en oeuvre les fonctionnalités précédemment définies.

Le schéma suivant résume ces différentes notions.



La suite de l'analyse consiste à présenter une entité type. Dans un premier temps on s'intéresse au sous-ensemble des fonctionnalités automatisées dont on identifie les flux d'informations et fonctions essentiels, puis dans une seconde partie on développe l'aspect supervision qui a fait l'objet d'une étude spécifique dans le cadre du projet MAGGALY ligne C.

1. Les fonctionnalités automatisées

Dans un premier temps on présente une terminologie des flux, puis on détaille ensuite quelques fonctions types de la partie automatisée d'un SAP.

1.1. Caractérisation des flux

Exprimés en termes de requêtes et de compte-rendus, les informations manipulées dans un SAP se répartissent suivant une classification stricte. On se propose de clarifier un ensemble de termes rencontrés dans la littérature : actes de congrès, ouvrages dédiés aux SAP, documentations constructeurs... On considère la liste suivante :

- objectif
- consigne
- commande
- bilan
- événement
- état

1.1.1. Objectif

Il décrit la valeur que l'on souhaite ajouter, à l'état initial d'un service ou d'un produit, en termes de :

- type
- qualité
- quantité
- délais
- ...

Exemple : Dans le cas d'un process de type transport, l'objectif global est le transport des voyageurs.

L'objectif est assimilable à une requête.

1.1.2. Consigne

C'est un état de référence fixant une caractéristique de réalisation de l'objectif.

Exemple : les heures de départ et d'arrivée des rames constituent des consignes.

Comme pour l'objectif, la consigne est assimilable à une requête.

1.1.3. Commande

C'est un ordre émis en vue d'obtenir la valeur ajoutée définie par l'objectif. D'un point de vue élémentaire, la commande d'actionneur est une notion facilement appréhendable (se reporter au §3.2 chapitre II sur les SYEL). La notion de commande apparaît néanmoins à tous les niveaux

La commande est typiquement une requête.

1.1.4. Bilan

Agrégation d'états ou d'événements permettant entre autres de connaître l'état de réalisation de l'objectif.

Un bilan peut s'échelonner sur une période temporelle plus ou moins importante suivant le type de process et le niveau de décision (niveau hiérarchique dans le modèle opérationnel) auquel on se trouve.

Le bilan s'assimile à un compte-rendu.

1.1.5. Événement

Résultat de la corrélation d'états permettant de connaître l'évolution courante. L'événement présente un aspect dynamique.

Pour un process donné il n'est pas rare de différencier plusieurs catégories d'événements ayant chacune leur signification propre.

Un événement peut être soit normal, on reste alors dans le contexte courant, soit anormal et on signale alors une anomalie qui peut être par exemple un dépassement de seuil (défaut), une panne de machine...

Dans le cas de MAGGALY on distingue les trois catégories suivantes :

Classe 1 : événements signalés aux régulateurs pour information et ne conduisant pas à une résolution d'incident. Ce sont des événements 'non acquittables', le système informatique n'ayant pas besoin de s'assurer de la prise de connaissance de ceux-ci par le régulateur de la ligne concernée.

Classe 2 : événements devant être acquittés par le régulateur du poste de travail affecté à la ligne C. Ils ne conduisent pas à une résolution d'incident. Ils sont signalés et doivent être acquittés pour des raisons réglementaires.

Classe 3 : événements devant être acquittés et conduisant à une résolution d'incident.

L'événement est un compte-rendu.

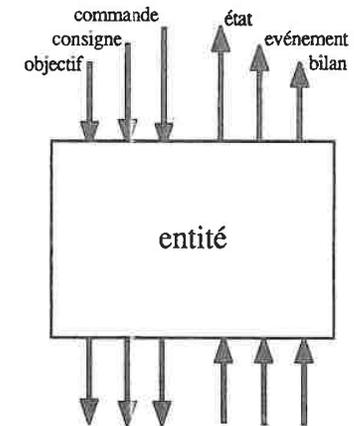
1.1.6. Etat

Résultat d'une mesure (capteur au niveau processus, §2.2 chapitre II) ou d'un calcul mettant en jeu d'autres états.

C'est un compte rendu que l'on considère comme statique par rapport à l'événement dans la mesure où il donne une vue à l'instant t indépendamment de l'instant précédent. Il ne permet donc pas de connaître l'évolution du process.

1.1.7. Représentation externe de l'entité

On présente ici une spécification externe de l'entité à l'aide des termes précédents.



Ces différents flux apparaissent dans tous les domaines (au sens du §1.2 chapitre III) identifiés d'un SAP et à tous les niveaux du modèle opérationnel proposé. Vis à vis du modèle opérationnel, l'utilisation des différents termes est fonction du niveau auquel on se situe. Pour les niveaux bas (0_entité) assimilables à des automatismes, les termes de commande, consigne, événement et état sont fréquemment rencontrés, par contre dans les niveaux hauts (gestion de production en particulier) on parle plutôt d'objectif et de bilan. L'avantage de la terminologie en requête et compte-rendu est d'être utilisable à tous les niveaux du modèle opérationnel.

Il existe bien évidemment d'autres termes, mais leur étude exhaustive ne fait pas l'objet de ce chapitre.

On s'intéresse maintenant aux fonctions manipulant ces flux.

1.2. Caractérisation des fonctions

Le besoin essentiel dans un SAP est lié au contrôle commande en temps réel du process. Cette notion de temps réel dépend d'une part du process étudié et d'autre part du niveau auquel on se situe dans la hiérarchie. Les fonctions associées (Cf §2.2.1) sont qualifiées de fonctions d'exploitation du système.

Complémentaires de ces dernières, il existe des fonctions dites hors temps réel permettant en particulier la configuration et la maintenance.

On se propose de décrire les fonctions les plus caractéristiques en termes d'action et de réaction.

1.2.1. Fonctions d'exploitation

On présente ici les termes les plus courants :

- commander
- contrôler
- gérer les modes de marche
- conduire

1.2.1.1. Commander

De nature exécutive, cette fonction peut être apparentée à l'action 'lancer une tâche'. C'est une fonction de type action par excellence.

Pour les niveaux bas du modèle opérationnel, elle recouvre des fonctions comme :

- générer des consignes
- séquencer

Dans les niveaux haut du modèle son rôle est surtout lié à la définition des objectifs pour le niveau inférieur en fonction de ceux du niveau supérieur.

Exemple : commander les itinéraires.

1.2.1.2. Contrôler

Fonction de type réaction, elle permet entre autres la détection et l'identification des événements, le suivi de produits et l'élaboration de bilans.

On trouve par exemple dans les processus de type transport l'identification et le suivi des trains.

Vis à vis des fonctions coopérantes dans une entité, elle joue un rôle informatif sur le comportement des entités filles.

Vis à vis du niveau hiérarchiquement supérieur, elle joue un rôle de synthèse et de filtrage de l'information.

1.2.1.3. La gestion des modes de marche

La notion de mode de marche a été introduite au chapitre III. On sait que pour une entité il existe un ensemble de modes de marche, et qu'à un instant donné l'entité se trouve dans un mode de marche unique.

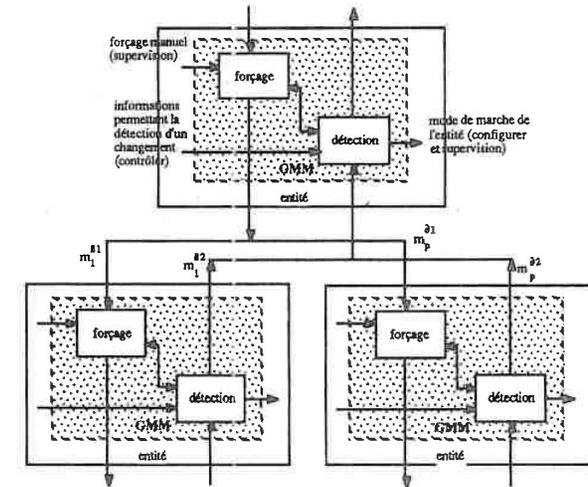
On caractérise la gestion des modes de marche comme un couple action-réaction capable de déterminer le mode de marche courant.

Pour une entité donnée le changement de mode de marche s'effectue soit sur réception des modes de marche des entités filles (voir chapitre III) pour une entité donnée, soit sur réception de compte-rendus permettant de déduire un nouveau mode de marche.

L'opérateur par l'intermédiaire des fonctions de supervision peut aussi forcer les modes de marche.

Le mode de marche d'une entité peut aussi être forcé par son entité mère, sur émission d'une requête spécifique de la fonction de gestion des modes de marche de la mère vers celle de la fille considérée.

On schématise la fonction de gestion des modes de marche (GMM) de la façon suivante :



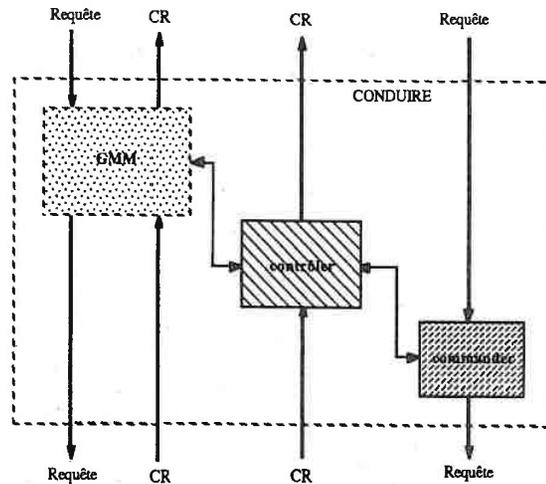
1.2.1.4. Conduire

Elle représente le résultat de la coopération de fonctions de type commander, contrôler et gérer les modes de marche.

La fonction conduire permet à partir des objectifs provenant du niveau supérieur, la définition des objectifs pour les entités filles, ainsi que les plans de travail (séquencement des fonctions ...) pour l'entité courante (programmes d'exploitation dans le domaine transport).

Conduire est une fonction complexe, regroupant plusieurs fonctions de type action et réaction. Elle représente la fonction de base de l'entité. Son rôle varie suivant le niveau hiérarchique auquel on se trouve dans le modèle : du contrôle-commande d'automatisme, à la conduite d'atelier ou d'usine. Elle permet à partir des objectifs provenant du niveau supérieur, la définition des objectifs pour les entités filles ('commander' de haut niveau) et des plans de travail (programmes d'exploitation dans le domaine ferroviaire) pour l'entité courante.

On schématise la fonction conduire de la façon suivante :



1.2.2. Fonctions hors exploitation

L'exploitation d'un SAP constitue le souci majeur de l'utilisateur. Il ne peut y parvenir qu'au prix d'un certain nombre d'opérations dites de maintenance et de configuration ou reconfiguration de son système.

Ces fonctions, au même titre que les précédentes, sont nécessaires à la bonne marche de tout système automatisé.

1.2.2.1. La maintenance

Maintenir un SAP est une activité qui touche aussi bien la partie opérative que la partie commande.

Les actions engagées sont différentes selon le type de matériel (ou de logiciel) et de process, mais néanmoins l'objectif reste le même : assurer la disponibilité du système.

On peut différencier plusieurs types de maintenance :

- la **maintenance curative**, nécessaire lors de pannes effectives
- la **maintenance préventive**, permettant de s'affranchir partiellement des risques de panne dus à l'usure
- la **maintenance corrective** consistant à modifier les paramètres de fonctionnement pour conserver la disponibilité

La mise en oeuvre des opérations de maintenance se fait à partir d'informations spécifiques permettant l'élaboration de statistiques, la comptabilisation des temps de fonctionnements...

On assimile la **maintenance** à une fonction de type réaction.

Remarque : les opérations de maintenance sont regroupées dans un ensemble de modes de marche. Une opération de maintenance ne pouvant se réaliser que dans le contexte associé à l'un de ces modes de marche.

Dans le cas de MAGGALY, il existe un système dédié aux opérations de maintenance, le SAME (Système d'Aide à la Maintenance et à l'exploitation).

1.2.2.2. La configuration

Comme maintenir, configurer est une activité qui touche aussi bien à la partie commande (paramétrage d'algorithmes...) qu'à la partie opérative du système.

Elles est associée à des modes de marche spécifiques comme 'la marche de préparation' du GEMMA.

La mise en marche du système, ou sa remise en marche après une opération de maintenance par exemple, nécessite un ensemble d'opérations de configuration.

Configurer est une fonction de type action, élaborant des informations spécifiques à son activité.

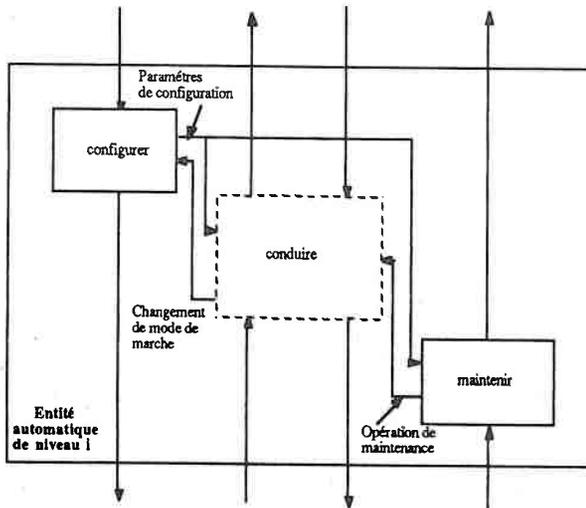
Les opérations de reconfiguration des fonctions d'une entité, après un changement de mode de marche, permettent de définir les nouveaux paramètres des différentes fonctions leur permettant de rendre les services qui leur sont demandés dans le mode de marche courant. Dans ces conditions la fonction configurer coopère avec l'ensemble des autres fonctions de l'entité.

Remarque : la reconfiguration des fonctions de l'entité est une opération qui s'effectue en exploitation, contrairement aux opérations d'initialisation du système.

1.2.3. Représentation interne

La spécification d'une entité faite au §4. chapitre II peut maintenant être explicitée en la présentant à l'aide des fonctions présentées. Dans la mesure où ces fonctions sont liées au sous-ensemble des fonctionnalités automatisées du SAP, on introduit le terme d'**entité automatique**.

Le schéma ci-dessous présente cette entité.



La partie automatisée constitue le noyau de base d'un SAP, elle n'en reste pas moins tributaire de l'intervention humaine qui est le seul juge de l'évolution du système.

Le paragraphe suivant présente les fonctions composant la supervision, venant compléter les fonctions de l'entité automatique.

2. La supervision

Les besoins en relations homme / machine dans un SAP sont très diversifiés.

De la même façon que pour les fonctionnalités automatisées, on peut identifier d'une part la supervision en exploitation nécessitant la visualisation et la commande en temps réel et d'autre part ce que l'on appelle le dialogue de mise au point associé à des opérations hors exploitation.

Si on se réfère aux besoins couramment exprimés dans la littérature, on peut établir les tableaux suivants :

En exploitation

Visualiser	demander
- une voie individuelle (analogique, numérique, en entrée ou en sortie)	- l'impression d'une image d'un journal
- un groupe de valeurs	- la mise en ou hors service
- une chaîne de régulation	- l'activation ou la désactivation (alarmes)

- un bargraphe
- un historique
- un journal de bord
- les alarmes
- la modification d'une consigne d'un seuil d'alarme d'une voie (forçage)
- l'envoi d'une commande à un actionneur

En mise au point :

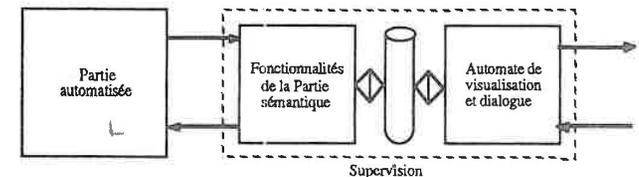
- création, modification, suppression d'un élément visualisable
- listage des éléments visualisables

La mise en évidence de besoins complémentaires dans la supervision permet de restreindre quelque peu le sujet en distinguant deux sous-ensembles.

D'une part l'interface utilisateur permettant un dialogue adapté à chaque opérateur (de maintenance, de configuration, de conduite), constituée par un automate de visualisation et de dialogue, et d'autre part ce que l'on qualifie de 'sémantique du dialogue', élaborant des objets compréhensibles par l'opérateur (sans préciser la façon dont ils seront affichés) et permettant d'aiguiller les demandes de ce dernier vers les fonctions adéquates de la partie automatisée.

On ne compte plus les études sur l'ergonomie, couleurs stratégiques et multifenêtrage à l'appui et on suppose donc le domaine de l'interface utilisateur comme suffisamment développé, pour se concentrer sur le second ou le 'qu'est ce qu'on va visualiser et commander'.

On schématise de la façon suivante les deux sous-ensembles constituant la supervision :



2.1. Spécification de la supervision

Présenter la partie sémantique de la supervision revient dans un premier temps à identifier les informations échangées avec la partie automatisée d'une part et l'opérateur d'autre part, et ensuite à spécifier les différentes fonctions manipulant ces flux.

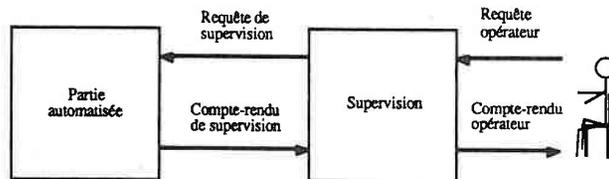
2.1.1. Les flux

D'un point de vue externe on introduit la terminologie suivante liée aux différents flux d'informations manipulés par la supervision :

- les **requêtes opérateur**, issues de l'opérateur et permettant d'agir sur la supervision

- les **compte-rendus opérateur**, issus de la supervision et permettant d'informer l'opérateur
- les **requêtes de supervision**, issues de la supervision et permettant d'agir sur les fonctions de la partie automatisée
- les **compte-rendus de supervision**, issus des fonctions de la partie automatisée et permettant la surveillance de ces dernières

Ce que l'on résume sur le schéma suivant :



Remarque : la terminologie employée permet d'identifier de façon précise les besoins en supervision. Nous verrons plus loin que ces flux ne représentent rien d'autre que des informations de coopération entre fonctions d'une même entité.

