

# SPÉCIFICATION FONCTIONNELLE DU CONTRÔLE-COMMANDE DE TRANCHE NUCLÉAIRE

Laurent PIETRAC<sup>†</sup>, Jean-Jacques LESAGE<sup>†</sup> et Guy TIMON<sup>†</sup>

François CHERIAUX<sup>‡</sup> et Marc BRUNET<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Laboratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisée

61, avenue du président Wilson 94235 Cachan cedex FRANCE

Tél. : (33-1) 47-40-22-15, FAX : (33-1) 47-40-22-20.

<sup>‡</sup> Electricité De France / Direction des Etudes et Recherches

Département contrôle-commande des centrales

6 quai Watier 78400 Chatou FRANCE

Tél. : (33-1) 30-87-79-20, FAX : (33-1) 30-87-78-01.

*Résumé : EDF mène actuellement un important programme de restructuration et de formalisation du cycle de développement de la commande de ses installations nucléaires et thermiques classiques. Dans ce cadre, cet article présente la synthèse d'une étude réalisée par le LURPA pour le compte d'EDF portant sur l'analyse fonctionnelle du contrôle-commande de ses installations. Pour mener à bien ce travail, il a été retenu de procéder d'une part à une étude de cas sur un sous-ensemble de tranche nucléaire jugé représentatif - le circuit de contrôle chimique et volumétrique (RCV) - et d'autre part à une recherche bibliographique portant sur quelques techniques de spécification. La représentation fonctionnelle des parties mécaniques et du contrôle-commande du circuit RCV a été réalisée en utilisant les modèles SADT (actigrammes), MERISE (essentiellement MCD et MOT), GEMMA, OBJET (OOA), GRAFCET et SA-RT.*

## INTRODUCTION

### Contexte de l'étude

ELECTRICITE DE FRANCE (EDF) mène actuellement un vaste projet de conception de nouvelles centrales nucléaires innovantes, notamment sur le plan du contrôle-commande. Dans le cadre de ce projet, EDF et le LURPA ont signé une convention de recherche dont l'objectif était de constituer une base documentaire permettant d'évaluer l'intérêt et les limites des méthodes d'analyse fonctionnelle pour la modélisation des parties mécaniques d'une part, et du contrôle-commande d'autre part, des installations nucléaires et thermiques classiques d'EDF.

Le cycle de conception de la commande de ces centrales peut très schématiquement être repré-

senté sous la forme du diagramme de la fig. 1 (ce diagramme ne tient pas compte des éventuels retours effectués entre plusieurs phases de ce cycle). Notre objectif était d'étudier les possibilités de formalisation des phases "Description textuelle du processus" (1) et "Description textuelle des fonctions de contrôle-commande par organe" (2) (cf. fig. 1). Cet article ne présente qu'une synthèse de la seconde partie de ce projet. Celle-ci s'inscrit dans la phase "Description textuelle des fonctions de contrôle-commande par organe" (en gras sur la fig. 1) dont les résultats ne sont actuellement exprimés que sous une forme textuelle.

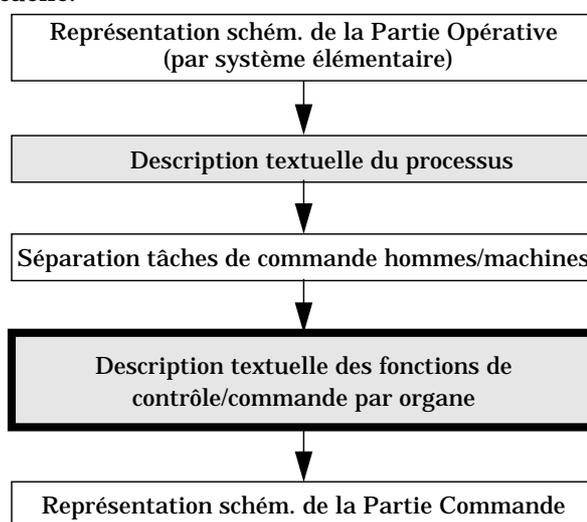


Fig. 1 : Cycle simplifié de conception de la commande des centrales électriques

### Conduite de l'étude

Cette étude s'est déroulée en deux étapes :

- la réalisation d'une étude de cas - le circuit de contrôle chimique et volumétrique (RCV) - proposée par EDF. Nous avons pour cela cons-

truit des modèles partiels de spécification du contrôle-commande par organe du circuit RCV. Les techniques de modélisation qui ont été choisies pour cette étape étaient des techniques déjà connues d'EDF et que le LURPA avait utilisées pour des études de cas antérieures. Il s'agit de SADT (actigrammes uniquement), MERISE (modèles conceptuels), GEMMA, OBJETS (OOA), GRAFCET et SA-RT.

- une recherche bibliographique destinée à identifier quelques autres techniques de modélisation pouvant répondre à l'objectif fixé. Pour ce faire nous nous sommes tournés vers des techniques issues des industries de process continu et vers des techniques de modélisation fonctionnelle récentes, d'origine étrangère et encore relativement peu pratiquées dans les milieux universitaires et industriels français. Notre choix s'est ainsi porté sur quatre d'entre elles : les Statecharts, les Bond-Graphs, les Flow-models et la norme NF E 04-203.

Pour la construction des modèles portant sur le circuit RCV, l'approche retenue a pris en compte l'expertise du LURPA dans la manière d'élaborer de telles études de cas (3) (4). C'est pourquoi l'ordre de construction des modèles a-t-il été le suivant :

- SADT (5) qui est une méthode adaptée pour donner une vue globale et structurée d'une spécification textuelle,
- GEMMA (6) qui constitue un excellent moyen de vérification de la complétude de la description fournie des modes de marches et d'arrêts d'un système de production,
- GRAFCET (7) qui permet de modéliser de manière très ergonomique l'aspect dynamique de la partie discrète du processus. Cet aspect dynamique est d'ailleurs très développé dans le dossier RCV,
- OBJET (OOA) (8) qui donne une bonne image de la structure physique du système étudié,
- SA-RT (9) qui est une approche multi-modèles au taux de couverture particulièrement large et qui permet d'aborder à la fois les aspects fonctionnels, dynamiques et informationnels d'un système.

Enfin, les deux approches suivantes ont été utilisées en parallèle avec les techniques décrites

précédemment :

- le Modèle Conceptuel de Données de MERISE (10) qui permet de décrire l'ensemble des données du système,
- un modèle de traitements de MERISE (plus précisément les MOT) qui permet de décrire l'ensemble des traitements de données effectués par le système.

Dans la suite de cet article nous allons tenter de dégager les apports de l'étude réalisée sur le circuit RCV. Nous ne présenterons naturellement pas l'ensemble des modèles, cependant quelques extraits en seront présentés afin d'étayer nos remarques sur l'intérêt et les limites des techniques de modélisation constatées dans cette étude de cas.

## LE SYSTÈME ÉTUDIÉ

### Le type de centrale étudié

Le circuit RCV fait partie des centrales à eau pressurisée à deux circuits principaux (primaire et secondaire) dite de type REP, de puissance électrique 900 MW par tranche. Bien qu'une centrale soit constituée de plusieurs tranches identiques (quatre ou huit), les interactions entre ces tranches n'ont pas été prises en compte dans cette étude car compte tenu de son importance pour la sécurité, le circuit RCV ne comporte pas de liaison inter-tranches.

### Les tranches nucléaires

Le fonctionnement d'une tranche nucléaire est bâti autour du circuit de refroidissement primaire (RCP) (fig. 2). Le RCP transfère la chaleur engendrée dans le cœur du réacteur vers le générateur de vapeur où elle est utilisée pour vaporiser l'eau du circuit secondaire et produire ainsi la vapeur destinée à entraîner la turbine.

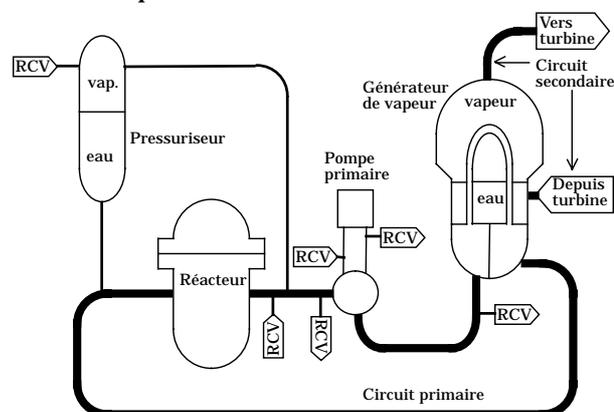


Fig. 2 : Schéma de principe du RCP

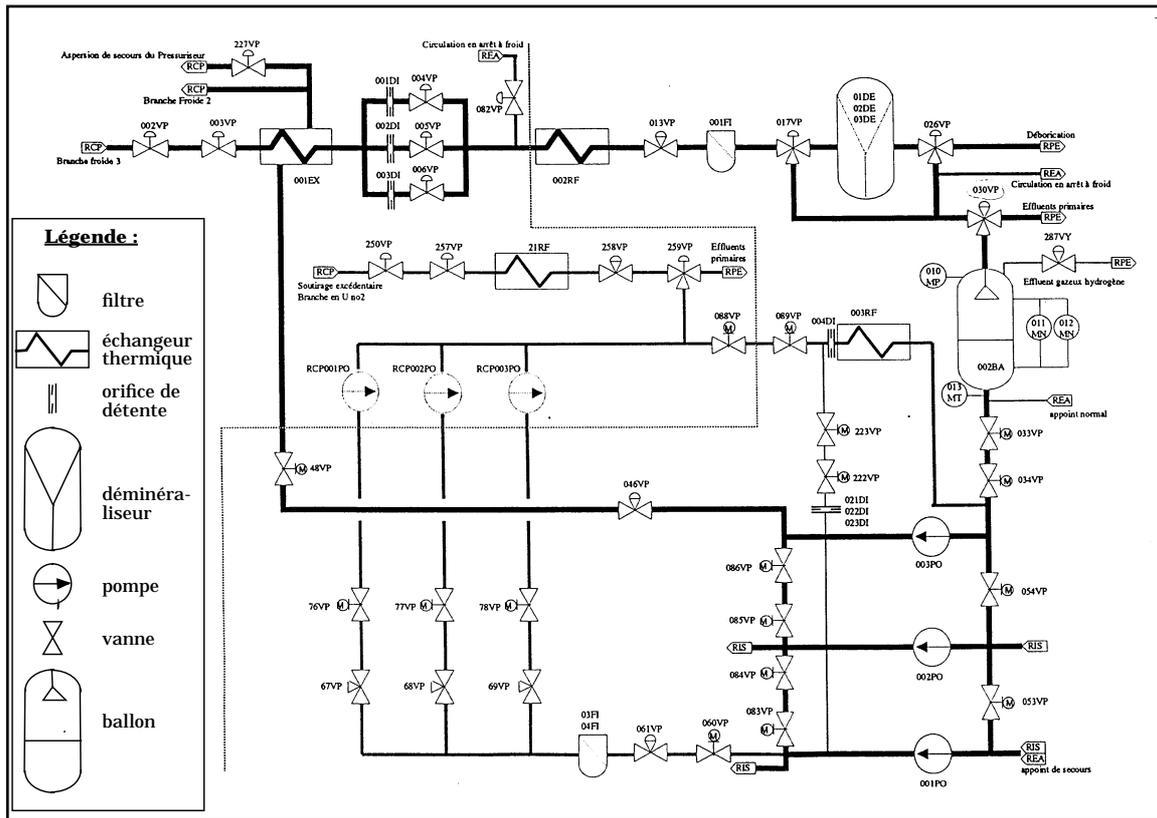


Fig. 3 : Schéma simplifié du RCV

### Rôle du circuit RCV

L'eau du RCP doit être maintenue à une pression supérieure à la pression de saturation d'environ 150 bars et à une température moyenne d'environ 300°C, pour éviter son ébullition. En effet, le fait de rester en phase liquide permet d'utiliser un poison soluble pour les neutrons (le bore sous forme d'acide borique), ceci afin de contrôler la réaction.