2.1.2. Les fonctions

D'un point de vue interne, on identifie trois fonctions liées aux besoins en relations homme / machine dans un SAP.

- **Agir** sur les fonctions de la partie automatisée par l'intermédiaire des requêtes de supervision, suite à des requêtes opérateur qu'elle aiguille vers la fonction destination dans l'entité automatique. On l'assimile à une fonction **action**.

- **Surveiller** les fonctions de la partie automatisée par l'intermédiaire des compte-rendus de supervision et fournissant à l'opérateur des compte-rendus opérateur dans le but de l'informer en temps réel de l'évolution du process.

Ces compte-rendus opérateur constituent des objets compréhensibles par un opérateur, ils résultent de la concentration de plusieurs compte-rendus de supervision à un même instant.

On l'assimile à une fonction **réaction**.

- **Aider l'opérateur** assurant l'obtention d'informations élaborées (objets complexes résultants de la concentration de plusieurs compte-rendus de supervision se suivant dans le temps), et offrant à l'opérateur une vue synthétique de son process, ainsi qu'une aide dans le cadre de l'exploitation du système. Elle recouvre principalement :

- l'aide à la décision
- l'analyse des incidents
- les modes d'emploi (guides opérateur, gestion des procédures dans le cas des événements de classe 3 sur la ligne C...)
- l'aide à la maintenance

- l'édition de journaux de bord, de statistiques
- l'archivage
- l'élaboration et la gestion des programmes d'exploitation dans le cas de MAGGALY

D'une part elle consomme des compte-rendus de supervision et d'autre part échange des requêtes et des compte-rendus avec l'opérateur. Il est à noter que les requêtes issues de l'opérateur ne sont pas dans ce cas à destination des fonctions de la partie automatique. Elle est assimilée à une fonction de type **réaction**.

Vis à vis de ces trois fonctions coopérantes constituant la supervision, on considère l'opérateur comme une quatrième fonction coopérante au même titre que les autres. Tout comme la supervision, les opérateurs sont en interaction avec la partie automatisée à tous les niveaux du modèle opérationnel.

Dans le cas de MAGGALY on trouve de la supervision au niveau central (PCC) avec intervention de régulateurs, au niveau des gares (PML et LAS) avec interventions d'AOL, ainsi qu'au niveau de la commande manuelle des aiguilles.

Comme pour les fonctions de la partie automatisée, des fonctions de supervision appartenant à des entités mère-filles échangent de l'information.

Il est important de lever toute ambiguïté sur ces échanges qui n'entrent pas en concurrence avec les échanges d'informations inter-niveaux entre fonctions de la partie automatisée.

Dans le cas de la supervision seule les échanges d'informations entre entités mère-filles n'ayant aucune relation avec les fonctions de la partie automatisée sont autorisés.

Un exemple issu du métro de Lyon est l'appel d'un AOL (niveau gare) par le régulateur (niveau ligne), par l'intermédiaire du téléphone, pour lui demander des informations sur la situation locale.

2.2. Coopération avec les fonctions de la partie automatisée

On considère que pour chaque entité de la partie automatique, peut être associée une fonction de supervision.

Dans ce qui suit, on détaille les relations entre les fonctions constituant la supervision et les fonctions de la partie automatisée.

Vis à vis de configurer

L'opérateur peut à partir de son poste de travail configurer une partie de son système, il a besoin en retour des informations associées.

D'autre part lors d'un changement de mode de marche il peut y avoir reconfiguration de la supervision pour adapter le dialogue.

Vis à vis du contrôle

L'opérateur est averti des événements, de même un certain nombre d'états lui sont fournis dans le but de l'informer de l'évolution de son système.

Vis à vis de conduire

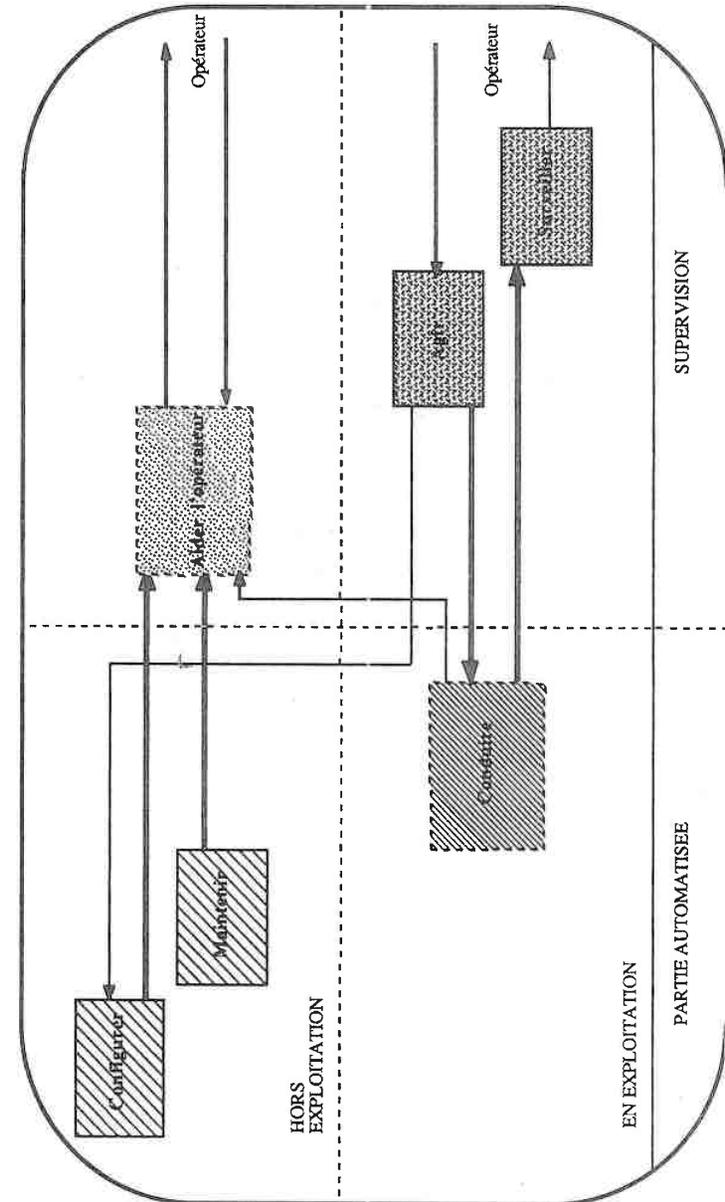
Le passage de commandes par l'opérateur est l'un des objectifs essentiels. L'information de l'opérateur sur les changements de mode de marche, certains événements et états, ainsi que la réalisation des objectifs constituent, pour les niveaux hauts du modèle opérationnel la partie surveillance associée.

Vis à vis de maintenir

Certaines informations pouvant être utiles à l'opérateur, elles lui sont restituées.

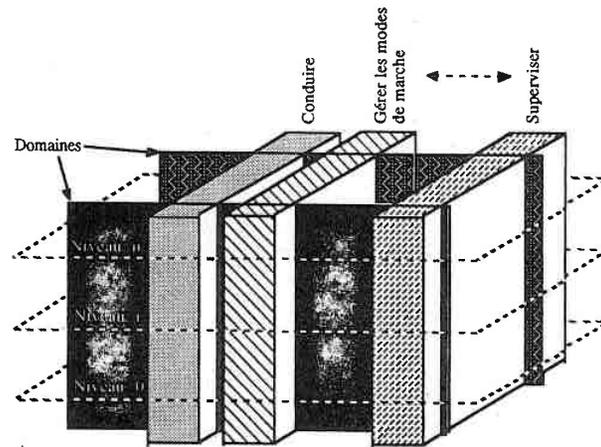
Remarque : l'identification des informations de supervision peut être intégrée à l'outil de classification des informations présenté au chapitre III.

Le schéma global d'une entité (page suivante) présente ces différents flux.



2.3 Modèle général

Une organisation générale des fonctions utilisateur (conduire, superviser...) à l'aide des concepts énoncés est proposée sur le schéma suivant :



Chaque fonction dans chaque domaine à chaque niveau

Dans ce qui suit on présente une mise en oeuvre de ces notions dans le cadre de MAGGALY.

3. Application au poste de travail ligne C

On se propose de détailler une application de la fonction supervision dans le cadre du poste de travail de la ligne C du projet MAGGALY.

Cette étude se situe dans le cadre général de l'analyse et de la conception du PCC. La méthode de spécification retenue étant SADT. Il a donc été nécessaire d'adapter le modèle proposé pour rester homogène avec l'existant.

Les conséquences ont été les suivantes :

- spécification d'un seul niveau de supervision correspondant à l'entité de niveau ligne. On détaille néanmoins dans ce qui suit les besoins aux différents niveaux.
- utilisation du formalisme graphique de SADT pour la spécification de la fonction supervision
- introduction d'une fonction de gestion des modes de marche dans la mesure où on ne spécifie pas la partie automatique du système suivant les concepts proposés.

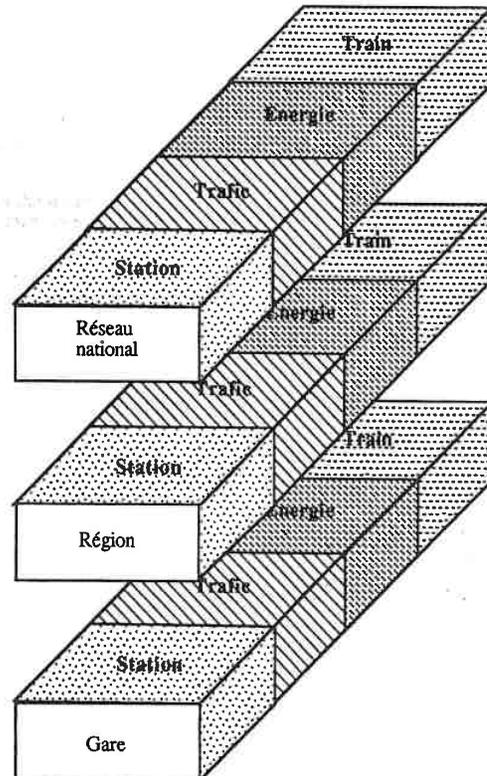
Dans un premier temps on propose un modèle général de MAGGALY, puis on détaille les fonctions de la ligne C. La synthèse du cahier des charges est donnée en annexe.

Le poste de travail est ensuite présenté en détaillant les besoins niveau par niveau et domaine par domaine.

3.1. Modèle général dans les process transport

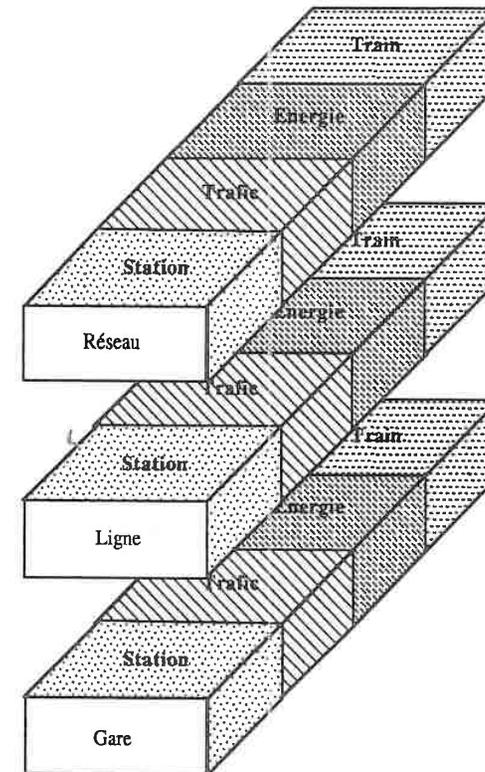
Suivant que l'on s'intéresse à la SNCF ou au métro, il existe une différence dans l'organisation générale des réseaux.

Pour la SNCF, le réseau national est découpé en régions, qui sont elles mêmes réparties en gares. Associé aux domaines déjà définis on présente le modèle général suivant du process SNCF :



Remarque : d'un point de vue réalisation il n'existe pas d'entité au niveau national, les fonctionnalités qui lui sont propres sont réparties suivant les régions. Ces différentes régions coopèrent entre elles pour assurer le service général de transport des voyageurs sur l'ensemble du réseau national.

En ce qui concerne le process métro la répartition est différente et se fait en terme de ligne plutôt que de région. On donne le schéma général suivant :



Remarque : dans ce cas l'entité réseau peut exister, au cas où la coordination des différentes lignes est nécessaire.

3.2. Cas de la ligne C

Dans le cas de MAGGALY il existe quatre lignes dont seule la ligne C est traitée dans l'exemple.

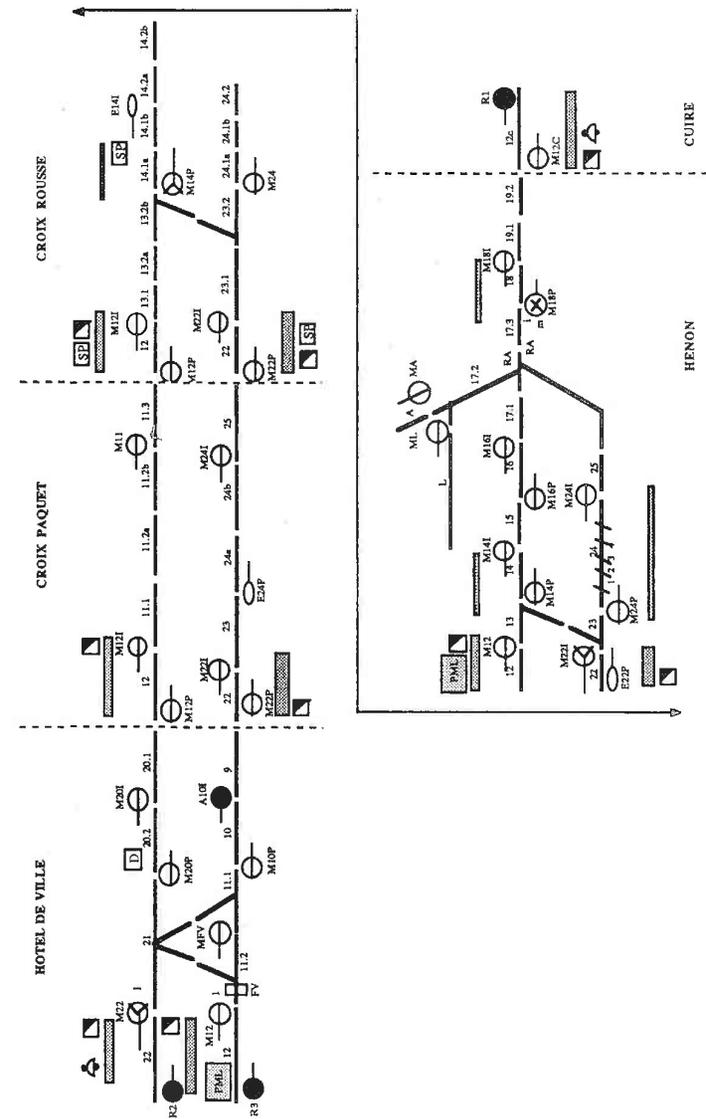
Elle est constituée de cinq gares dont la répartition est donnée sur le synoptique page suivante.

Le choix d'un poste de commande centralisé tend à regrouper l'ensemble des fonctionnalités au niveau de l'entité ligne, et ne déléguant que dans les modes dégradés quelques fonctions au niveau des gares.

Deux modes d'exploitation sont identifiés sur la ligne C :

- mode automatique pour la commande des itinéraires et pour chaque zone (HDV-XPA, XRO, HEN-CUI)
- mode manuel pour la commande des itinéraires pour chaque station. Le régulateur doit commander les cycles de retournement en terminus et gérer les garages / dégarages à l'aide de commandes manuelles d'itinéraires.

On présente dans ce qui suit les fonctions de la ligne C niveau par niveau et domaine par domaine.



3.2.1. Répartition des fonctions de la partie automatisée

La répartition des fonctions réalisées en automatique sur la ligne C se fait suivant les domaines. On présente les niveaux ligne et gare. Pour chaque niveau on donne une répartition suivant la terminologie présentée dans le § 2.2.

<u>Domaine trafic</u>	
niveau ligne	niveau gare
Commander	
Identification des trains	PML à CUI et HDV (sur délégation) commande des départs régulation du trafic
Téléphonie avec les trains	
Commande des manoeuvres	
Commande réseau 750 V	
Contrôler	
Suivi des trains	
Surveillance des équipements de sécurité et de contrôle	(sur délégation)
Configurer	
Formation des trains	

Remarque : les fonctions de suivi et d'identification des trains peuvent être assurées au niveau gare en mode d'exploitation automatique. Cela résulte du fait que chaque gare dispose d'un ensemble d'itinéraires qui lui sont propres et que le Programme d'Exploitation Nominal lui fournit les fractions de mission qui lui sont propres. La gare connaît donc les trains qui transitent dans sa zone de couverture. La seule information s'échangeant entre gare par le niveau ligne est le passage d'un train d'une zone à une autre. Le choix qui est fait de centralisation des fonctions de suivi et d'identification est propre à MAGGALY.

<u>Domaine station</u>	
niveau ligne	niveau gare
Aide à l'exploitation	
Suivi de l'exploitation des stations	
Contrôler et commander	
Surveillance des locaux d'exploitation et du fonctionnement des équipements en station	(sur délégation)
Domaine énergie	
niveau ligne	niveau gare
Contrôler et commander	
Gestion du réseau HT, BT	
Gestion de la production et de la distribution du réseau de traction	
Gestion des consignations	(sur délégation) réseau HT
Contrôler	
Acquisition des données relatives au réseau d'énergie	
Gestion des défauts techniques relatifs à l'énergie et au mouvement des voyageurs	

On constate donc la très faible autonomie des gares vis à vis du PCC. Ce choix de centralisation lié à des impératifs économiques et technologiques est une contrainte imposée dès le départ du projet.

L'approche proposée permet de supporter cette contrainte, le résultat étant une spécification relativement simple des entités gare.