De nombreux circuits auxiliaires (de l'ordre de 200 circuits) sont nécessaires afin d'assurer la disponibilité et la sûreté du fonctionnement d'une tranche :

- les circuits de sauvegarde qui sont destinés à intervenir en cas de défaillance des systèmes normaux de fonctionnement pour ramener les conséquences d'accidents éventuels en deçà des limites acceptables pour le personnel et pour le public ;
- les circuits auxiliaires proprement dits, fort nombreux et qui permettent aux circuits principaux de remplir leur tâche dans les configurations de démarrage, de fonctionnement en puissance et d'arrêt. Le circuit RCV fait partie de ces circuits.

Le circuit RCV a pour fonctions principales :

- le contrôle volumétrique du fluide primaire, c'est à dire la régulation d'eau dans le RCP ;
- le contrôle chimique du fluide primaire qui a pour but :
  - d'ajuster, en liaison avec le circuit d'appoint d'eau et de bore (REA), la concentration du fluide primaire en bore pour suivre les évolutions lentes de réactivité ;
  - d'ajuster la nature et la teneur en gaz dissous dans le fluide primaire pour éviter l'accumulation des gaz de fission, la corrosion et les risques d'explosion ;
  - de réduire la teneur en produits de corrosion et de fission dans le fluide primaire ;
  - d'ajuster si nécessaire, en liaison avec le circuit REA, le pH du fluide primaire pour éviter la corrosion et, lors de la montée en température du RCP, la concentration en oxygène.
- l'étanchéité des pompes primaires :
  - alimenter les joints des pompes primaires

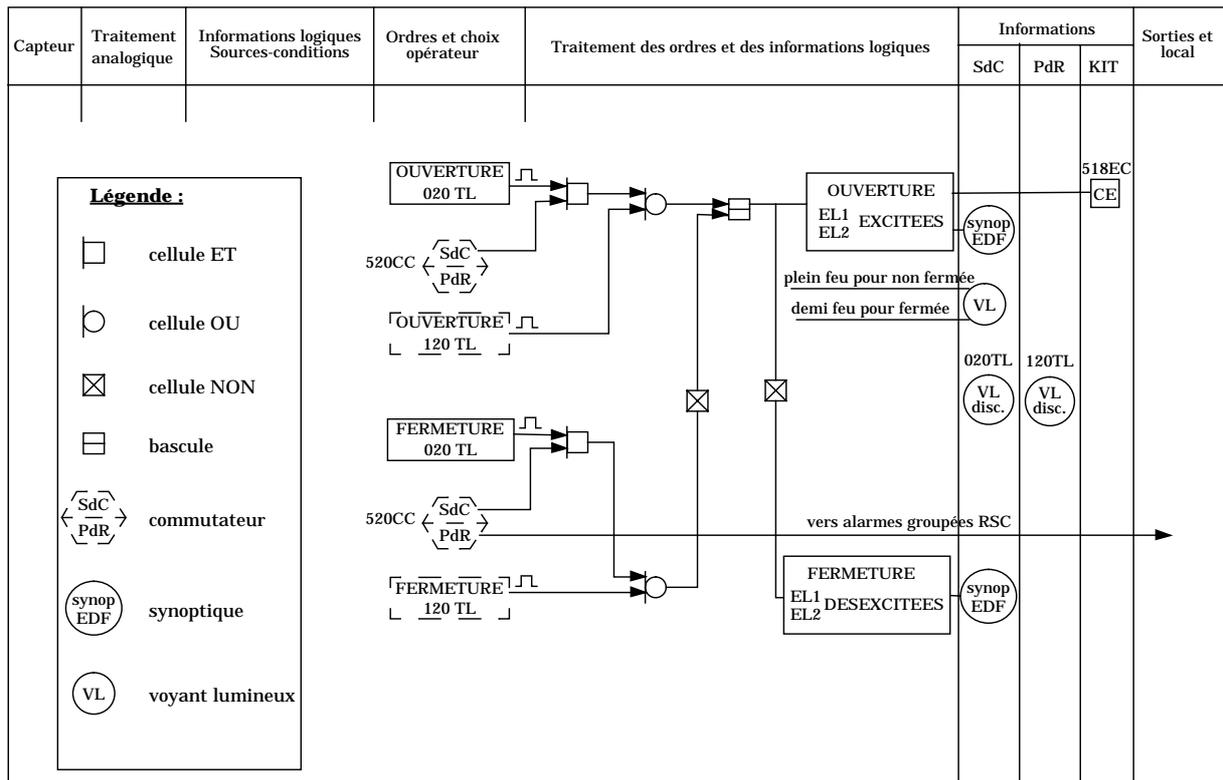


Fig. 4 : Diagramme fonctionnel de commande

pour en assurer le refroidissement et l'étanchéité ;

- récupérer les fuites des joints des pompes primaires.

### **Description du fonctionnement du RCV**

La fig. 3 présente un schéma simplifié du circuit RCV. Ce schéma ne présente que les éléments les plus utilisés ou les plus importants pour la compréhension du fonctionnement du circuit. Il comporte déjà ainsi une quarantaine de vannes deux ou trois voies, des filtres, des échangeurs thermiques, des pompes, etc... Le circuit réel comporte en fait plus d'une centaine de vannes et beaucoup plus de composants et de raccordements que ceux présentés sur ce schéma.

Lors du fonctionnement normal, l'eau arrive du circuit primaire (RCP) par la branche froide 3 (en haut à gauche de la fig. 3), elle est refroidie et détendue (branche de 001 EX à 001 FI), puis déminéralisée (01, 02, 03 DE). Suivant le niveau d'eau dans le RCP (contrôlé par 002 BA), une partie de l'eau est alors envoyée vers les effluents primaires tandis que le reste, par aspersion dans le ballon 002 BA, se charge en hydrogène. A la sortie de celui-ci, l'eau est pompée (RCV 001, 002, 003 PO) pour être renvoyée vers le RCP par l'intermédiaire de la branche froide 2 après avoir

été réchauffée par l'échangeur 001 EX. En cas de besoin, une partie de l'eau peut être envoyée vers l'aspersion de secours du pressuriseur. A la sortie des pompes RCV 001 à 003 PO, une partie de l'eau est filtrée pour être injectée dans les pompes primaires RCP 001, 002 et 003 PO. Cette eau lubrifie les paliers et refroidit les joints des pompes primaires. Cette eau est ensuite récupérée pour être réinjectée en amont des pompes RCV 001 à 003 PO.

En cas de fonctionnement anormal en quelque endroit de la tranche, les éléments du RCV peuvent avoir un autre rôle à jouer que le traitement de l'eau primaire. D'autres liaisons du RCV avec le RCP ou avec d'autres circuits peuvent alors être mises en service.

Notre étude n'avait pas pour objectif de réaliser des modèles exhaustifs de spécification, mais de montrer les capacités et limites des techniques de modélisation utilisées. Pour construire les modèles nous sommes donc basés sur le schéma simplifié du circuit, et non pas sur le schéma du circuit réel, car nous avons jugé que celui-ci était suffisamment représentatif pour notre étude.

### **La partie commande du RCV**

La commande des actionneurs et la surveillance du fonctionnement du circuit RCV s'effectuent

depuis la salle de commande (SdC) de la centrale. En cas d'inaccessibilité de la salle de commande, un panneau de repli (PdR) regroupe les commandes et informations permettant de maintenir la tranche en arrêt à chaud. Les commandes du PdR sont prioritaires sur celles de la SdC.

La description de la partie commande est constituée de deux parties distinctes. La première regroupe l'ensemble des schémas logiques appelés "diagrammes fonctionnels de commande des actionneurs" (voir fig. 4). Chacun de ces schémas décrit la commande d'un actionneur du circuit. Pour la plupart des organes, la partie commande ne consiste qu'en la validation de conditions logiques sur des commandes de l'opérateur. Ainsi dans l'exemple de la fig. 4, l'ouverture ou la fermeture de la vanne RCV 082 VP ne sont conditionnées que par les ordres correspondants de l'opérateur (ordres d'ouverture ou de fermeture par l'intermédiaire des boutons 020TL et 120TL) et par la localisation de ceux-ci (SdC ou PdR). En effet la partie commande n'est pour sa plus grande partie qu'une énorme "boîte à boutons", ne comportant que très peu d'automatismes séquentiels ou d'asservissements.

Cependant, les ordres donnés par l'opérateur sont conditionnés par des procédures de conduite indiquant la façon de réagir suivant les problèmes rencontrés ou les états à atteindre. Ces procédures sont exprimées sous forme textuelle et décrivent dans les moindres détails les organes successifs à actionner. Elles forment la deuxième partie de la description du contrôle-commande, partie qui correspond essentiellement à la description de l'utilisation de la partie commande.

### ÉTUDE DES MODÈLES

Comme nous l'avons souligné au début de cet article, il ne saurait être question d'étudier en détail l'ensemble des modèles établis lors de cette étude de cas. Nous n'allons présenter dans la suite que les seuls extraits de modèles nécessaires à la documentation des conclusions de cette étude que nous allons maintenant développer.

#### Merise

**MCD** : L'un des problèmes essentiels de cette étude a été de prendre en compte et de formaliser les liens entre les différents éléments du système, les différentes fonctions qu'ils doivent remplir et les états du système dans lesquels ces organes réalisent ces fonctions. Ce problème fondamental pour EDF peut être représenté de manière explicite à travers le MCD "fonction" (fig. 5). Sur ce modèle la difficulté que nous

venons de souligner apparaît nettement grâce à la relation ternaire élément/fonction/état système.

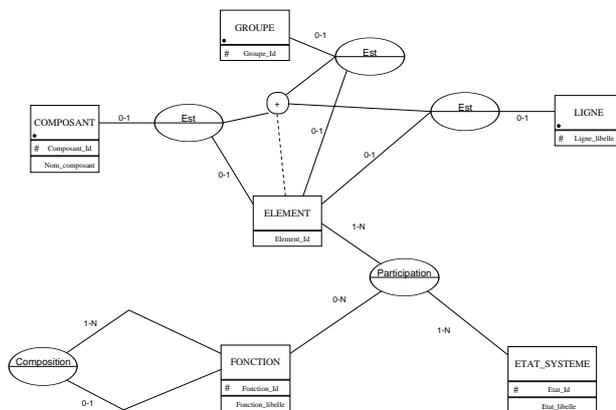


Fig. 5 : MCD fonction

Tout comme pour l'étude de la partie opérative, nous avons choisi de modéliser les informations représentatives du contrôle-commande par plusieurs modèles partiels. Le modèle suivant (fig. 6) représente par exemple les liens entre un ordre de commande et le mode de commande (manuel ou automatique, SdC ou PdR).

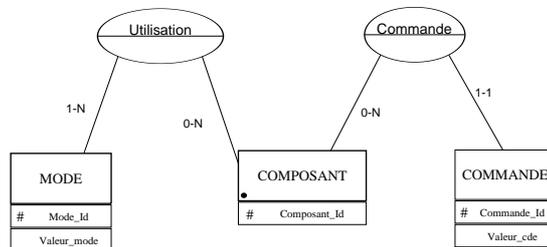


Fig. 6 : MCD commande-mode

Les modèles de données nous ont permis de présenter clairement et de façon rigoureuse les aspects statiques liés aux données du système étudié. De plus la généricité des modèles construits permet d'envisager une utilisation "universelle" dans le cadre des centrales EDF. Il est important de remarquer que ces modèles ne constituent que la structure de la trame d'accueil des informations pertinentes, à la différence des modèles obtenus par les autres techniques.