Une seconde approche peut consister en un délégation maximale des fonctionnalités pouvant être supportées au niveau gare. On fait alors une analyse indépendamment de la contrainte de centralisation.

Cette dernière étant ensuite prise en compte au moment de la réalisation du modèle système.

Dans ce qui suit on détaille la supervision, c'est cette fonction qui introduit le plus de 'décentralisation'.

3.2.2. La supervision

On reprend en détail les besoins en relation homme / machine pour chaque fonction.

Au niveau ligne l'ensemble des informations terrains est remonté pour offrir une visualisation du process. Toutes ces informations transitent par les gares où elles ne sont pas traitées.

Il est à remarquer que, de part le choix de centralisation imposé par MAGGALY, la supervision au niveau gare correspond aux délégations de fonctions du niveau ligne.

La délégation représente une configuration des fonctions.

3.2.2.1. Niveau gare

Domaine trafic

Lié au besoin de commande des itinéraires en local, l'existence de Postes de Manoeuvre Locaux (PML) permet à un opérateur d'assurer en partie la commande.

Il en existe deux sur la ligne C. Ces PML permettent :

pour Hôtel de Ville

Requêtes opérateur (agir)

- les commandes associées aux itinéraires simples des stations HDV, XPA, XRO
- les commandes associées aux cycles AVG, NAV, CSV2, SP1, SP2, V1, V2
- les commandes associées à la fosse de visite
- gestion des départs en terminus
- délégation des fonctions du radiotéléphone

Il n'y a pas d'information associée à surveiller et aider l'opérateur.

pour Hénon

Requêtes opérateur (agir)

- les commandes associées aux itinéraires simples des stations HEN et CUI
- les commandes associées aux cycles SP, HCH
- les commandes associées aux ateliers
- gestion des départs en terminus
- délégation des fonctions du radiotéléphone

Il n'y a pas d'information associée à surveiller et aider l'opérateur.

La délégation des commandes sur un PML se fait soit par le régulateur au PCC, soit par un Agent d'Opération en Ligne (AOL).

A ce niveau l'opérateur ne fait qu'agir sur le process, la surveillance étant réduite au minimum.

Domaine station

Chaque station dispose de Locaux d'Aide en Station (LAS) permettant de surveiller et d'agir sur un certain nombre d'équipements :

Requêtes opérateur (agir)

- commande de l'émission d'annonces
- commande de l'éclairage en interstation
- commande des escaliers mécaniques
- commande des ventilateurs

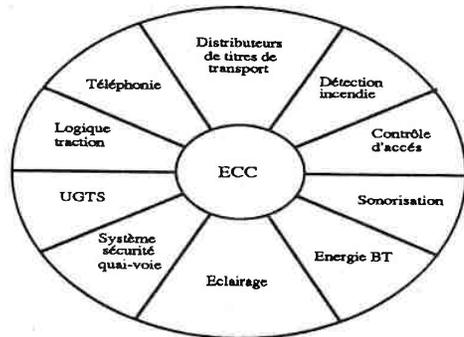
compte-rendus opérateur (surveiller)

- contrôle de la sonorisation
- contrôle du fonctionnement des distributeurs
- contrôle de l'éclairage en interstation
- contrôle des escaliers mécaniques
- contrôle des ventilateurs

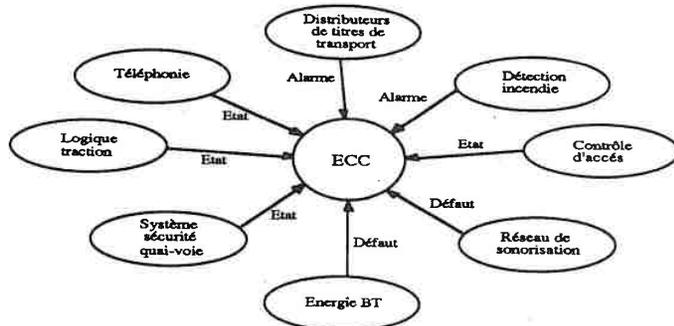
Il n'y a pas d'information associée à aider l'opérateur.

Les interventions sont toutefois réduites. Pour essayer d'illustrer de façon plus précise ce besoin en supervision au niveau gare on considère le cas de la ligne D. On ne parle plus cette fois de LAS mais de ECC (Ensemble de Contrôle Commande) permettant des interventions plus complexes.

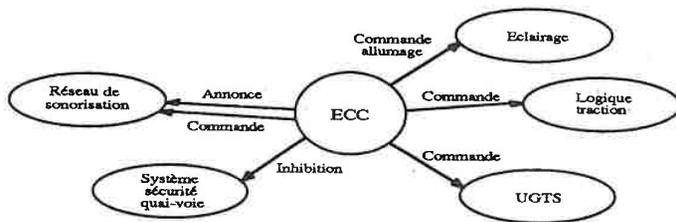
Les schémas suivants présentent ces ensembles :



INTERFACES FONCTIONNELLES RELATIVES A L'ECC

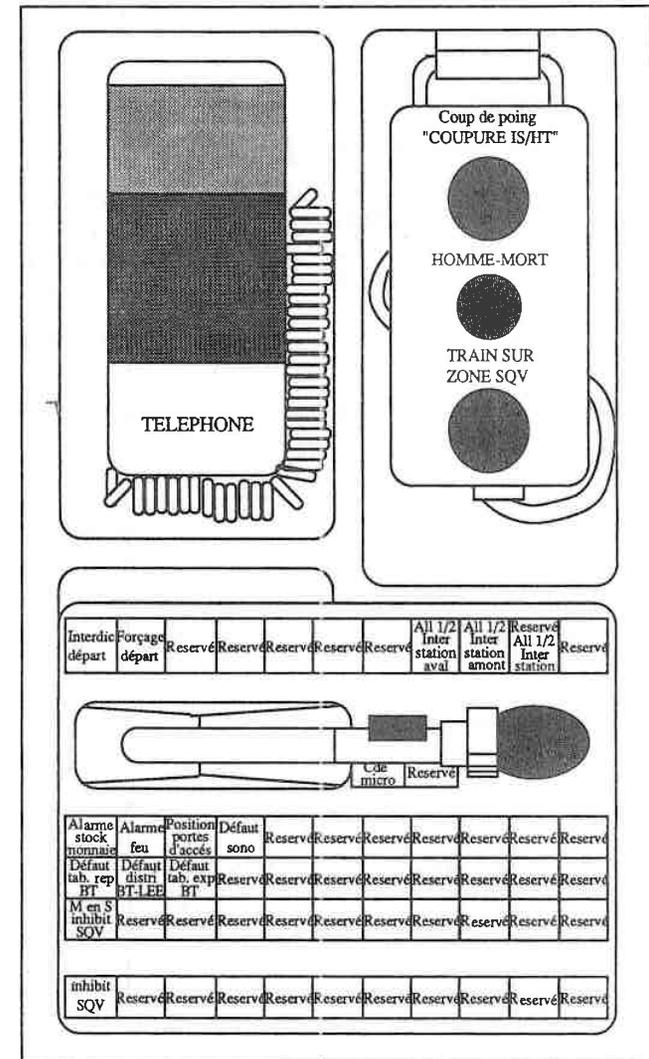


ENTREES FONCTIONNELLES RELATIVES A L'ECC



SORTIES FONCTIONNELLES RELATIVES A L'ECC

PLAN D'UN ECC



Domaine énergie traction

La seule intervention possible au niveau gare dans le cas de la ligne C est la coupure d'urgence de l'énergie traction.

3.2.2.2. Niveau ligne

Le niveau ligne est celui présenté dans le document de spécification du poste de travail ligne C (SPT88). La démarche adoptée a été la suivante :

- répartition des fonctions en termes de surveillance et d'action domaine par domaine
- répartition des informations en termes de requêtes et comprendus de supervision domaine par domaine et gare par gare.

Cette approche a permis une classification rigoureuse de l'ensemble des informations et des fonctions associés à la supervision sur la ligne C.

Surveiller le domaine trafic (station ou énergie traction)

Elle se décompose (dans le contexte SADT, voir annexe F) suivant trois activités identiques pour chaque domaine :

- **visualiser les états** donnant au régulateur une image de son processus à l'instant t, indépendamment des événements au sens du § 1.1.5
- **discriminer et visualiser les événements** visualisant les événements de classe 1 et 2 au sens du § 1.1.5
- **visualiser les événements de classe 3** présentant les événements de classe 3 et leur contexte pour la résolution par le régulateur (exemple d'un TPAI...)

Pour chaque domaine ces activités permettent de subvenir aux besoins en supervision des fonctions présentées au § 3.2.1.

La répartition des informations de surveillance se fait d'une part à l'aide des trois fonctions présentées et d'autre part gare par gare. Pour les domaines trafic et station les informations sont détaillées dans les tableaux en annexe E. Pour le domaine énergie le seul événement de classe 2 est le défaut de ligne aérienne.

Remarque : Lié à la défaillance de certaines fonctions du système, le régulateur peut être amené à déléguer au niveau des gares une partie de la surveillance, et en particulier demander à un AOL de lui rapporter les événements.

Agir

Il existe quelques requêtes générales communes à tous les domaines permettant en particulier :

- la mise en place d'un service provisoire
- la sélection du mode d'exploitation d'une ligne
- la gestion des programmes d'exploitation
- l'action sur les missions

elles représentent typiquement le besoin de coopération entre fonctions de domaines différents au niveau ligne.

Pour chaque domaine on identifie les requêtes suivantes :

Domaine trafic

- les commandes d'itinéraires simples combinées et cycles. Suivant le mode d'exploitation manuel ou automatique, le régulateur a à sa disposition des requêtes différentes.

- les commandes de délégation vers les PML
- les demandes d'accès aux ateliers, à la fosse de visite
- les commandes Départ Sur Ordre (DSO), SS
- les commandes de gestion des automates de départ
- les changements de mode de la commande d'itinéraire
- les commandes de gestion des numéros de service et matériels
- les commandes du radiotéléphone
- les commandes d'identification des trains
 - introduire un train
 - modifier le numéro d'un train
 - éliminer un train
- les commandes pour le suivi des trains
 - connaître la position d'un train
 - connaître les trains présents dans une zone de suivi

Domaine station

Les commandes disponibles sont liées aux EMV :

- ouverture des grilles en station
- éclairage en inter-station
- surveillance vidéo

- sonorisation

Domaine énergie traction

Il n'y a aucune commande régulateur.

Aider l'opérateur

Communes à tous les domaines on trouve les fonctions suivantes :

- l'archivage des événements, des acquittements et soldes et des commandes régulateur
- la consultation / édition des N dernières données archivées
- la consultation / édition archivées dans une plage horaire
- la consultation / édition des défauts et alarmes

Domaine trafic

- élaboration des PEN dont le constituant de base est la mission associée à un train. Pour chaque mission on décrit :

- le numéro de service
- le dégarage éventuel
- les courses
- le garage éventuel

le régulateur peut :

- ajouter une mission
- supprimer une mission
- modifier une mission
- la consultation / édition des mouvements des trains
- la consultation / édition des mouvements des trains à un point particulier (sortie des ateliers, entrée en garage)
- les statistiques permanentes liées au mouvement des trains et des voyageurs
- les statistiques sur demande, par opposition aux bilans statistiques établis périodiquement, elles sont élaborées sur demande du régulateur. Elles concernent le calcul d'un ou des critères (régularité, ponctualité) pour une période donnée en un point particulier.
- acquisition et exploitation des données relatives au trafic, statistiques, tableau de bord
 - par terminus
 - par ligne

Domaine station

- la consultation / édition de l'ensemble des données archivées pour une station

Conclusion

Cette énumération de fonctions utilisateurs type les entités définis au chapitre II, offrant ainsi une passerelle entre la terminologie rigoureuse du modèle fonctionnel et une terminologie courante. Le concepteur peut dans ces conditions regrouper fonctions et informations sous cette terminologie compréhensible par l'utilisateur, tout en conservant les outils, opérations et critères sur le modèle fonctionnel.

La présentation des trois fonctions constituant la supervision permet de définir le poste de travail type.

Il est bien entendu qu'un poste de supervision n'effectue aucun traitement de nature automatique sur les informations d'agir et de surveiller, la charge en est laissée aux fonctions de la partie automatique. On ne trouve donc pas à ce niveau de fonctions de type détecter des événements....

Pour ce qui est de la fonction d'aide, la nécessité de traitements spécifique est évidente. Ces traitements n'intervenant en aucune façon sur les fonctions de la partie automatique.

Aider l'opérateur est une fonction spécifique à l'application, contrairement aux deux autres.

Le classement effectué sur l'ensemble des fonctions et informations lié à la supervision montre d'une part la viabilité de la démarche proposée sur un cas concret et non trivial, et d'autre part son adaptabilité à des formalismes existants (SADT) et à des contraintes strictes (centralisation). Le partitionnement des informations permet une meilleure cohérence de l'ensemble et surtout une bonne lisibilité du document résultant.

D'une façon générale le poste de travail et la démarche suivie ne sont pas spécifiques à la ligne C.

Enfin la représentation générale d'une ligne, fonctions automatisées et supervision confondues, offre une vue simple et concise du besoin ce qui est un atout essentiel pour l'ingénieur.

CONCLUSION

ET

PERSPECTIVES

Formaliser le besoin de l'utilisateur, tel est le fil d'Ariane qui a orienté notre travail tout au long de ce document.

Le résultat est un guide de réflexion pour le concepteur, basé sur un modèle général et des moyens pour l'utiliser.

Les avantages de l'approche sont nombreux :

- **représentation graphique simple** sous forme d'arbre n-aire permettant une définition rigoureuse des relations entre entités et assurant la cohérence de l'information
- **modularité** grâce à l'organisation et la définition des entités
- **terminologie de base générique**, pour représenter les flux et fonctions, sur laquelle on fait reposer la terminologie classique (conduire, contrôler, commander, configurer, maintenir, superviser) facilitant le travail du concepteur pour la répartition des fonctions et informations de l'utilisateur
- **critères spécifiques aux SAP**, et en particulier l'expression de la dynamique du système suivant ses modes de marche, facilitant ainsi la compréhension du comportement général du système, et le passage du modèle opérationnel au modèle système
- **indépendance de la démarche vis à vis du type de process étudié**
- possibilité de **travail en équipe** autorisant l'étude de systèmes vastes nécessitant l'intervention de compétences multiples
- possibilités de **validation du modèle opérationnel** liées au choix de représentation des entités par des automates séquentiels.

Les constatations issues de l'utilisation de la démarche sur des cas industriels font aussi ressortir quelques inconvénients. Inhérent au choix d'une organisation des entités en arbre n-aire, la nécessité de mise en oeuvre de mécanismes spécifiques (opération de fusion, ...) pour exprimer la coopération. La liste **non exhaustive des critères** et la **non unicité du modèle opérationnel** résultant de leur utilisation par différents concepteurs. Comme pour toutes les méthodes actuelles, l'utilisation d'un **support informatique** permettrait l'allègement (pour le concepteur) des opérations de classement des informations et fonctions et d'édition du modèle.

L'état actuel du travail nous a démontré la viabilité de la démarche sur des exemples non triviaux, son intérêt pour le concepteur dans son dialogue avec les utilisateurs, sa facilité d'apprentissage et d'utilisation. Tout ceci permet d'entrevoir l'application de la démarche par d'autres personnes et pour d'autres problèmes que ceux liés aux process transport.

Néanmoins les concepts ne sont pas figés et pourraient être affinés par une étude plus quantitative, la comparaison de différents modèles opérationnels obtenus à partir du même cahier des charges mais en privilégiant l'un ou l'autre des critères présentés.

A l'heure actuelle, il apparaît nécessaire d'informatiser certaines tâches comme la manipulation de l'arbre (création, suppression, modification des entités et des flux), le parcours dans l'arbre, les opérations de classification des fonctions et informations (un tableur simplifiant déjà notablement la tâche, voir annexe E), la vérification de la cohérence entre les flux entrant et sortant d'entités mère-fille.

Vis à vis des démarches existantes, il existe une complémentarité dans les approches. Par exemple l'utilisation de SADT pour spécifier les traitements internes d'une entité (voir l'exemple du poste de travail ligne C), les spécifications des automates des entités en termes de réseaux de Pétri, l'utilisation de modèle de GPAO pour étudier les niveaux haut du modèle opérationnel...

Notre démarche, très en amont dans le développement des SAP, permet d'intégrer des méthodes et modèles adaptés chacun à des contextes particuliers pour lesquels ils ont été conçus.

ANNEXES

- A - Parties opératives et organisations de production dans le domaine manufacturier
- B - Spécification interne de l'entité aiguille
- C - Présentation de la méthode SADT
- D - Synthèse du cahier des charges ligne C
- E - Répartition des informations de surveillance ligne C
- F - Modèle SADT du poste de travail ligne C

ANNEXE A

On s'intéresse dans cette annexe à des systèmes de production de type manufacturier.

Les types de partie opérative

- les processus continus
- les processus discontinus
- les processus mixtes

Les organisations de production

- les lignes-transfert
- les ateliers

Les types de partie opérative

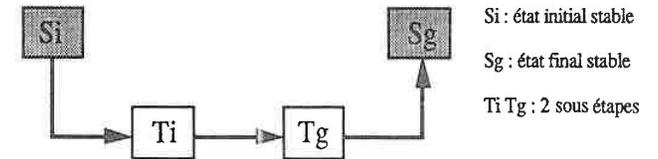
1. Les processus continus

Ils comprennent un ensemble de transformations (apport de valeur ajoutée dans le temps) opérant de façon continue; l'état final de chaque transformation dépend du temps.

On peut les caractériser par le fait que l'on peut définir des étapes de transformation de la matière, tels que à l'intérieur de chaque étape, on ne peut trouver un état stable de stockage à long terme, conservant la valeur ajoutée.

C'est à dire que la valeur ajoutée risque d'être partiellement ou totalement perdue en cas d'arrêt anormal du processus d'une durée supérieure à une certaine valeur T dépendant du processus considéré.