**MOT** : Les modèles de traitements proposés sont des Modèles Organisationnels des Traitements. Ceux-ci utilisent le même formalisme que le Modèle Conceptuel des Traitements (MCT),

cependant ils permettent de représenter également les postes de travail auxquels sont assignées les opérations du MCT (traduites en procédures fonctionnelles dans le MOT). Le MOT nous a permis d'exprimer plus clairement le contexte des traitements réalisés par le contrôle-commande. Les modèles de traitement sont spécifiques à chaque composant, on peut noter toutefois, qu'une trame quasi-générique peut être définie au travers de procédures elles mêmes génériques. Ainsi la fig. 7 représente la commande de la vanne RCV 30 VP. Le point de vue retenu permet notamment de donner une signification fonctionnelle aux portes logiques et aux signaux du contrôle-commande, par contre il est fait abstraction des préactionneurs, ce qui rend ce modèle moins générique. De plus, il donne une représentation claire du partage homme/machine des tâches de commande.

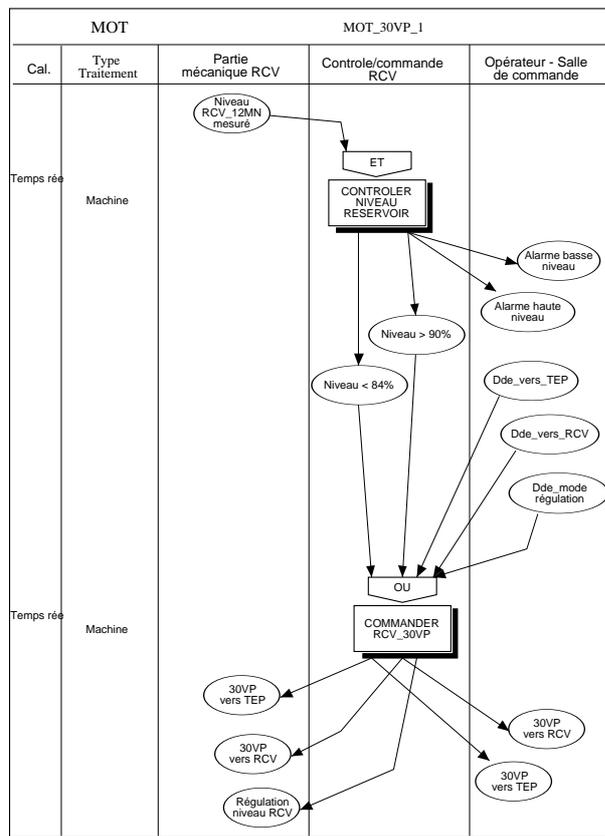


Fig. 7 : MOT 30VP version 1

Pour conclure sur ces modèles de données et de traitements de données, il convient d'indiquer que nous avons pu dans cette étude suivre le déroulement naturel de la méthode MERISE, bien qu'appliquée dans ce cas précis à un système d'information technologique destiné au contrôle-commande d'un système hybride.

## Les méthodes d'analyse structurée

**SADT** : La description textuelle, fournie par EDF, de la partie commande dans un état donné de la tranche est très proche de sa description technique (diagrammes fonctionnels de commande - voir fig. 4 -). Cette description nous a donc influencé lors de nos premiers essais de modélisation avec le formalisme SADT. Nous avons ainsi réalisé des modèles basés sur une structure identique à celle des diagrammes fonctionnels figure 4 : y apparaissent les activités "capter les informations", "informer",... correspondant à chaque rubrique des diagrammes fonctionnels. Les modèles résultants étant par trop indépendants les uns des autres nous avons envisagé un niveau fonctionnel plus représentatif de la commande du RCV dans sa globalité : les fonctions attendues du RCV. Nous nous sommes pour cela restreints au seul fonctionnement normal du RCV. Ces fonctions sont alors toutes réalisées par le RCV en même temps et sont indépendantes. Nous avons ainsi obtenu des modèles dont les activités ne partagent que les données d'entrée ou de contrôle ; il n'y a pratiquement pas de flux de données entre elles (voir fig. 8). Pour faire le lien entre le niveau fonctionnel du RCV et le niveau fonctionnel des actionneurs, nous avons dû utiliser les appels à mécanismes. Ainsi chaque appel est associé à la description des activités d'un composant participant à la réalisation d'une fonction du RCV.

Ce second point de vue nous a permis d'obtenir des modèles clairs montrant bien les relations entre les différents niveaux fonctionnels et entre les différentes fonctions du même système. Cependant il a ainsi été établi que SADT ne permet pas de représenter efficacement des systèmes multi-fonctionnels et multi-états. En effet même en ayant fait le choix de ne modéliser le système que dans un état choisi (le fonctionnement normal), il a été très difficile de représenter toutes les fonctions du RCV, de ces composants et surtout de représenter les liens entre ces différentes fonctions.

**SA-RT** : SA-RT permet, grâce aux diagrammes SA, une description fonctionnelle du système modélisé. Cette description s'est avérée relativement aisée en raison de l'absence de contraintes comme celles des actigrammes de SADT (trois à six activités, données en entrée, contrôle,...). Toutefois, l'ampleur des modèles réalisables nous a poussé à ne pas construire un modèle exhaustif. Aussi les modèles de haut niveau ne sont pas complets sur le plan des données, seuls ceux de niveau bas le sont (voir fig. 9).

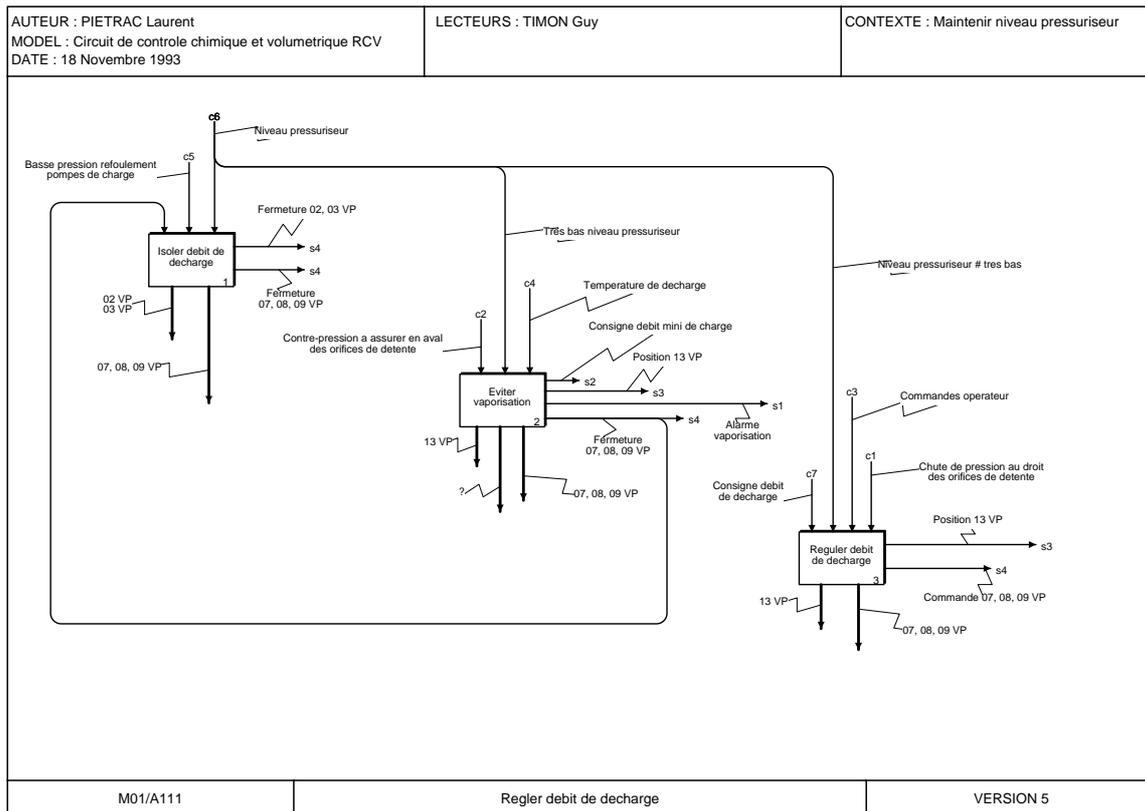


Fig. 8 : SADT : régler débit de décharge

La fig. 9 présente un exemple caractéristique de modélisation de fonctions de bas niveau. Sur cet exemple, il n'est pas paru nécessaire d'introduire des flux de contrôle et par conséquent de spécifications de contrôles par automates à états. En effet, l'absence quasi générale de condition d'enchaînement et de description de commande séquentielle nous a conduit à ne pas utiliser de flux de contrôle dans nos modèles.

L'utilisation de SA-RT nous a semblé intéressante sur deux points essentiels :

- pour les niveaux les plus hauts, la structure des diagrammes de flots de données a pu être conservée d'une étude (partie opérative) sur l'autre (contrôle-commande), alors que les modèles SADT réalisés pour les deux études n'ont aucun lien entre eux.
- la spécification des process terminaux permet de traduire la quasi-totalité des traitements définis dans les diagrammes fonctionnels en leur apportant en plus une certaine structure (regroupement par flux et description des process).

Pour EDF, la lisibilité n'est cependant pas un point fort des formalismes SADT et SA-RT. De plus les trop grandes possibilités d'interprétations différentes ne permettent pas d'espérer une

rigueur de conception suffisante pour satisfaire aux impératifs de fiabilité de la conception. Finalement ces formalismes ont été jugés insuffisamment structurants, de qualité et de clarté trop aléatoire car reposant entièrement sur les options prises par le concepteur en raison essentiellement de l'ampleur des modèles à construire.

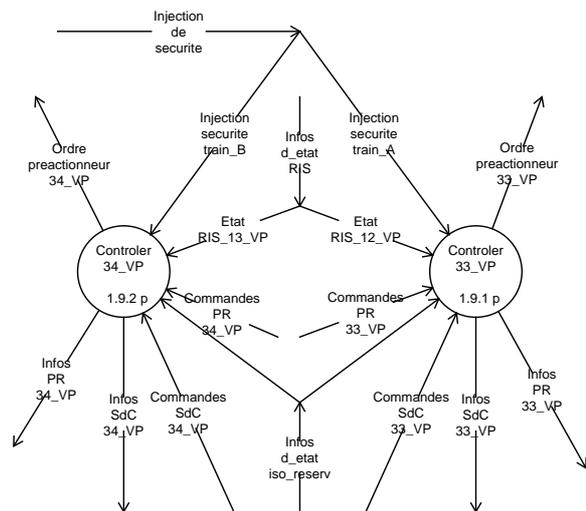
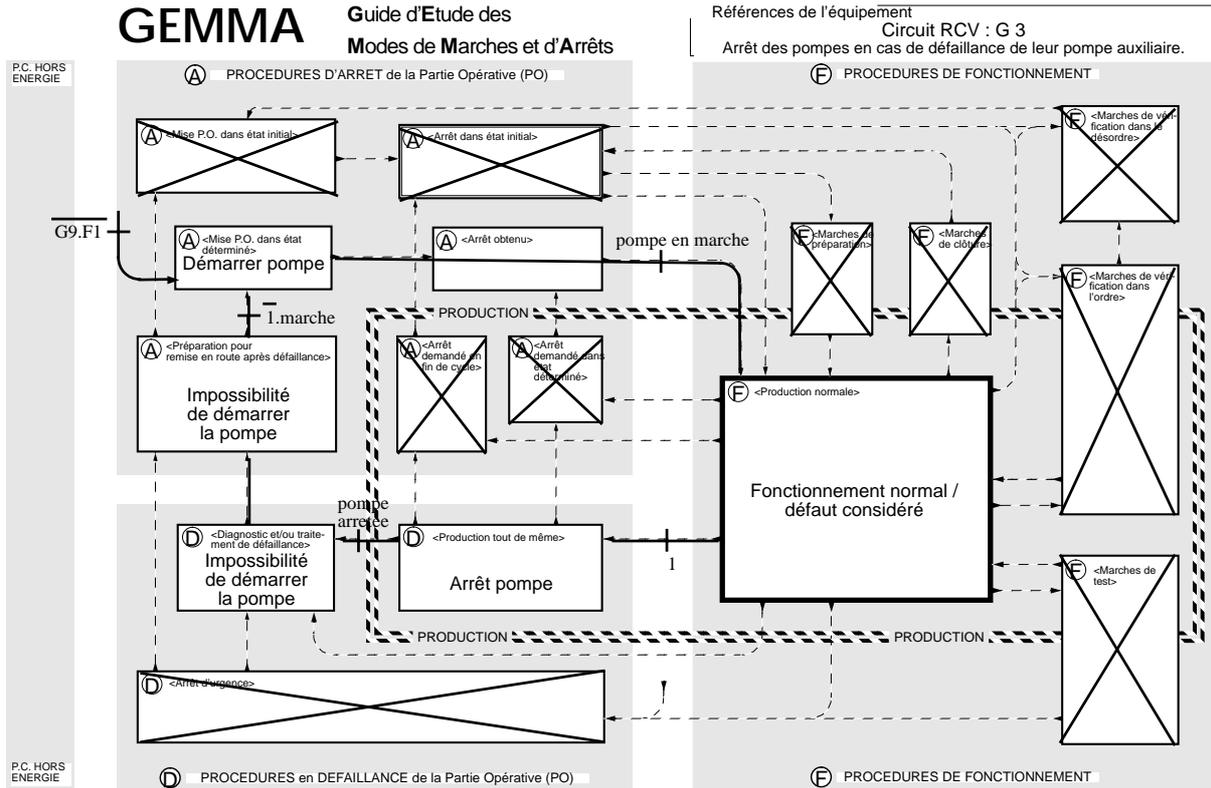