On peut représenter un tel processus de la façon suivante :



Exemple : - Ligne de fabrication de pâte à papier
- Traitement thermique de masses tiges

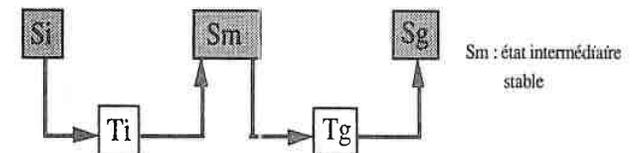
2. Les processus discontinus

Ils comprennent un ensemble de transformations opérant sur des périodes pouvant être relativement brèves, la valeur ajoutée étant le résultat de enchaînement des transformations.

Entre chaque période d'apport de valeur ajoutée, la matière d'oeuvre reste dans un état stable à long terme.

Une interruption du processus ne remet pas en cause la valeur ajoutée produite.

On peut représenter un tel processus de la façon suivante :

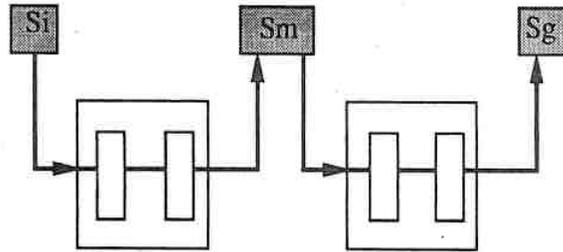


Exemple : - Usinage de pièces mécaniques
 - Manutention
 - Transport

3. Les processus mixtes

Il ne s'agit pas à proprement parler d'un type supplémentaire de processus puisque les processus mixtes sont formés d'une combinaison de processus continus et de processus discontinus.

On peut représenter un tel processus de la façon suivante :



Exemple : - Usine intégrée de fabrication de papier
 - Usine agro-alimentaire

Les organisations de production

1. Les lignes-transfert

Elles sont constituées par une succession de machines spécialisées, transformant un produit initial en un produit final, suivant un cheminement figé pour un type de matière donné.

Elles peuvent concerner des processus continus ou discontinus.

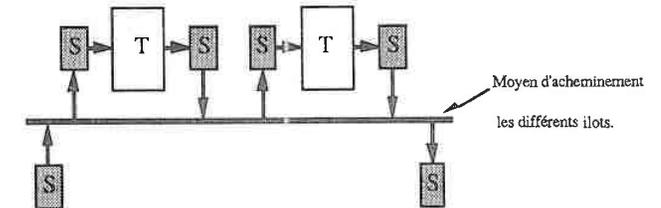
L'un des objectifs est de favoriser la productivité. Elles s'utilisent surtout pour les grandes séries.

2. Les ateliers

Ils sont constitués par des machines spécialisées ou polyvalentes. Le cheminement de la matière étant, suivant le cas, aléatoire ou figé.

Ils permettent de mettre en oeuvre des processus essentiellement discontinus.

On peut représenter un tel processus de la façon suivante :



Les composants d'un atelier flexible sont :

- Un système de fabrication
- Un système de manutention
- Un système de pilotage

La notion de cellule flexible, ou cellule élémentaire, constitue une composante élémentaire de l'atelier. C'est la plus petite unité flexible composée d'une machine pluri-opératoire et d'un système de chargement stockage.

L'atelier se différencie à deux niveaux de la cellule :

- La taille
- Le nombre et le type de matériels mis en oeuvre

D'autre part, le moyen de manutention dans la cellule est de type navette, alors que dans l'atelier il est en général plus complexe.

Suivant l'objectif on peut aussi différencier deux classes d'ateliers.

2.1. Les ateliers conventionnels

Ce sont des ateliers peu automatisés, ou la flexibilité de l'organisation a été privilégiée par rapport à la productivité.
Ils sont bien adaptés aux petites séries.

2.2. Les ateliers flexibles

Ce sont des ateliers dont la gestion est très automatisée, réalisant un compromis entre productivité et flexibilité.

ANNEXE B

Spécification des traitements de l'entité aiguille

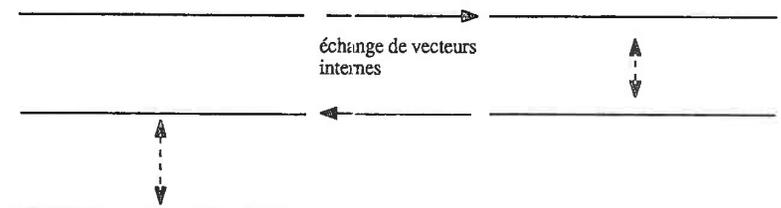
Organisation de l'annexe

Traitements associés à
la fonction réaction

Traitements associés à la
fonction action

Corps en pseudo-Pascal

(commentaires)



Traitements associés à la
fonction réaction

Traitements associés à la
fonction action

(occurrence événement au niveau du
levier manuel)

Lm = OK

(vérification position droite de
l'aiguille)

Si Fd = OK alors

Si Cd = OK et Cg = !OK alors

(aiguille en position droite)

KaX = D
Pos = D
Rp = OK

sinon

(incohérence des capteurs de collage)

KaX = I
Pos = I
Rp = !OK
MM = HS

sinon si Fg = OK alors

Si Cg = OK et Cd = !OK

alors

(aiguille en position gauche)

KaX = G
Pos = G
RP = OK

sinon

(incohérence des capteurs
de collage)

KaX = I
Pos = I
Rp = !OK
MM = HS

Traitements associés à la
fonction réaction

sinon

(incohérence des capteurs de fin de
course)

KaX = I
Pos = I
Rp = !OK
MM = HS

(fin de traitement de l'événement
levier manuel)

Traitements associés à la
fonction action

(requête du niveau supérieur)

Si MM = HS alors

(l'aiguille est hors service)

KaX = I

sinon

(traitement de la requête)

switch(CaX)

(on demande position droite)

(CaX = D) : Si Pos = D alors

(l'aiguille est déjà dans cette
position)

ar
(V = OK)

sinon

(activation de l'actionneur)

Ac = D
ar
(V = D)

(on passe la main à la fonction
réaction)

Traitements associés à la
fonction réaction

(on attend le positionnement de l'aiguille
à droite)

Arme Time_out(TO)

Tant que !TÖ ou !fin faire

Si Fd = OK ou Fg = OK alors

(on a atteint un fin

de course)

ra
(V = S) →

Ac = S

si Cd = OK et
Fd = OK et
Cg = !OK alors

(position correcte)

KaX = D
Pos = D
MM = E3
Fi1
sinon

(incohérence dans
la position)

KaX = I
Pos = I
MM = H3
Fi1

Fin tant que
Si TO = OK alors

(on a atteint le time-out, le
fonctionnement est
incorrecte)

ra
(V = S) →

Ac = S

Traitements associés à la
fonction réaction

KaX = I
Pos = I
MM = HS

Traitements associés à la
fonction action

(on demande position gauche)

(CaX = G) : Si Pos = G alors

(l'aiguille est déjà dans cette
position)

←-----^{ar} (V = OK)

sinon

(activation de l'actionneur)

Ac = G

←-----^{ar} (V = G)

(on passe la main à la fonction
réaction)

(on attend le positionnement de
l'aiguille à gauche)

Arme Time_out(TO)

Tant que !TÔ ou !fin faire

Si Fd = OK ou Fg = OK alors

(on a atteint un fin de course)

-----^{ra}
(V = S) →

Ac = S

Traitements associés à la
fonction réaction

si Cg = OK et
Fg = OK et
Cd = !OK alors

(position correcte)

KaX = G

Pos = G

MM = ES

Fin

sinon

(incohérence dans la
position)

KaX = I

Pos = I

MM = HS

Fin

Fin tant que

Si TO = OK alors

(on a atteint le time-out, le
fonctionnement est
incorrecte)

-----^{ra}
(V = S) →

Ac = S

KaX = I

Pos = I

MM = HS

ANNEXE C

Présentation de la méthode SADT

SADT

1. Présentation

SADT est une technique de modélisation et de description permettant d'analyser des systèmes vastes et / ou complexes. SADT propose une ligne de conduite, des techniques et des méthodes pendant l'analyse et la conception pour :

- communiquer les résultats de l'analyse et de la conception dans un formalisme aisément compréhensible
- assurer la qualité, la précision et la complétude des spécifications
- établir une documentation et une chronologie de l'étude du système
- assurer la coordination et la répartition du travail d'équipe
- permettre la direction et la maîtrise de l'évolution du projet

SADT s'organise autour de sept concepts.

2. Concepts de base

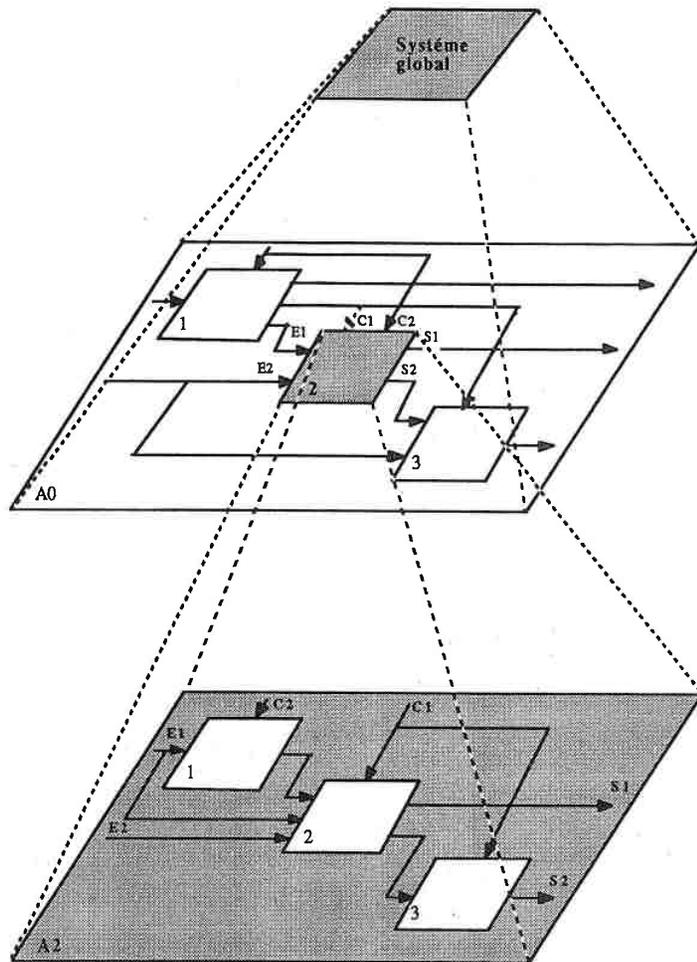
Concept 1 : l'objet du modèle est d'exprimer une compréhension en profondeur du problème. Le modèle doit être non ambigu pour éviter une interprétation différente du même problème par des personnes différentes. Il doit d'autre part être facilement compréhensible. C'est ce qu'offre la représentation graphique de SADT.

Il est possible d'élaborer des modèles multiples exprimant différents points de vue du même problème.

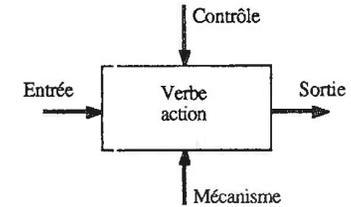
Concept 2 : SADT permet de discipliner la démarche d'analyse en proposant une approche

- **descendante** : le système étant vu comme un tout à partir de ses interfaces externes. SADT démarre avec la description la plus abstraite du système et décompose ensuite en sous-systèmes plus détaillés et ainsi de suite. Chaque étape de l'analyse apporte ainsi un ensemble de détails supplémentaires.
- **modulaire** : le système est décomposé en modules, le but étant défini à l'avance. La spécification des interfaces d'un module, permet de remplacer celui-ci dans la mesure où le remplaçant propose les mêmes interfaces.
- **hiérarchique** : dans un diagramme SADT, tout module est une sous partie d'un autre module, et chaque module peut être divisé en sous parties
- **structuré** : les relations entre modules sont explicités à l'aide de flèches entre les différentes interfaces. A chaque niveau de détail on voit à la fois les sous-modules et comment ils sont reliés pour constituer le module père.

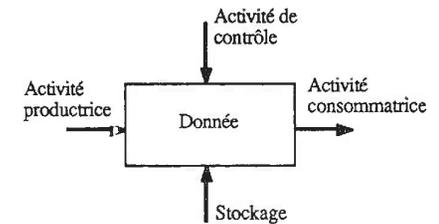
Le schéma suivant présente ces notions :



- **Concept 3** : SADT modélise à la fois les objets (données, documents ...) et les activités (humaines, machines...). Chaque modèle peut être étudié séparément mais les deux doivent être vus ensemble pour comprendre la réalité. La représentation en activités met l'accent sur les fonctions réalisées. Une boîte représente une activité et les flèches des données :



La représentation en données, met l'accent sur les données manipulées par le système. Une boîte représente une donnée, les flèches des activités productrices, consommatrices... :



La mise en correspondance des deux décompositions permet de faire ressortir des incohérences et / ou des omissions.

- **Concept 4** : SADT différencie autant que possible le modèle fonctionnel (fonctions à remplir) du modèle de conception (façon dont le système va être réalisé). Pendant la phase de conception on identifie les mécanismes qui peuvent supporter les fonctions. Le choix d'une mécanisme est lié aux performances souhaitées.

- **Concept 5** : SADT présente de façon concise et non ambiguë les résultats d'une analyse. Il montre les différentes parties des composants, les relations qui existent entre eux et la façon dont ils s'intègrent dans une structure hiérarchique. Un diagramme SADT est constitué de boîtes et de flèches labellées. Un modèle SADT est constitué par une suite cohérente de diagrammes. Les flèches expriment les contraintes et les relations entre les différentes boîtes d'un diagramme.

- **Concept 6** : SADT favorise un travail d'équipe discipliné et coordonné, indispensable pour présenter au mieux les réflexions d'une équipe. SADT favorise une documentation uniforme, claire, complète et à jour.

- **Concept 7** : SADT exige que les remarques et les choix importants lors de l'analyse et la conception soient consignés par écrits.

3. Constitution d'un modèle

Un modèle SADT est donc constitué :

- d'actigrammes présentant l'ensemble des activités du système
- de datagrammes présentant l'ensemble des données du système
- des diagrammes d'explications n'appartenant pas à la structure hiérarchique
- des textes relatifs aux diagrammes
- un glossaire des termes principaux utilisés dans les diagrammes et le texte

ANNEXE D

Synthèse du cahier des charges ligne C

1. Domaine trafic	D/1
1.1. Suivi et identification des trains	D/1
1.2. Formation des trains	D/1
1.3. Téléphonie avec les trains	D/1
1.4. Commande des manoeuvres	D/2
1.5. Commande des départs - Régulation du trafic	D/2
1.6. Commande du réseau 750V	D/2
1.7. Surveillance des équipements de sécurité et de contrôle du trafic	D/3
1.8. Acquisition et exploitation des données relatives au trafic, statistiques, tableau de bord	D/3
2. Domaine station	D/4
2.1. Suivi et exploitation des stations	D/4
2.2. Surveillance des locaux d'exploitation et du fonctionnement des équipements en stations	D/4
3. Domaine énergie	D/5
3.1. Gestion du réseau HT, BT	D/5
3.2. Gestion de la production et de la distribution du réseau de traction (commande et surveillance)	D/5
3.3. Acquisition des données relatives au réseau énergie - Tableau de bord	D/6
3.4. Gestion des consignations	D/6
3.5. Gestion des défauts techniques relatifs à l'énergie et aux mouvements des voyageurs	D/7

1. Domaine trafic

1.1. Suivi et identification des trains

Objectifs

Connaître à tout moment au PCC la position et l'identité des trains circulant sur les voies principales et secondaires.

Procédé

La position de chaque train en ligne est définie par l'occupation des circuits de voie de signalisation.

Le numéro d'identification de chaque train est prélevé sur les équipements qui assurent le repérage au fronton du train. Ce numéro, au passage de chaque point d'identification est envoyé par la télétransmission au système.

1.2. Formation des trains

Objectifs

La formation des trains est telle qu'elle permette d'assurer en heure de pointe une offre de capacité correspondant à la demande de transport.

Procédé

La nature du trafic à assurer (évolution de la demande de transport pendant les différentes périodes de la journée, demande de transport réduite avant et après les heures de pointe) conduit à faire varier le nombre de trains en ligne durant les périodes d'exploitation. Toutes ces opérations sont réalisées à partir d'un programme d'exploitation.

En cas d'avarie de matériel roulant, des trains de réserve sont prévus, afin de permettre un échange rapide de matériel, en vue d'assurer la continuité de service.

1.3. Téléphonie avec les trains

Objectifs

L'équipement de téléphonie avec les trains a pour but d'assurer une liaison bilatérale entre le PCC et les trains circulant en ligne (avec les conducteurs dans le cas de la ligne C).

Procédé

La liaison entre le PCC et les stations utilise les paires d'un câble phonie. La liaison train - sol est assurée par l'intermédiaire de fréquence utilisant la caténaire du courant de traction.

1.4. Commande des manoeuvres**Objectifs**

Rendre possible la commande des manoeuvres à partir du PCC, soit automatiquement par le système de traitement, soit manuellement par le régulateur, tout en conservant localement les fonctions de sécurité.

Procédé

La commande des manoeuvres se définit par les phases suivantes :

- commande de l'itinéraire
- enregistrement de l'itinéraire
- établissement de l'itinéraire
- autorisation de l'itinéraire
- destruction de l'itinéraire

1.5. Commande des départs - Régulation du trafic**Objectifs**

La fonction "commande des départs" et "régulation du trafic" doit permettre d'assurer une régularité du service en maintenant la marche réelle des trains aussi près que possible de la marche type théorique.

Procédé

La fonction est assurée automatiquement dans les terminus Cuire et Hôtel de ville.

1.6. Commande du réseau 750V**Objectif**

Permettre au régulateur d'avoir en permanence l'état d'alimentation des voies et de pouvoir isoler une section de la ligne en cas d'incidents d'exploitation.