Fig. 9 : SA-RT : contrôle isolement réservoir

### Les modèles d'états

Le GEMMA : le système RCV peut évoluer dans de nombreux régimes de fonctionnement. Cependant la commande de ce circuit ne comporte que

Ce GEMMA est à répéter pour chaque pompe de charge



1 : (pression huile collecteur < 0,6 bars) et (disjoncteur pompe de charge fermé) et G9.F1

Fig. 10 : Exemple de gemma d'automatisme

peu d'automatismes. De plus, chacun de ces automatismes ne correspond pas forcément à un régime de fonctionnement donné.

Nous avons donc envisagé deux utilisations possibles du GEMMA pour modéliser les modes de marches de la commande du RCV :

- réaliser un gemma par automatisme du contrôle-commande (cf. fig. 10) ;
- réaliser un gemma par régime de fonctionnement du système.

Malheureusement il n'existe pas de correspondance entre ces deux solutions puisque les automatismes ne correspondent pas aux régimes de fonctionnement du RCV et que certains régimes de fonctionnement ne comportent pas d'automatisme. Nous avons donc été confronté à deux problèmes :

- d'une part nous avons construit des modèles représentant les réactions automatisées du système RCV à certains événements. Ces modèles ne correspondent pas forcément à des changements d'états (dans l'exemple fourni, le système réagit quel que soit l'état du RCV) ;

- d'autre part nous avons construit des modèles correspondant à des évolutions dans certains états. Ces modèles incluant peu d'automatisme, ils ne permettent de mettre en évidence que les sécurités sur la partie opérative (protection contre des commandes de l'opérateur pouvant porter préjudice au système).

En conclusion sur le GEMMA, la réalisation de ces modèles nous a permis de constater que l'étude des différents états dans lequel le circuit RCV intervient est pour le moment mal décrite. La construction d'une grille générique, mieux adaptée aux circuits de centrales, apporterait certainement beaucoup à cette étude.

Le GRAFCET : il permet de décrire de manière ergonomique la commande des vannes et des pompes du circuit RCV. La commande de chaque organe a ainsi été décrite par un grafcet (voir fig. 12 et fig. 13). Les liens existant entre les commandes des différents organes apparaissent sous la forme de variables d'étapes et de réceptivités communes (fig. 12) : ceci n'est pas le cas pour le grafcet de la figure 13 car la commande de la vanne RCV 30 VP est indépendante des autres. Les états du circuit n'apparaissent pas explicitement dans le contrôle-commande des organes du RCV, ils n'apparaissent donc pas non plus dans les grafquets.

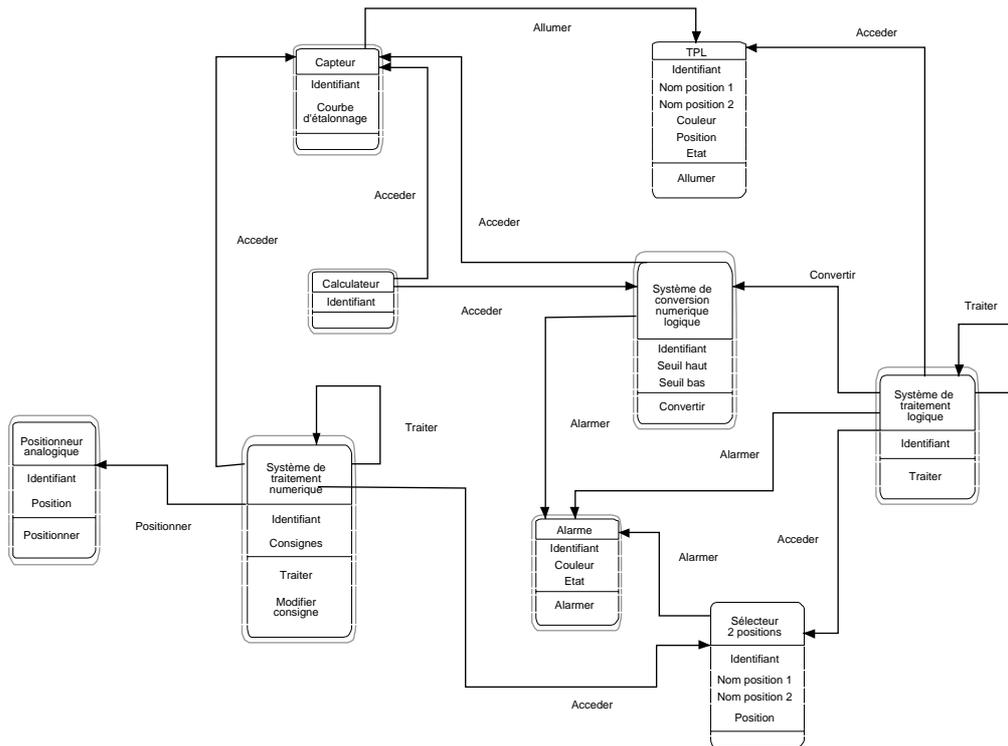


Fig. 11 : extrait du modèle OBJET

Tous les grafquets représentant le contrôle-commande d'un organe du RCV ne comportent qu'un nombre limité d'étapes et des réceptivités finalement assez simples, ils sont donc très lisibles. Le modèle représentant le contrôle-commande du RCV ne permettrait cependant pas de fournir une vue synthétique de ce contrôle-commande car il serait composé d'un grand nombre de grafquets partiels sans liens structurels ou fonctionnels. Cependant le GRAFCET a l'avantage d'être évaluable par des outils informatiques permettant de vérifier la cohérence et la complétude des modèles par rapport aux spécifications (11).

Malheureusement, le niveau actuel d'automatisation du contrôle-commande des centrales étudiées étant très faible, les formalismes GEMMA et GRAFCET sont peu adaptés à l'étude de leurs circuits.

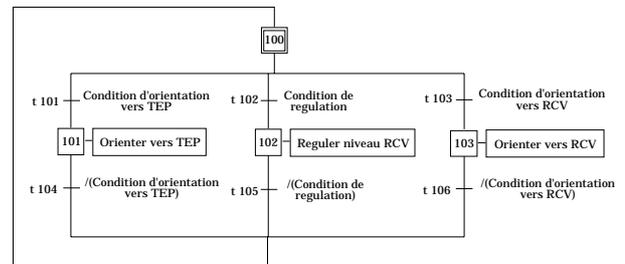


Fig. 13 : grafcet RCV 30 VP

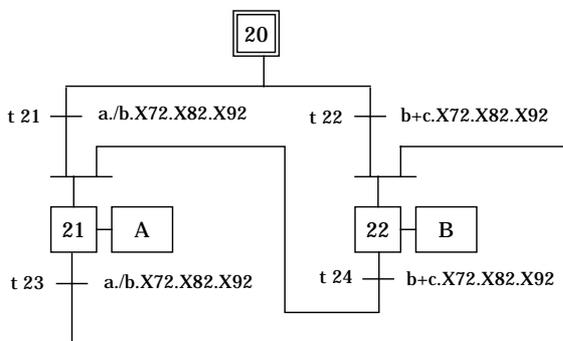


Fig. 12 : grafcet RCV 02 VP

### OBJET - OOA

Les modèles réalisés fournissent une modélisation très proche de la structure physique (voir fig. 11) du contrôle-commande. Cependant les seules fonctions représentées sont les fonctions techniques des objets (au sens de l'analyse fonctionnelle (12)), fonctions qui sont représentées sous forme de services rendus par les objets. Ces modèles nous sont donc de peu d'intérêt dans une phase de spécification fonctionnelle.

## CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif d'évaluer par leur pratique les capacités et limites de techniques de modélisation fonctionnelle "standards".

Leurs avantages et inconvénients ont ainsi été mis en exergue, mais aucune d'entre elles ne s'est révélée en parfaite adéquation avec les besoins d'EDF en matière de spécification fonctionnelle. C'est pourquoi EDF met actuellement au point un langage de spécification à "boîtes fonctionnelles" lui permettant de prendre en compte les spécificités de son métier. Ce langage, intégrant une approche structurelle hiérarchique par "macro définition", tente de prendre en compte les différents aspects positifs rencontrés dans chacune des techniques de modélisation que nous venons d'étudier dans cet article.

Une évaluation de ce nouveau langage conçu par EDF est actuellement en cours au LURPA, elle devrait aboutir à la définition de règles de construction de modèles. Une fois mis au point, ce langage de spécification à boîtes fonctionnelles devrait pouvoir être utilisé par de nombreuses industries de process continu.

## RÉFÉRENCES

(1) LESAGE (Jean-Jacques), PIETRAC (Laurent) et TIMON (Guy). — *Modélisation fonctionnelle des parties mécaniques des tranches nucléaires, analyse biblio. et étude de cas RCV*. — Rapport de fin d'étude, contrat N°2L1117/EP619 entre EDF et le LURPA, septembre 1993.

(2) PIETRAC (Laurent) et TIMON (Guy). — *Modélisation fonctionnelle du contrôle-commande des tranches nucléaires, analyse bibliographique et étude de cas RCV*. — Rapport de fin d'étude, contrat N°2L1117/EP619 entre EDF et le LURPA, décembre 1993.

(3) DENIS (Bruno), LESAGE (Jean-Jacques), ROUSSEL (Jean-Marc) et TIMON (Guy). — *Rapport de fin d'étude : SEDEM-91*. — Document EXERA N°S3609X92, avril 1992.

(4) DENIS (Bruno), LESAGE (Jean-Jacques), ROUSSEL (Jean-Marc) et TIMON (Guy). — *Rapport de fin d'étude : RAFALE-X54*. — Document EXERA, mai 1993.

(5) IGL Technology. — *SADT : un langage pour communiquer*. — Ed. EYROLLES, 1989.

(6) *GEMMA : Guide d'Etude des Modes de Marches et d'Arrêts*. — Brochure éditée par l'ADEPA (Edition 2).

(7) AFCET - ADEPA. — *Le GRAFCET*. — CEPADUES Editions, 1992.

(8) COAD (Peter) et YOURDON (Ed). — *Object-Oriented Analysis*. — Prentice Hall, 1991, 2nd édition.

(9) HATLEY (Derek J.) et PIRBHAI (Imtiaz A.). — *Strategies for Real-Time System Specification*. — Dorset House Publishing, 1988.

(10) TARDIEU (Hubert), ROCHFELD (Arnold) et COLLETTI (René). — *Méthode MERISE, Tome 1 : Principes et Outils*. — Editions d'Organisation, Paris, 1983.

(11) ROUSSEL (Jean-Marc). — *Analyse de grafjets par génération logique de l'automate équivalent*. Thèse de doctorat de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, à paraître, décembre 1994.

(12) AFNOR. — NF X 50 150. *Analyse de la valeur; Analyse fonctionnelle. Vocabulaire*. — Août 1990.