Procédé

Pour surveiller en permanence l'état de l'alimentation en énergie de traction le régulateur dispose des contrôles :

- des boucles de coupure d'urgence
- de présence tension par sous-section
- de l'état des principaux actionneurs

Suite à un incident d'exploitation, il peut réaliser :

- une mise hors-tension générale ou par section électrique
- une mise sous-tension des sections électriques

1.7. Surveillance des équipements de sécurité et de contrôle du trafic**Objectifs**

Donner au régulateur les informations concernant l'état de fonctionnement des différents organes de commande contrôle, afin de pouvoir reprendre éventuellement, en manuel, ou déléguer en local les commandes qui ne peuvent plus être effectuées automatiquement.

Procédé et exploitation

Le régulateur dispose des informations concernant :

- la surveillance et la commande de commutation des systèmes de traitement de l'information
- la surveillance des équipements de transmission de l'information
- la surveillance des équipements de logique traction
- la surveillance des équipements de signalisation

1.8. Acquisition et exploitation des données relatives au trafic, statistiques, tableau de bord**Objectifs**

Permettre de reconstituer le déroulement de l'exploitation à posteriori et d'établir des statistiques sous forme de résumé journalier du trafic.

Procédé

Le système de traitement édite :

- en temps réel un journal trafic comprenant les principaux événements de l'exploitation :

- alarmes
- anomalies
- trafic
- commande régulateur

- en temps différé un résumé journalier du trafic.

Les informations nécessaires à cette édition sont mémorisées en cours d'exploitation.

Les informations éditées sont les suivantes :

- par terminus

- nombre de départs
- nombre de retards au départ
- retard maximum
- nombre de remplacements
- nombre d'annulations
- mode de marche

- par ligne

- nombre de tours effectués
- nombre de retards en ligne
- retard maximum en ligne

2. Domaine station

2.1. Suivi et exploitation des stations

Objectifs

- surveillance du mouvement des voyageurs (quai et accès)
- suivi des agents d'exploitation
- mise en service et fermeture des stations

Procédé

La surveillance du mouvement des voyageurs est assurée par un réseau de télévision, un réseau de sonorisation, un système d'interphonie d'alarme.

Le suivi des agents d'exploitation est assuré par un réseau de recherche de personne.

Le régulateur dispose d'un certain nombre de commandes et contrôles lui permettant la mise en service et la fermeture des stations.

2.2. Surveillance des locaux d'exploitation et du fonctionnement des équipements en stations

Objectifs

Suivi des alarmes et des défauts techniques des équipements en station.

Procédé

L'opérateur dispose des informations de défauts techniques et d'alarmes suivantes :

- pompage LAS-CCS
- escaliers mécaniques
- détection incendie
- ventilation batterie
- distribution et oblitération des titres de transport
- sonorisation
- distribution de l'heure
- télévision
- défauts spécifiques à chaque ligne

L'opérateur est informé des autres alarmes concernant certains équipements par les agents de station ou les conducteurs :

- éclairage interstation et station
- signalétique
- grille d'accès

- interphonie d'alarme
- téléphone
- ventilation
- voies - bâtiments second-oeuvre
- etc ...

Les défauts, ne concernant pas directement le régulateur, sont transmis au service de maintenance concerné pour intervention.

3. Domaine énergie

3.1. Gestion du réseau HT, BT

Objectifs

Donner à tout moment au PCC :

- l'état du réseau électrique 20Kv et de la BT associée
- la possibilité d'intervenir dans la configuration de l'installation pour le 20Kv.

Procédé

L'état du réseau électrique 20Kv et de la BT associée est donné par l'acquisition d'informations concernant :

- le changement d'état des principaux actionneurs
- l'apparition ou la disparition d'alarmes
- les mesures

L'action sur le réseau se caractérise par l'envoi d'ordres d'ouverture ou de fermeture aux actionneurs principaux.

3.2. Gestion de la production et de la distribution du réseau de traction (commande et surveillance)

Objectifs

Assurer à partir du PCC l'alimentation des voies pour assurer les différentes circulations en ligne.

Procédé

Pour assurer cette fonction de gestion des postes redresseurs et du réseau de traction, le PCC dispose :

- 1- des commandes et des contrôles des actionneurs
 - disjoncteurs ultra-rapides
 - contacteurs d'isolement télécommandés
 - disjoncteurs terminus
- 2- des commandes de mise en/hors service des postes redresseurs et des principales alarmes concernant chaque poste.

- 3- d'un déclenchement d'urgence et général du réseau de distribution de l'énergie de traction
- 4- de commutateurs de choix de commandes des asservissements des sections électriques : libre, asservi, inhibition
- 5- des contrôles de présence tension et des boucles de coupure d'urgence

3.3. Acquisition des données relatives au réseau énergie - Tableau de bord

Objectifs

- Editer les principaux événements du réseau et les valeurs de certaines mesures de courant.
- Permettre, en cas d'incidents sur le réseau, de reconstituer le déroulement des différents événements.

Procédé

Les informations suivantes sont éditées.

- Edition automatique

- changement d'états des principaux actionneurs
- alarmes caractérisant les défauts sur la distribution électrique
- mesures sur bornes horaires pour chaque poste de livraison :
 - * mesure de puissance (système externe TCL)
 - * mesure des courants au niveau des disjoncteurs de livraison et artères
- anomalies de fonctionnement du système

- Edition déclenchée par l'opérateur

- télécommandes émises
- télémesures demandées par l'opérateur
- dialogues opérateurs validés

3.4. Gestion des consignations

Objectifs

Consigner à distance ou localement selon le réseau, les installations électriques sur lesquelles, ou à proximité desquelles, doivent s'effectuer des travaux.

Procédé

Selon la nature des installations à consigner, les procédures sont différentes.

Réseau HT

La consignation se fait localement sur les installations selon les règlements en vigueur. L'opérateur a pour rôle d'ouvrir les actionneurs avant la consignation locale et de les fermer après la déconsignation.

Réseau traction

La consignation se fait à distance et par secteur à partir du PCC. L'opérateur dispose de la commande de consignation de chaque disjoncteur sortie PR ainsi que de l'information "actionneur consigné". Cette procédure est utilisée en début et fin de travaux ce qui permet par rapport à un système de consignation locale un gain d'environ une heure au niveau de l'interruption de service la nuit pour les travaux.

3.5. Gestion des défauts techniques relatifs à l'énergie et aux mouvements des voyageurs

Objectifs

Gérer les messages de défauts techniques des équipements relatifs à l'énergie et aux mouvements des voyageurs en ce qui concerne le réseau métro.

Procédé

L'opérateur dispose des informations de signalement des défauts techniques provenant des stations et des ateliers métro et surface.

Ces informations concernant principalement :

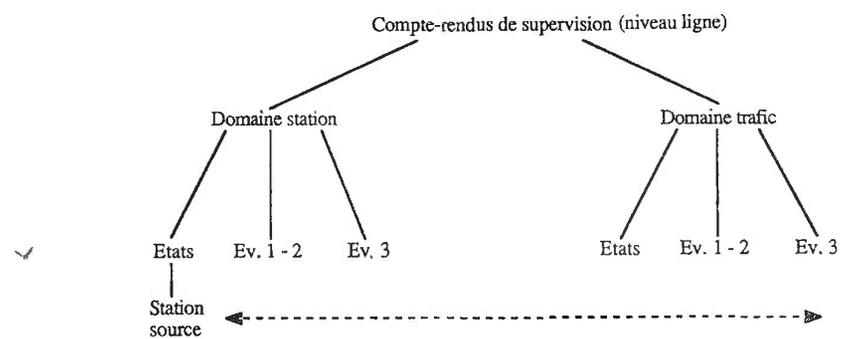
- la ventilation
- le pompage
- les escaliers mécaniques
- la climatisation
- l'éclairage interstation et station
- la signalétique
- les grilles d'accès
- le téléphone
- la centrale incendie

Ces informations sont transmises au service de maintenance concerné pour intervention.

ANNEXE E

Classification des informations de surveillance ligne C

Organisation de l'annexe



Etats domaine station	Hotel de ville	Croix paquet	Croix rousse	Hénon	Cuire
Détection incendie - volets coupe feu fermés	ok	ok	ok	ok	néant
Sonorisation - présence modulation	ok	ok	ok	ok	ok
Interphonie d'alarme - localisation	ok	ok	ok	ok	ok
Rupteur d'urgence - localisation	ok	ok	ok	ok	ok
Recherche de personne - localisation	ok	ok	ok	ok	ok
Eclairage inter-station - localisation	ok	néant	ok	ok	néant

Ev 1 & 2 domaine station	Hotel de ville	Croix paquet	Croix rousse	Hénon	Cuire
Téléphone					
- HS / ES	ok	ok	ok	ok	ok
Détection incendie					
- défaut technique	ok	ok	ok	ok	ok
- alarme catégorie 1	ok	ok	ok	ok	ok
- alarme catégorie 2	ok	ok	ok	ok	ok
- alarme escalier mécanique	néant	néant	ok	ok	néant
- défaut technique PCA	néant	néant	néant	ok	néant
- alarme PCA	néant	néant	néant	ok	néant
Sonorisation					
- défaut	ok	ok	ok	ok	ok
Vidéo					
- défaut fibre optique	ok	ok	ok	ok	néant
- défaut matrice 1	néant	néant	néant	ok	néant
- défaut matrice 2	néant	néant	néant	ok	néant
Escalier mécanique					
- défaut	néant	néant	ok	ok	néant
Ventilation					
- batterie HS / ES	néant	néant	ok	ok	ok
Epuisement des eaux					
- défaut technique eau	ok	néant	ok	ok	néant
- défaut pompes	ok	néant	ok	ok	néant
Distributeurs					
- défaut technique	néant	ok	ok	ok	ok
- alarme exploitation	néant	ok	ok	ok	ok

Ev 1 & 2 domaine station	Hotel de ville	Croix paquet	Croix rousse	Hénon	Cuire
Pédale d'alerte LAS					
- localisation	ok	ok	ok	ok	néant
Grilles (ouvertes / fermées)					
- localisation	néant	ok	ok	ok	ok
Boucle sécurité incendie					
- alarme	ok	ok	ok	ok	ok
Distribution de l'heure					
- défaut	ok	ok	ok	ok	ok
Obitérateurs					
- défaut technique	ok	ok	ok	ok	ok
- défaut validité titre de transport	ok	ok	ok	ok	ok

Ev 3 domaine station	Hotel de ville	Croix paquet	Croix rousse	Hénon	Cuire
Distributeurs					
- défaut portes ouvertes	néant	ok	ok	ok	ok
- alarme effraction	néant	ok	ok	ok	ok

États domaine trafic	Hotel de ville	Croix paquet	Croix rousse	Hénon	Cuire
Fosse de visite					
- libre / occupé	ok	néant	néant	néant	néant
Traquet					
- TQ.H	ok	néant	néant	néant	néant
- TQ.B	ok	néant	néant	néant	néant
Atelier					
- autorisation	néant	néant	néant	néant	néant
Flèche de sens					
	ok	ok	ok	néant	néant
Itinéraire de voie directe					
	néant	néant	ok	néant	néant
Cycle hénon-Cuire-Hénon					
	néant	néant	néant	ok	ok
Coffret commun (DSO, SS)					
	ok	ok	ok	ok	ok
Sonnerie de départ en term					
	ok	néant	néant	néant	ok
Signal d'espacement					
	ok	ok	ok	ok	ok
signal d'arrêt A.10.I					
	ok	néant	néant	néant	néant
Itinéraire combiné CXR					
	néant	néant	ok	néant	néant
Cycle AVG - HDV					
	ok	néant	néant	néant	néant
Itinéraire simple 10 / 22 H					
	ok	néant	néant	néant	néant

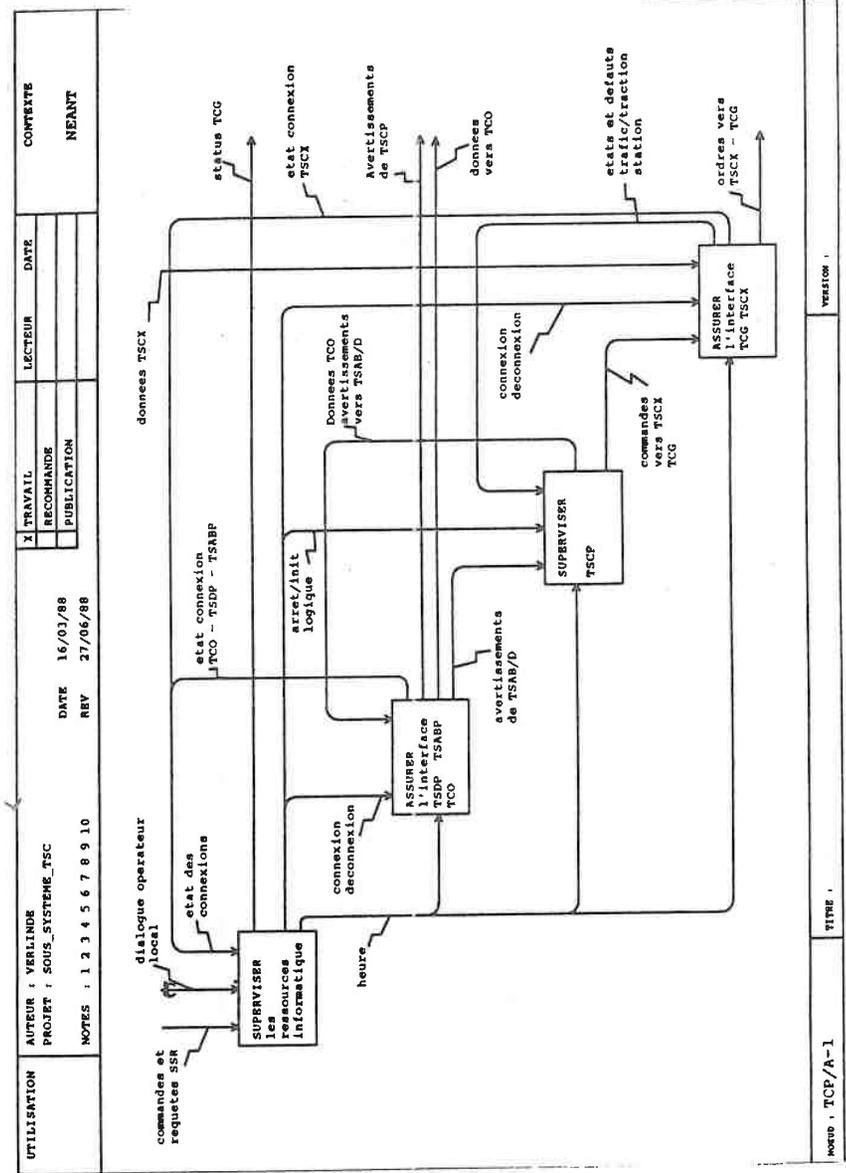
Etats domaine trafic (S)	Hotel de ville	Croix paquet	Croix rousse	Hénon	Cuire
Cycle SP1 - SP2					
- SP 1	néant	néant	ok	néant	néant
- SP2	néant	néant	ok	ok	néant
- V2	néant	néant	néant	ok	néant
Cycle navette	ok	ok	ok	néant	néant
Régime contre-sens voie 2	ok	ok	ok	néant	néant
Circuit de voie	ok	ok	ok	ok	ok
Position de garage	néant	néant	néant	ok	néant
Signal de manoeuvre	ok	ok	ok	ok	ok
Aiguille					
- KAGID	ok	ok	ok	ok	néant
- KAGIG	ok	ok	ok	ok	néant
Itinéraire simple					
- enregistrement	ok	ok	ok	ok	ok
- formation	ok	ok	ok	ok	ok
- destruction	ok	ok	ok	ok	ok

Ev 1 & 2 domaine trafic	Hotel de ville	Croix paquet	Croix rousse	Hénon	Cuire
Reprise manuelle	ok	ok	ok	ok	ok
Radio-téléphone THF	ok	ok	ok	ok	ok
Erreur balise	ok	ok	ok	ok	néant
Erreur balise					
- signal erreur V1	ok	ok	ok	ok	néant
- signal erreur V2	ok	ok	ok	ok	néant
Défaut balise					
- défaut technique V1	ok	ok	ok	ok	ok
- défaut technique V2	ok	ok	ok	ok	néant
Signal d'espacement	ok	ok	ok	ok	ok

Ev 3 domaine trafic	Hotel de ville	Croix paquet	Croix rousse	Hénon	Cuire
Balise de détection incohérence					
PEN - balise					
- V1 LSB V1 V2 U4 U8	ok	ok	ok	ok	néant
- V1 MSB D1 D2 D4 D8	ok	ok	ok	ok	néant
- V2 LSB V1 V2 U4 U8	ok	ok	ok	ok	néant
- V2 MSB D1 D2 D4 D8	ok	ok	ok	ok	néant
- V1 LSB V1 V2 U4 U8	néant	néant	néant	néant	ok
- V1 MSB D1 D2 D4 D8	néant	néant	néant	néant	ok
Signal de manoeuvre	ok	ok	ok	ok	ok
Délégation PML	ok	néant	néant	ok	néant
Automate de départ terminus					
- défaut	ok	néant	néant	néant	ok

ANNEXE F

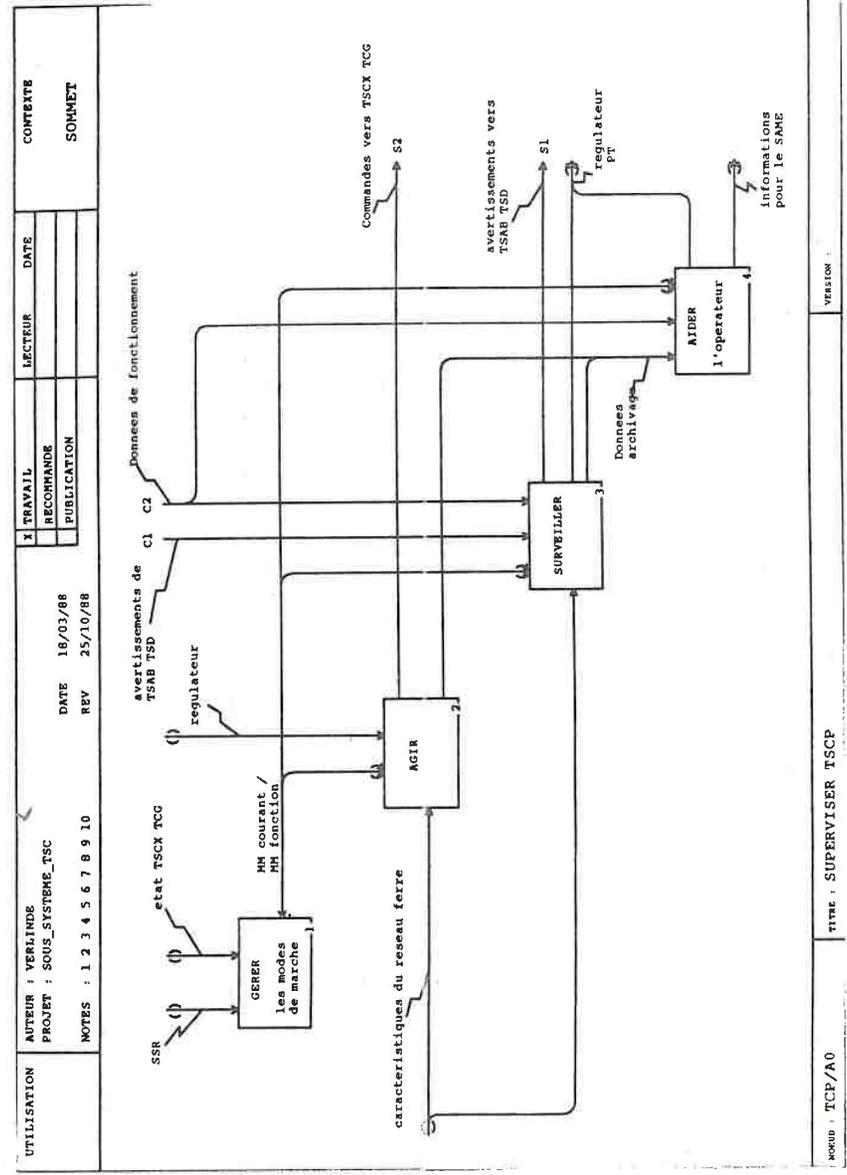
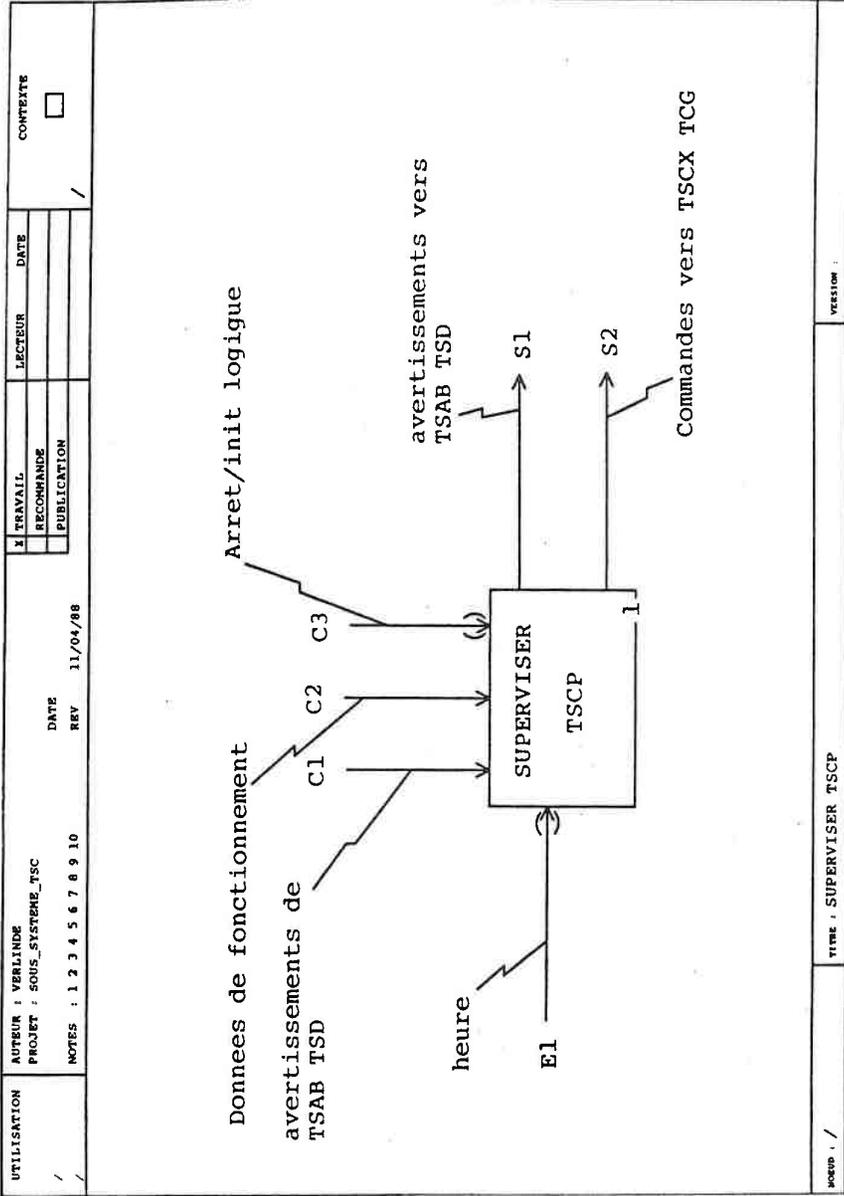
Modèle SADT du poste de travail ligne C

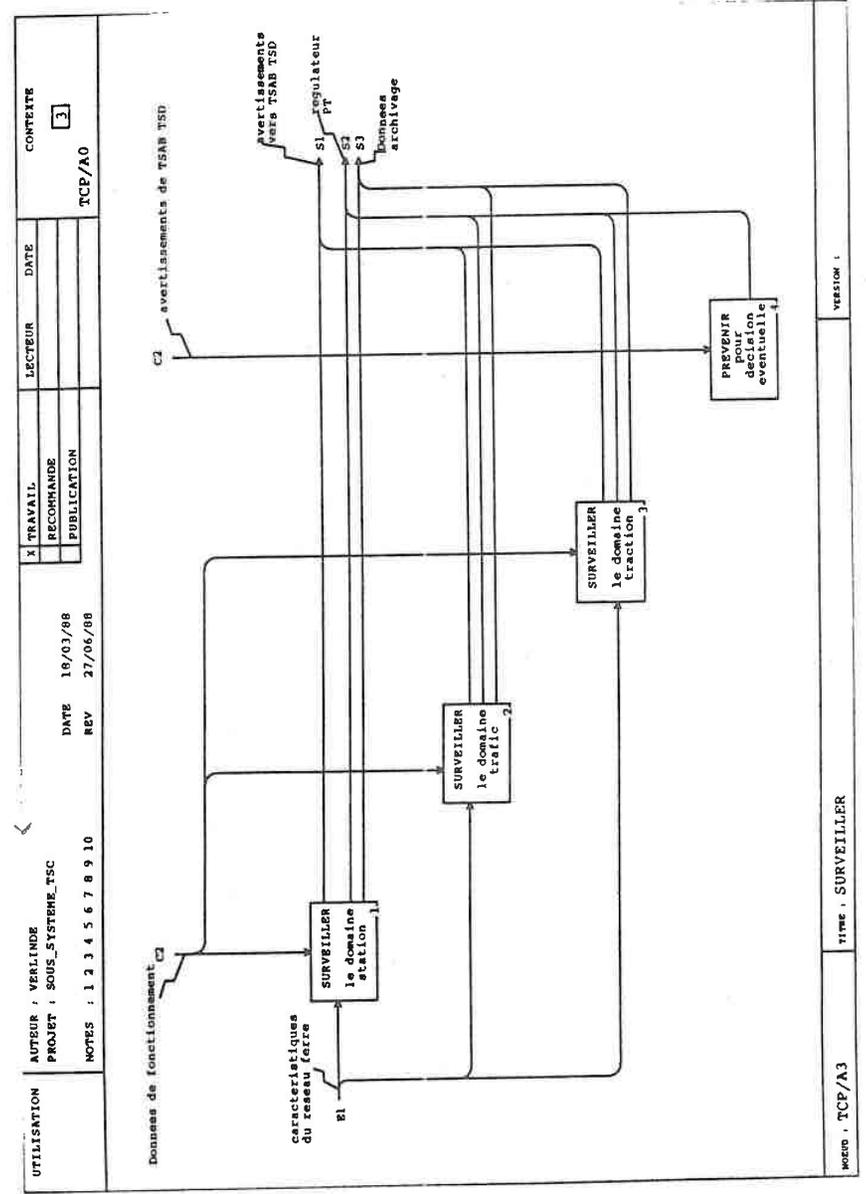
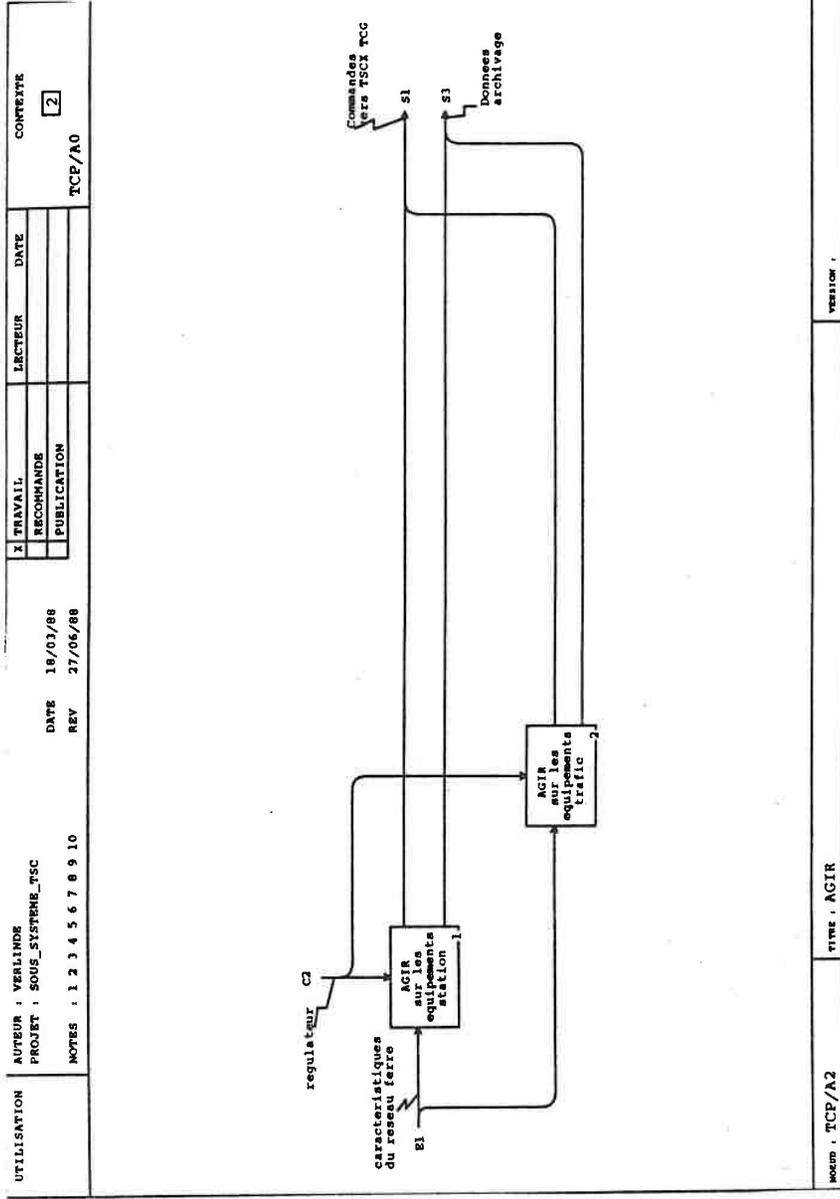


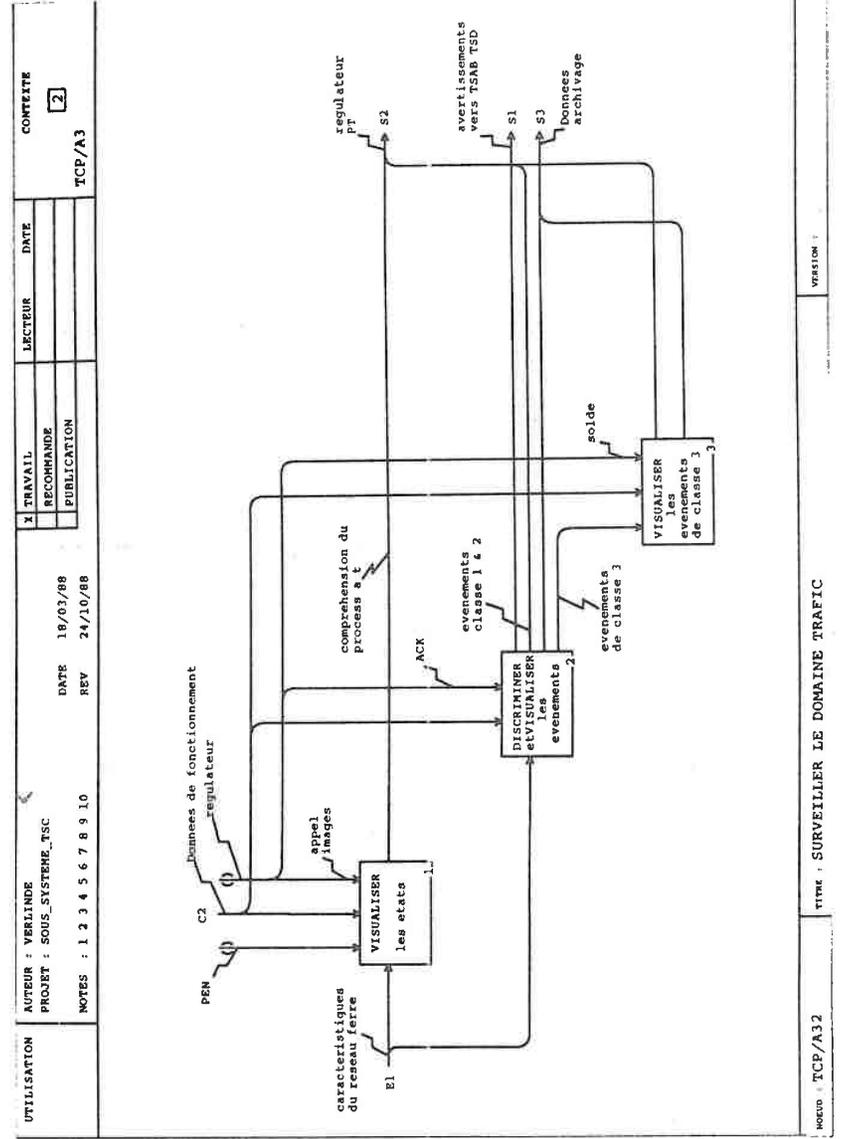
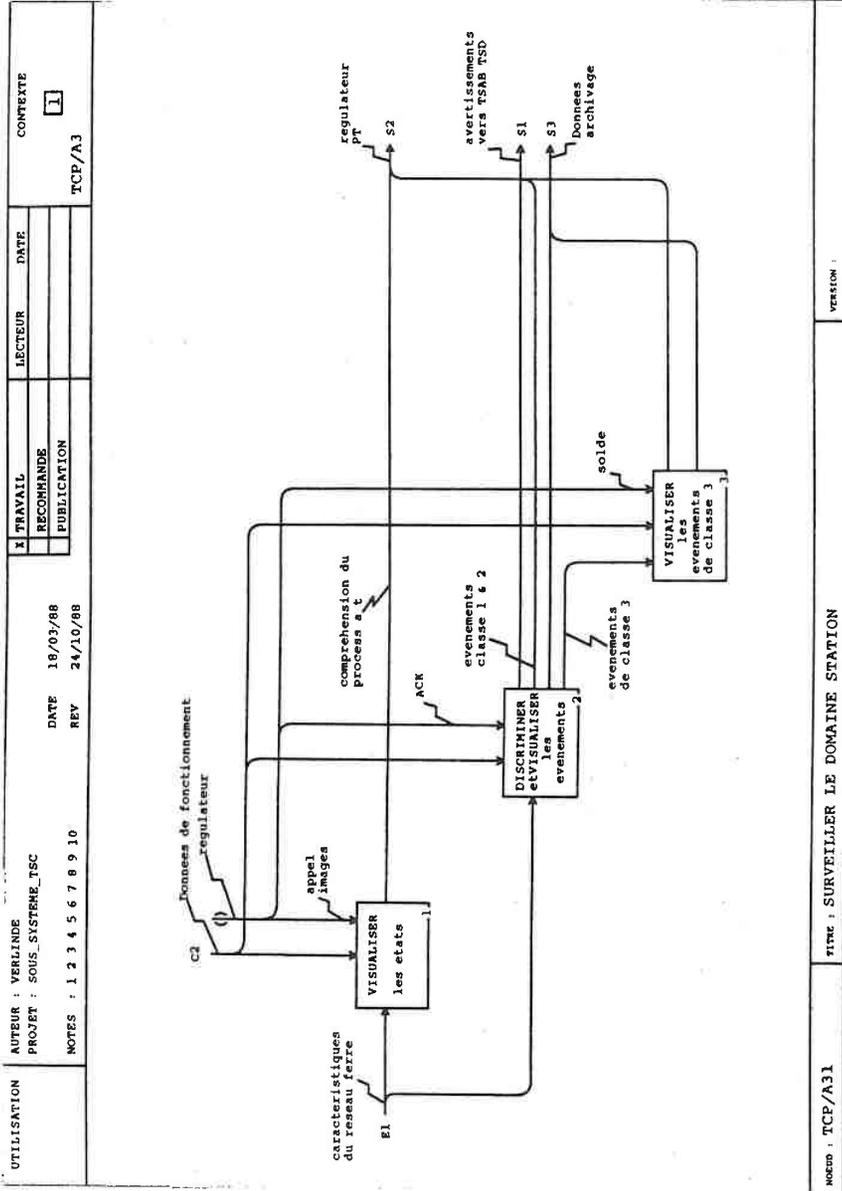
numero : TCP/A-1

TITRE :

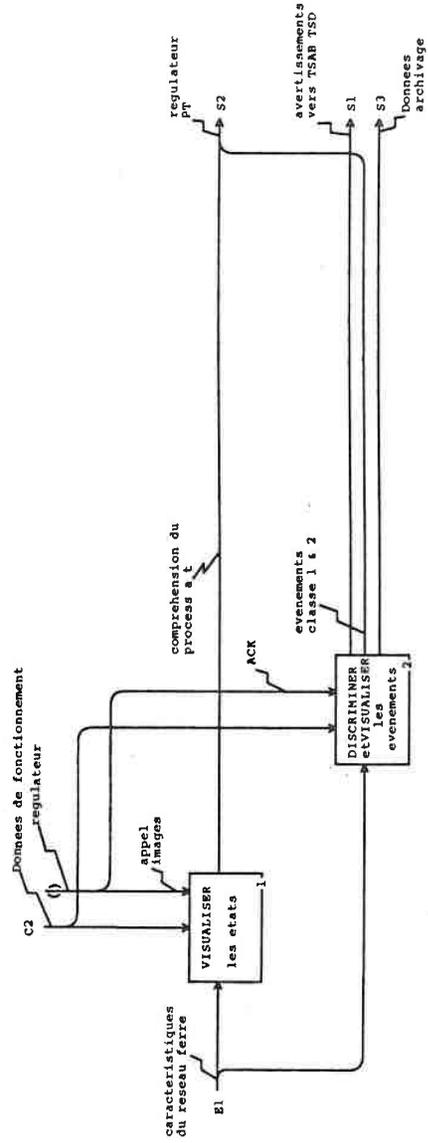
VERSION :







UTILISATION	AUTEUR : VERLINDÉ	DATE	18/03/88	CONTENU	3
	PROJET : SOUS_SISTÈME_TSC	REV	24/10/88		
	NOTES : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10			X TRAVAIL RECOMMANDÉ PUBLICATION	LECTEUR
					DATE
					TCP/A3

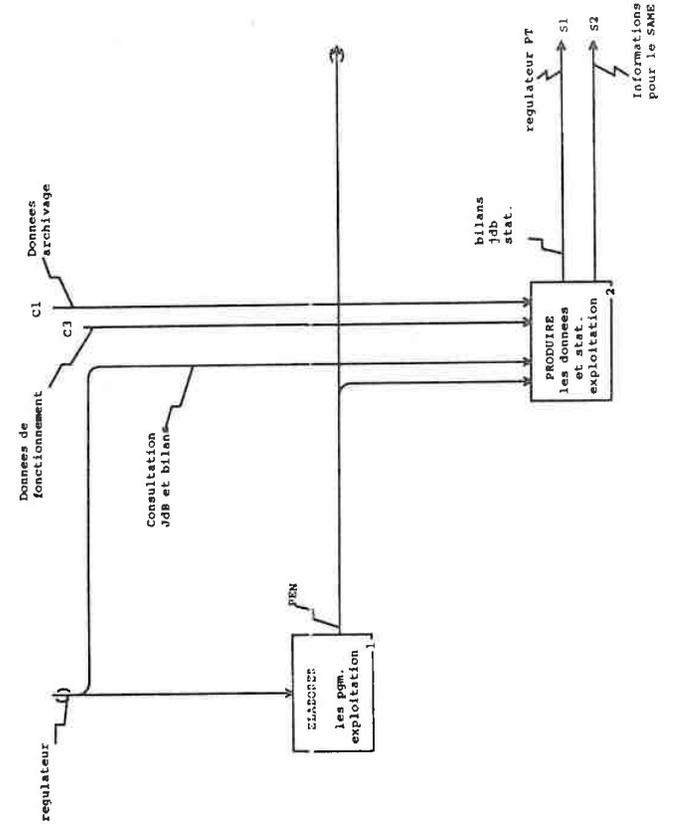


MOUO : TCP/A33

TITRE : SURVEILLER LE DOMAINE TRACTION

VERSION :

UTILISATION	AUTEUR : VERLINDÉ	DATE	18/03/88	CONTENU	4
	PROJET : SOUS_SISTÈME_TSC	REV	25/10/88		
	NOTES : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10			X TRAVAIL RECOMMANDÉ PUBLICATION	LECTEUR
					DATE
					TCP/A0



MOUO : TCP/R4

TITRE : AIDER L'OPERATEUR

VERSION :

Glossaire

"Parlez plus clairement ! dit l'aiglon. je n'entends goutte à tous vos grands mots et, en outre, je crois que vous n'y entendez goutte vous-même!". Et l'aiglon baissa la tête pour dissimuler un sourire; quelques-uns des autres oiseaux firent entendre un petit gloussement.

Lewis CAROLL (Les aventures d'Alice au pays des merveilles)

Termes définis

analyse fonctionnelle
besoin
cahier des charges fonctionnel
complexité
composant logiciel
concepteur-réalisateur
constructeur
contrainte
couche(N)
critère d'appréciation
demandeur
disponibilité
ensemblier
entité
entités homologues
fiabilité
flexibilité
fonction
fonction logicielle
ingénieuriste
logiciel
maintenabilité
matière d'oeuvre
méthode
modèle
modèle fonctionnel
modèle opérationnel
modèle système
modularité
module logiciel
niveau d'appréciation d'un critère
niveau(N)
partie commande
partie opérative
plate - forme
portabilité
procédé
produit
robustesse
service
sous - ensemble
sous - système
supervision
sûreté
système
système automatisé
système élémentaire
systémique
utilisateur
valeur ajoutée

Analyse fonctionnelle [AFN85]

Démarche consistant à recenser, ordonner, hiérarchiser et valoriser les fonctions.

Besoin [AFN85]

Nécessité ou désir éprouvé par un utilisateur.

Cahier des charges fonctionnel [AFN85]

Document dans lequel le demandeur exprime son besoin (ou celui qu'il est chargé de traduire) en terme de fonctions de services et de contraintes. Pour chacune d'elles sont définis des critères d'appréciation et leur niveau. Chacun de ces niveaux est assorti d'une flexibilité.

complexité

Caractéristique d'un système qui traduit une difficulté de compréhension de tout ou partie de celui-ci.

composant logiciel

Unité de découpage à l'intérieur d'un module logiciel. Il est considéré comme une boîte noire dont le rôle et les interfaces sont parfaitement définis.

concepteur-réalisateur [AFN85]

Entité responsable de la conception d'un produit, qui outre les exigences techniques, prend en compte les conditions, coûts et délais de réalisation.

Elle définit les matériels et logiciels, coordonne l'exécution des travaux, intègre et valide le produit.

constructeur

Entité réalisant à partir des exigences de l'ensemblier, les matériels et logiciels. Le constructeur peut aussi proposer des matériels et logiciels dont il dispose et résultant d'une demande antérieure.

contrainte [AFN85]

Limitation à la liberté du concepteur réalisateur d'un produit.

couche(N) [ISO84]

Subdivision de l'architecture, constituée de sous-systèmes de rang(N).

critère d'appréciation [AFN85]

Critère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée.

demandeur [AFN85]

Entité qui recherche un produit, en émet un cahier des charges, en vue de son acquisition et de son utilisation par elle-même ou par d'autres.

Elle participe aux travaux d'étude du produit, ainsi qu'aux opérations de validation et de vérification.

disponibilité

Aptitude d'un système à fonctionner au moment requis.

ensemblier

Voir concepteur-réalisateur.

entité [ISO84]

Élément actif d'un sous-système.

entités homologues [ISO84]

Entités appartenant à une même couche.

fiabilité

Aptitude d'un système à accomplir sans défaillance l'ensemble des fonctions spécifiées dans un document de référence, dans un environnement opérationnel de référence, pour une durée d'utilisation déterminée.

flexibilité [AFN85]

Ensemble d'indications exprimées par le demandeur sur les possibilités de moduler un niveau recherché pour un critère d'appréciation.

fonction [AFN85]

Actions d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimées exclusivement en terme de finalité.

fonction logicielle

Partie d'un logiciel qui assure une fonction dans un sous-système. Elle est constituée d'un ou plusieurs modules logiciels.

ingénieur

Voir concepteur-réalisateur.

logiciel

Ce terme est utilisé au sens de l'ensemble des programmes, et de la documentation s'y rapportant. Il concerne le fonctionnement d'un ensemble de traitement de données et appartient à un même sous-système.

maintenabilité

Aptitude d'un système à autoriser des modifications. Elle se mesure par l'effort requis pour localiser et corriger une erreur ou pour apporter une modification.

matière d'oeuvre

Ensemble regroupant des produits, de l'énergie, de l'information et des êtres humains.

méthode

Démarche permettant l'élaboration d'un modèle à partir d'un ensemble de besoins (cahier des charges).

modèle

Représentation d'un ensemble de besoins (cahier des charges) suivant un formalisme défini.

modèle fonctionnel

Terme désignant le modèle général proposé.

modèle opérationnel

Modèle associé à un système automatisé de production particulier et résultant de l'application des critères, outils et opérations au modèle fonctionnel.

modèle système

Réalisation matérielle du modèle opérationnel.

modularité

Caractéristique du système qui traduit l'indépendance relative de ses sous-ensembles.

module logiciel

On le caractérise par l'ensemble des traitements qu'il effectue et par ses interfaces avec le reste du logiciel, dont il est l'unité de développement et de maintenance.

niveau d'un critère d'appréciation [AFN85]

Niveau repéré dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction. Ce niveau peut être celui recherché en tant qu'objectif ou celui atteint pour une solution proposée.

niveau(N)

Voir couche(N).

partie commande

Ensemble d'objets techniques chargés des tâches de coordination dans un système.

partie opérative

Ensemble des matériels procédant au traitement des matières d'oeuvre afin d'élaborer la valeur ajoutée. Elle est constituée d'un pont de vue élémentaire de capteurs et d'actionneurs.

plate - forme

Ensemble de matériels et de logiciels. La plate-forme de production sert à réaliser le logiciel, les plate-formes d'intégration et de validation permettent de simuler l'environnement des constituants testés.

portabilité

Aptitude d'un système à être transférable d'un environnement matériel ou logiciel à un autre.

procédé

C'est la recette de fabrication réalisée par la partie opérative dans le but d'élaborer la valeur ajoutée.

produit

Ce qui est (ou sera) fourni à un utilisateur pour répondre à son besoin. Dans ce document, le produit qui nous intéresse est le SAP.

robustesse

Aptitude d'un système à assurer la poursuite des opérations sous des conditions non nominales.

service [ISO84]

Capacité que possède la couche(N) et les couches inférieures à celle-ci, fournie aux entités(N+1) à la frontière entre la couche(N) et la couche(N+1).

sous - ensemble (d'un constituant)

Terme générique désignant une partie d'un constituant d'un système.

sous - système

Élément d'une division hiérarchique d'un système n'ayant d'interaction qu'avec les éléments des niveaux immédiatement inférieur et supérieur de cette division.

supervision

Ensemble des besoins en relation homme / machine d'un système. On intègre les points de vue sémantique et syntaxique (ergonomie du dialogue).

sûreté

Caractéristique d'un système qui traduit l'efficacité de ses protections.

système

Ensemble cohérent d'équipements (pouvant contenir du logiciel et du matériel) constitué en vue d'accomplir d'une manière indépendante une mission déterminée.

système automatisé de production (SAP)

Voir système.

système élémentaire

Il définit le plus petit élément identifiable de la partie opérative, soit : les capteurs et les actionneurs.

systemié

Voir concepteur-réalisateur.

utilisateur

Demandeur utilisant le produit qu'il a acquis.

valeur ajoutée

Objectif global du système associé à la matière d'oeuvre.

BIBLIOGRAPHIE

Documents du domaine publique

Documents CSEE

Documents du domaine public

- Articles
- Ouvrages
- Thèses
- Normes
- Rapports
- Actes - congrès

Articles

- [ASV87] **Commande d'atelier : un compromis est-il possible entre une approche graphique et une approche intelligence artificielle ?**
H. Atabakhche - D. Simonetti-Barbalho - R. Valette - M. Courvoisier
RAIRO API - vol 21 n°4 1987
- [BIM87] **Conception d'une future régulation du trafic**
H. Bimmermann
Rail international - juillet 1987
- [BIN84] **Commande multimodée et commande décentralisée coordonnée**
Z. Binder
RAIRO Automatiques/Systems analysis and control Vol 18 n° 2 - 1984
- [BJK88] **ESML : An extended systems modeling language based on data flow diagram**
W. Bruyn - R. Jensen - D. Keskar - P. Ward
ACM Sigsoft software engineering notes Vol 13 n° 1 jan 1988
- [BYA85] **Requirement definition architecture - An overview**
R.R. Bravao - S.B. Yadav
Computer in industry 6 - 1985
- [CDG87] **ESTELLE : Un langage ISO pour les algorithmes distribués et les protocoles**
JP. Courtiat - P. Dembinski - R. Groz - C. Jard
TSI Vol 6 n° 2 1987
- [CHO85] **Techniques et aspects du prototypage**
C. Choppy
Bigre n° 43 - 44 - juillet 1985
- [CVP87] **Distributed emulation of FMS**
M. Courvoisier - R. Valette - J.C. Pascal - D. Barbalho - Y. Baudin - K. Benzakour
IEEE - International conference on industrial electronics - IECON87, november 87
- [DVC86] **MLC : a language for the specification of the FMS control systems**
C. Desclaux - R. Valette - M. Courvoisier - A. Sahraoui - D. Barbalho
SOCOCO '86 - May 20-23, 1986
- [HEK87] **Experience with evolutionary prototyping in a large software project**
S. Hekmatpour
ACM Sigsoft software engineering notes Vol 12 n° 1 jan 1987
- [HZE79] **The relationship between design and verification**
H. Hamilton - S. Zeldin
The journal of systems and software 1 - 1979

- [JLE86] **A proposed hierarchical Control Model for Automated Manufacturing Systems**
A.T. Jones - C.R. McLean
Journal of manufacturing systems - Vol 5 N°1 1986
- [GOM84] **A software design method for real - time systems**
H. Gomaa
Communication of the ACM Vol 27 n° 9 - Sept 1984
- [GOM86] **Software development of real - time systems**
H. Gomaa
Communication of the ACM Vol 29 n° 7 - July 1986
- [KPB85] **Conduite décentralisée coordonnée d'atelier**
G. Kallel - X. Pellet - Z. Binder
RAIRO APII Vol 19 n° 4 - 1985
- [MAN87] **A presentation and comparison of four information systems development methodology**
P.V.Mannino
ACM sigsoft software engineering notes - vol 12 n°2 avril 1987
- [PAR72] **On the criteria to be used in decomposing systems into modules**
D.L. Parnas
ACM Vol 15 n° 12 - Dec 1972
- [PSC76] **The entity relationship model - toward an unified view of data**
P. Pin Shan Chen
ACM transactions on data base systems Vol 1 n° 1 - March 1976
- [RKS77] **Structured Analysis for requirements definition**
D.T. Ross - K.E. Schoman Jr
IEEE Transactions on software engineering Vol SE - 3 n° 1 - Jan 77
- [RLA87] **Structuration de la partie commande d'un système automatisé**
M.Roesch - C.Laurent
Electronique industrielle n°119 - 1 / 2 / 87
- [ROS77] **Structured Analysis (SA) : A language for communicating ideas**
D.T. Ross
IEEE Transactions on software engineering Vol SE - 3 n° 1 - Jan 77
- [ROS85] **Applications and extensions of SADT**
D.T. Ross
IEEE Computer Vol 18 n° 4 - April 1985
- [SHE87] **Systems analysis : A systemic approach of a conceptual model**
I.Shermer
Communication of the ACM - june 1987 vol. 30 number 6
- [VRA88] **Investissements 18 milliards pour la route, 6 milliards pour le rail**
La vie du rail n°2162 - 29 septembre 1988

Ouvrages

- [BGN80] **Introduction à la sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques**
JP. Baconnet - B. Girard - S. Natkin
Monographie d'informatique de l'AFCEC - 1980
- [BON..] **Les ateliers flexibles de production**
R. Bonetto
Ed. Hermes
- [BRA83] **Réseaux de pétri : théorie et pratique - tomes 1 & 2**
G.W Brams
Masson 1983
- [COV86] **Commande des processus discontinus - logique séquentielle**
M. Courvoisier - R. Valette
Dunod universités - 1986
- [DBP..] **La GPAO**
G. Doumeings - D. Breuil - L. Pun
Ed. Hermes
- [DES66] **Discours de la méthode**
R. Descartes
Garnier - Flammarion - 1966
- [DUR83] **La systémique**
D. Durand
Que sais-je n°1795
- [GRE85] **Le GRAFCET - de nouveaux concepts**
GREPA
Cepadues - éditions 1985
- [JAC75] **Principles of program design**
M.A. Jackson
Academic press 1975
- [LEM78] **La théorie du système général**
J.L.Lemoigne
Presses universitaires de France - 1978
- [TIT75] **Commande hiérarchisée et optimisation des processus complexes**
Titi
Ed. Dunod 1975
- [TRC83] **La méthode Mérisé**
H. Tardieu - A. Rochfeld - R. Colletti
Les éditions d'organisation 1983

Thésés

- [BAR87] **Conception et mise en oeuvre de la fonction coordination pour une commande distribuée d'atelier**
D. Simonetti Barbalho
Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse - 1987
- [DOU84] **Méthode GRAI : Méthode de conception des systèmes en productique**
G. Doumeings
Thèse d'état, Université de bordeaux I
Laboratoire GRAI 1984
- [LAD82] **Contribution à l'étude des systèmes informatiques répartis pour la commande des procédés industriels**
P. Ladet
Thèse de docteur d'état Es - science, INPG - Juin 1982
- [LHO85] **Exploitation des systèmes automatisés Ex.A.O : Proposition d'une approche méthodologique et d'outils d'assistance**
P. Lhoste
Thèse de docteur Ingénieur Université Nancy I
Laboratoire d'automatique CRAN 1985
- [MAM85] **Conception d'applications réparties en commande de processus : une approche par la structuration des données**
Z. Mammeri
Thèse de doctorat en informatique INPL juin 1985
- [SSC80] **Evolutivité du logiciel**
Sok Sakhonn - Chak
Thèse de doctorat de 3° cycle - Sept 1980
- [THO80] **SYGARE : Une structuration pour la conception d'applications en temps - réel et réparties**
JP. Thomesse
Thèse d'état, INPL, Université de Nancy I - Mai 1980
- [ZAK84] **Langage de conception d'applications de conduite de procédés industriels - Contribution à l'étude de la communication entre processus coopérants**
A. Zakari
Thèse de doctorat de 3° cycle, université de Nancy I - Mars 1984

Normes

- [AFN81] **Réseaux informatiques - Introduction à l'interconnexion des systèmes ouverts**
AFNOR - BNI 1981
- [AFN84] **Guide pou l'élaboration d'un cahier des charges fonctionnel**
Normalisation Française : AFNOR X50-151
Juin 1984
- [AFN85] **Analyse de la valeur : Vocabulaire**
Normalisation Française : AFNOR X50-150
Mai 1985
- [ISO84] **Système de traitement de l'information - Interconnexion de systèmes ouverts - Modèle de référence de base**
ISO 7498 - 1984

Rapports

- [ADE...] **Le GEMMA**
ADEPA
- [ALE85] **Evaluation d'un dispositif d'assistance à l'opérateur dans le secteur industriel**
D. Alengry
Rapport de recherche - INRIA n° 437 - Aout 1985
- [ALN...] **Modèle conceptuel structurant de système de fabrication**
M. Aldamondo - D. Noyes
ENI - Labo de génie de production - Tarbes
- [ATC87] **Advanced Train Control Systems - Specification 100 - Overview system architecture**
Draft3 - July 1987
- [BCG...] **Système réactif et programmation synchrone**
G. Berry - P. Couronné - G. Gonthier
GRECO C3, Pôle langages
- [BRG87] **Le modèle relationnel pour les données de la production**
A. Bruyant - D. Gateau
Rapport de recherche INRIA n°711 - sept 87
- [BRO87] **Specification of a railway system**
M. Broy
Universität Passau - MIP - 8715 - August 87
- [CAL83] **Qualité des logiciels - l'ère industrielle**
Jim Mc Call
IGL - 27 / 28 Avril 83 - Hotel Nikko Paris
- [CEN88] **CEN/CENELEC report**
Secretariat of AMT/WG - Architecture Danish Standards Association
Draft intermediate evaluation report - 1988
- [CMN86] **Les langages orientés objets**
D. Colnet - G. Masini - A. Napoli - Y. Noiret - K. Tombre
CRIN - 86 - R - 077
- [DFI79] **Types abstraits de données : Spécification, utilisation et réalisation**
J.C. Derniame - J.P. Finance
Ecole d'été de l'AFCEC, Monastir - CRIN - 79 . E . 57
- [DGL84] **Surveillance et contrôle en ligne du fonctionnement des rames de métro**
R. Descotes Genon - E. Luca - B. Picard d' Estalan - G. Poncet
INPG - LAG 84

- [DIN84] **Surveillance et diagnostic des systèmes industriels automatisés**
DINOV (Société pour la diffusion de l'innovation)
Paris 9 - 11 Octobre 1984
- [DUQ87] **La modélisation d'une application par différents langages de spécification**
D. Duquenne
Mémoire de diplôme d'ingénieur CNAM - centre régional associé de Nantes - mai 1987
- [DZA83] **Spécification d'application de conduite d'ateliers flexibles**
J.C. Derniame - A. Zakar
CRIN - 83 - R - 048
- [ETS85] **Extension de SADT aux techniques de simulation**
IGL - 18 / 10 / 85
- [GTF85] **Génération de tests fonctionnels à partir d'une spécification SADT**
IGL - 22 / 10 / 85
- [KSA..] **Oligarchical control of distributed processing systems**
M. Krieger - N. Santoro
- [MAC85] **Guide du concepteur MACH**
IGL 1985
- [MEA85] **SADT et modélé entité - association**
IGL - 18 / 10 / 85
- [PMS87] **Présentation de la méthode SADT**
C. Verlinde
Support de cours ENSEM - Octobre 1987
- [SAP85] **Systèmes Automatisés de Production**
C. Verlinde
Support de cours ENSEM - Février 1987
- [THI...] **FLEXI : Système de développement d'applications réparties**
J.J. Thiel
CERILOR

Actes - congrès

- [AFC86] **Méthodes et outils modernes de conception et d'exploitation de la commande de procédé discontinus complexes**
AFCET Automatique - Conférences
Montpellier - 6 / 7 Mars 1986
- [AFC88] **Systèmes hiérarchiques et complexité**
AFCET - journée d'étude du groupe de travail du collège systémique
Paris - 10 octobre 1988
- [APF86] **Etude et implémentation des modes opératifs de système de production automatisée**
Y. Anakok - J.L. Plagnol - J.P. Frachet
Communication BI-4 - convention automatique productique 1986
- [BOU85] **Méthodes automatisées : des progrès dans la mise en oeuvre des outils méthodes**
N. Bouteille
Communication AI-4 - convention automatique productique 1985
- [CIM87] **Computer Integrated Manufacturing**
ESPRIT programme - Sub-programme 5
CEE - June 1987
- [HBB87] **Les flux d'informations dans un système de production**
A. Haurat - C. Braesch - O. Bobrowicz
Communication VII-4 - convention automatique productique 1987
- [OSA87] **CIM-OSA (project 688) a primer on key concepts and purpose**
J. Vlietstra
ESPRIT programme - 1987
- [PRD87] **Transport guidés, systèmes automatisés et communication**
Colloque programme de recherche et de développement technologique dans les transports terrestres (PRDTT)
AFCET - Paris - 3, 4, 5 février 87
- [VGT89] **A service oriented hierarchical model for the design of subway control system (à paraître)**
C. Verlinde - E. Georgel - J.P. Thomesse
CCCT'89 - 19/21 Sept. 89 - Paris

(VITAMIN P 1556)

Documents CSEE

- généraux
- MAGGALY

Documents généraux

- [ABS85] **Analyse des besoins des sites du réseau SNCF**
B. Peron
Novembre 1985
- [ACA86] **Animation de courbes sur Afigraf 2090**
C. Verlinde
Juin 1986 - PR-DTR-AUT-STAT-01.N.163
- [DEP86] **Description externe des postes de travail**
M. Rosset
Février 1986 - OP-D.0023
- [DPS86] **Réponse au dossier "Poste superviseur"**
JL. Peron - F. Niclause
Janvier 1986 - SS/STR/DIR/PR/730.007/LJI
- [PSI85] **Principes de signalisation**
M. Lang
1985
- [RSI87] **Rapport de synthèse intermédiaire - Convention CIFRE n° 85077**
C. Verlinde
Juin 1987 - CEO/DTR/AAE/VER/445.049/87
- [SPC86] **Superviseur de processus industriels - Concepts généraux - Analyse fonctionnelle globale (1° phase)**
C. Verlinde
Avril 1986 - PR-DTR-AUT-STAT-01.N.149
- [SPI86] **Superviseur de processus industriels (SPI) - Analyse préliminaire - Approche fonctionnelle**
C. Verlinde
Janvier 1986 - PR-DTR-AUT-TEC-01.N.119
- > [SSP..] **"Système de supervision" de processus industriels - Réflexions préliminaires - Approche méthodologique**
E. Geogel
PR-DAT-01.N.039

MAGGALY

- [AFU86] **AFUG : Analyse Fonctionnelle Générale Système**
Groupement
Mai 1986 - KIT34
- [DGS86] **Description générale système**
D. Cauchy
Novembre 1986 - LB66/LY/E40460/86/SA/NT
- [SEE88] **Spécification externe des ECC**
T. Chappe
Septembre 1988 - CHA/DTR/AIT/CHP/50.867
- [SEP87] **Spécifications externes du système PCC**
D. Cauchy
Avril 1987 - CEO/AAE/SAE/CY/440.000
- [SES88] **Spécifications externes système TSC**
M. Lardy
Janvier 1988 - CEO/AAE/LY 440.200 Ed 2
- [SIS87] **Spécifications internes du système PCC**
JM. Hanriot - J.P. Deysson
Avril 1987 - CEO/AAE/HAN/440.053
- [SOP87] **Spécification de l'organisation du PCC**
D. Cauchy
Aout 1987 - CEO/AAE/CY/440.273
- [SPT88] **Spécification externe poste de travail ligne C**
H. Sarrazin - C. Verlinde
Juin 1988 - CHA/DTR/AIT/SA/S04875/88

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I

*Problématique des systèmes Automatisés de Production
Présentation des process transport*

INTRODUCTION

1. La problématique	2
1.1. Les problèmes des utilisateurs	3
1.1.1. L'environnement	3
1.1.2. Adaptation à une large gamme de parties opératives	4
1.1.3. Hétérogénéité du matériel	4
1.1.4. Hétérogénéité du logiciel	4
1.1.5. Evolutivité dans le temps d'une configuration	5
1.1.6. Ergonomie et adaptabilité de l'interface opérateur	5
1.2. Les solutions constructeurs	5
1.2.1. Diversité des solutions	5
1.2.2. Organisation des solutions	6
1.2.2.1. Le niveau 1	6
1.2.2.2. Le niveau 2	6
1.2.2.2.1. La conduite	6
1.2.2.2.2. Le contrôle	7
1.2.2.2.3. L'aide à la conduite et au contrôle	7
1.2.2.3. Le niveau 3	7
1.3. La problématique de l'ingénieur	8
1.3.1. Réponse aux appels d'offres	8
1.3.2. Le développement du système	8
1.3.2.1. La méthode SADT (Structured Analysis and Design Technic)	9
1.3.2.2. La méthode Merise	9
1.3.2.3. Le modèle entité - association	9
1.3.2.4. Grafcet / Réseaux de Pétri	9
1.3.2.5. Le GEMMA (Guide d'Etude des Modes de Marche et d'Arrêt)	9
1.3.3. La méthodologie standard de développement	10
1.3.3.1. Définition d'un constituant	12
1.3.3.1.1. Analyse du contexte	12
1.3.3.1.2. Spécification fonctionnelle	12
1.3.3.2. Conception d'un constituant de système	12
1.3.3.2.1. Conception fonctionnelle	12
1.3.3.2.2. Conception physique	12
1.3.3.3. Réalisation	13
1.3.3.4. Intégration	14
1.3.3.5. Validation	14
1.3.3.6. Qualification / Opération de vérification	14
1.3.3.7. Maintenance logicielle	14
2. Présentation des process transport	15
2.1. La SNCF	15
2.1.1. Les équipements de voie	15
2.1.2. Les gares	16
2.1.3. Les classes d'équipements	16
2.1.3.1. Les équipements énergie-traction	16
2.1.3.2. Les équipements station	17
2.1.3.3. Les équipements trafic	17
2.2. Le métro de l'agglomération Lyonnaise	17
2.2.1. Les caractéristiques de régulation	19
2.2.2. Présentation détaillée	19
2.2.2.1. Les types de sites	19
2.2.2.1.1. Le poste de commande centralisé (PCC)	19
2.2.2.1.2. Les stations	21

CONCLUSION**CHAPITRE II***Concepts de base du modèle général***INTRODUCTION**

1. Besoin d'un modèle hiérarchisé	32
1.1. L'approche systémique	32
1.2. Principes de la structuration en couches	33
1.2.1. Sous-système (N)	33
1.2.2. Couche (N)	33
1.2.3. Entité (N)	34
1.2.4. Entités homologues	34
1.2.5. Service (N)	34
1.3. Expression de la coordination dans le modèle multiniveaux	34
1.3.1. L'approche coordonnée	34
1.3.2. L'approche coopérante	35
1.3.3. Le choix d'une représentation	36
1.3.4. Conséquences du second concept	36
2. Modélisation de la partie opérative	39
2.1. Notion de Système Élémentaire (SYEL)	39
2.2. SYEL fondamentaux	40
2.2.1. Actionneur élémentaire - effecteur	40
2.2.2. Capteur élémentaire	41
2.3. Notion de domaine	42
3. Modèle général	43
4. Spécification des entités	44
4.1. Spécification externe	44
4.1.1. Définitions	44
4.1.2. Echanges d'informations entre entités mère-fille	46
4.1.3. Services et entités	46
4.2. Spécification interne	47
4.2.1. Vecteur d'état d'une entité	47
4.2.2. Notion de fonction	47
4.2.3. Coopération inter-fonctions	48
4.3. Hypothèse sur l'échange d'informations entre fonctions	50
5. Modélisation des entités	51
5.1. Définition des espaces d'une entité	51
5.2. Modélisation des traitements	52
6. Conclusion sur le modèle	59
7. Exemple d'application	60
7.1. Description générale	60
7.2. Modélisation	60

CHAPITRE III
Utilisation du modèle
La démarche du concepteur

INTRODUCTION

1. Les outils	70
1.1. Classification des informations	70
1.2. Identification des domaines	71
1.3. Le masquage d'information	73
2. Les opérations de transformation	74
2.1. Agrégation de systèmes élémentaires	74
2.2. Fusion d'entités - partitionnement	76
2.2.1. Principe	76
2.2.2. Mise en oeuvre de la fusion	78
2.2.3. Partitionnement	78
2.3. Décomposition - Composition	79
2.4. Généralisation - Spécialisation	81
3. Les critères de construction du modèle opérationnel	82
3.1. La simplification d'un problème	82
3.2. La topologie	82
3.2.1. Les processus de type répartis	82
3.2.2. Les processus localisés	85
3.3. Le besoin de coordination	87
3.4. Critère de mode de marche	92
3.4.1. Présentation	92
3.4.2. Extension de la notion de mode de marche	93
3.4.2.1. Définition des modes de marche	93
3.4.2.2. Définition des transitions	95
3.4.2.3. Gestion des modes de marche	95
3.4.3. Le critère de mode de marche	96

CONCLUSION**CHAPITRE IV**

Fonctions de base d'un Système Automatisé de Production
Application au poste de travail ligne C

INTRODUCTION

1. Les fonctionnalités automatisées	107
1.1. Caractérisation des flux	107
1.1.1. Objectif	107
1.1.2. Consigne	107
1.1.3. Commande	108
1.1.4. Bilan	108
1.1.5. Evénement	108
1.1.6. Etat	108
1.1.7. Représentation externe de l'entité	109
1.2. Caractérisation des fonctions	109
1.2.1. Fonctions d'exploitation	110
1.2.1.1. Commander	110
1.2.1.2. Contrôler	110
1.2.1.3. La gestion des modes de marche	110

1.2.1.4. Conduire	111
1.2.2. Fonctions hors exploitation	112
1.2.2.1. La maintenance	112
1.2.2.2. La configuration	113
1.2.3. Représentation interne	113
2. La supervision	114
2.1. Spécification de la supervision	115
2.1.1. Les flux	115
2.1.2. Les fonctions	116
2.2. Coopération avec les fonctions de la partie automatisée	117
2.3. Modèle général	120
3. Application au poste de travail ligne C	121
3.1. Modèle général dans les process transport	122
3.2. Cas de la ligne C	123
3.2.1. Répartition des fonctions de la partie automatisée	126
3.2.2. La supervision	128
3.2.2.1. Niveau gare	128
3.2.2.2. Niveau ligne	132
CONCLUSION	
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	137
ANNEXES	141
<u>Annexe A</u> : Parties opératives et organisations de production dans le domaine manufacturier	(A/1..A/4)
<u>Annexe B</u> : Spécification interne de l'entité aiguille	(B/1..B/5)
<u>Annexe C</u> : Présentation de la méthode SADT	(C/1..C/4)
<u>Annexe D</u> : Synthèse du cahier des charges ligne C	(D/1..D/7)
<u>Annexe E</u> : Répartition des informations de surveillance ligne C	(E/1..E/8)
<u>Annexe F</u> : Modèle SADT du poste de travail ligne C	(F/1..F/12)
GLOSSAIRE	(G1/1..G1/6)
BIBLIOGRAPHIE	(Bi/1..Bi/12)



**AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE**

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :

Monsieur COURVOISIER, Professeur, LAAS Toulouse,
Monsieur DERNIAME, Professeur CRIN/Université de Nancy I

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine,
autorise :

Monsieur VERLINDE Christian

à soutenir devant l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE
LORRAINE, une thèse intitulée :

"Contribution à l'étude des architectures de systèmes automatisés"

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : "Informatique"

Fait à Vandoeuvre le, 3 Février 1989

Le Président de l'I.N.P.L.,

M. CANOIS

Résumé

L'intérêt suscité à l'heure actuelle par le concept d'usine intégrée (CIM) constitue un vaste sujet couvrant aussi bien les réseaux de communication et leur normalisation que le choix de méthode de conception. Le Système Automatisé (SA) constitue l'un des éléments essentiels de l'entreprise. Il regroupe l'ensemble des fonctions (matériel et logiciel), permettant la réalisation des objectifs fixés. L'étude proposée présente une démarche de spécification d'un SA, indépendamment du type de process.

L'intégration des contraintes de systèmes automatisés: besoin de hiérarchie dans la représentation des fonctions utilisateur, modélisation de la partie opérative, gestion des modes de marche... introduit un modèle générique instanciable pour différents types de systèmes.

Le modèle proposé de type arborescent-multiniveaux, est construit à l'aide d'un langage graphique simple. L'utilisation de fonctions et de flux génériques pour représenter le constituant de base du modèle (l'entité) et les interactions entre ces constituants, permet d'assurer la cohérence et la complétude de la représentation.

La validation du modèle obtenu est envisageable grâce à la spécification des fonctions en termes d'automates séquentiels.

On dispose d'un modèle permettant de donner une représentation du cahier des charges dans un formalisme générique facilitant le travail du concepteur.

La mise en oeuvre des concepts présentés s'est effectuée dans le cadre industriel de la spécification d'un poste de travail opérateur pour le projet métro de Lyon, mettant ainsi en évidence la viabilité de la démarche.

Mots clés : Système Automatisé de Production, spécification, modèle, modélisation de la partie opérative, modes de marche, hiérarchie.