

**DIAPASON : UN SYSTEME D'AIDE A LA SUPERVISION
DES PROCÉDES CONTINUS**

D. Mathieu, J.M. Penalva, L. Coudouneau, L. Leyval, J. Montmain
<> C.E.A.
Centre de la Vallée du Rhône
B.P. 171
30205 BAGNOLS-SUR-CEZE Cédex

Résumé

Le système DIAPASON propose à l'opérateur des fonctionnalités de simulation et d'aide au diagnostic, pour la supervision de procédés continus industriels. Les raisonnements effectués reposent sur l'utilisation d'un modèle qualitatif et d'une base de connaissances.

La simulation qualitative, le diagnostic de défauts et le diagnostic de défaillances sont brièvement présentés et leur coopération au sein de DIAPASON est soulignée.

Le procédé choisi comme exemple se compose d'une colonne pulsée d'extraction liquide-liquide pour le retraitement des combustibles nucléaires irradiés et de ses systèmes annexes d'alimentation.

I. INTRODUCTION

DIAPASON est un système conçu pour l'aide à la supervision des procédés continus à évolution lente, tels que les procédés de génie chimique utilisés pour le retraitement des combustibles irradiés.

I.1. Le problème

Les travaux dans le domaine de l'aide à la supervision de procédés industriels ont été initialement motivés par la constatation du paradoxe suivant : l'automatique a pris une place de plus en plus importante dans l'industrie, dans le but d'améliorer la conduite des procédés. Cependant, ce but n'a pu être atteint sans complexifier le procédé, et sans modifier la tâche des opérateurs, leur rôle passant ainsi de la commande à la supervision.

De nouveaux problèmes sont donc apparus, dont le phénomène de "surcharge cognitive" caractérisant la surinformation anarchique donnée à l'opérateur lors de situations anormales qui nécessitent une réaction rapide et efficace.

I.2. La solution proposée

DIAPASON offre à l'opérateur une représentation synthétique du procédé grâce à une modélisation inspirée de la physique qualitative et de l'automatique (8).

DIAPASON permet de prédire l'évolution du procédé, pour une conduite par anticipation ; en situations incidentelles, il permet une détection précoce d'incidents pour une maintenance préventive ou une conduite en fonctionnement dégradé.

DIAPASON fournit l'évolution prédite des variables pertinentes d'un procédé, mesurables ou non mesurables, avec leurs explications associées. Un diagnostic de

défauts fondé sur la comparaison modèle-procédé fournit ses résultats à un module de diagnostic de défaillances utilisant une connaissance structurelle du procédé.

1.3. Le procédé étudié

Le procédé choisi comme exemple se compose d'une colonne pulsée et de ses systèmes annexes d'alimentation. Une colonne pulsée est un appareil d'extraction liquide-liquide utilisé notamment dans les opérations de retraitement de combustible nucléaire.

II. PREDIRE

Le module prédictif du système DIAPASON, réalisé en collaboration avec le Laboratoire d'Automatique de Grenoble, a largement bénéficié de l'expérience acquise dans le cadre du projet ALLIANCE (7) (2) dont le CEA et EDF étaient maîtres d'œuvre (5).

II.1. Le graphe d'automatique qualitative

Le modèle utilisé est un graphe, dont les sommets sont les variables du procédé, et les arcs les liens causaux entre ces variables. Puisque l'usage du modèle est la supervision, seules apparaissent les variables utiles pour la conduite du procédé, qu'elles soient mesurables ou non mesurables. La figure 1 représente le graphe qualitatif d'une colonne pulsée en régime émulsion, avec ses alimentations par roues doseuses.

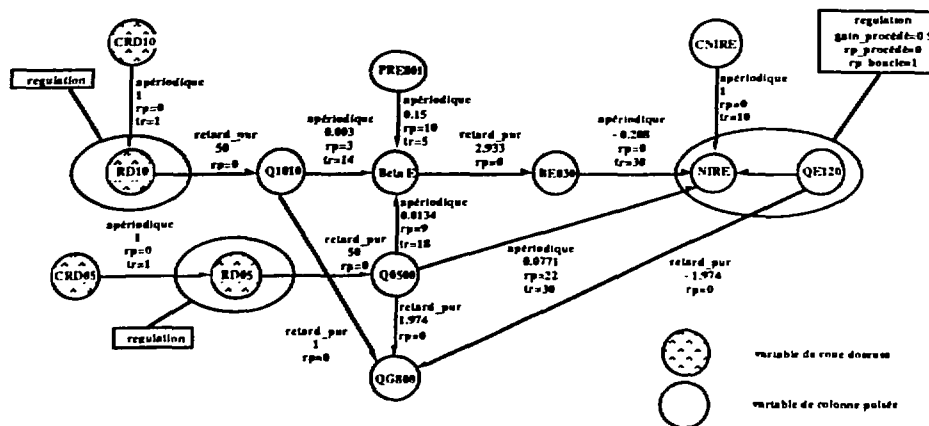


Figure 1 : Graphe qualitatif d'une colonne pulsée alimentée par roues doseuses

L'évolution globale du procédé est caractérisée par des événements sur ses variables pertinentes. Ces événements sont significatifs de tout changement de comportement des variables (rupture de pente, échelons). Ils sont en général différents pour chaque variable, et asynchrones pour une même variable (par opposition à un modèle échantillonné).

L'évolution d'une variable est décrite numériquement, et un arc caractérise l'influence d'une variable sur une autre par des notions d'automatique telles que le gain statique, le retard pur, le temps de réponse, la constante de dérivation ou d'intégration.

La modélisation événementielle est beaucoup mieux adaptée que les modèles classiques de la physique qualitative (4) (9) à la simulation dynamique de systèmes physiques.

Le caractère asynchrone de la modélisation constitue une différence importante avec les simulateurs numériques classiques ; la modélisation de la physique du procédé sous forme de relations cause-effet permet en outre d'expliquer à l'opérateur les raisonnements effectués par le système.

II.2. La simulation dynamique

Cet aspect plus technique est décrit précisément dans (10).

En entrée, le modèle dispose d'un ou de plusieurs événements significatifs sur une ou plusieurs variables d'entrée du procédé, ainsi que de la valeur initiale de toutes les variables prises en compte.

La simulation consiste à propager chaque évolution, événement par événement, à travers le graphe, suivant l'ordre chronologique.

La propagation s'arrête lorsqu'il n'y a plus d'événement à propager, ou lorsque l'horizon de simulation est atteint.

II.3. Les explications

Les influences en sortie de chaque arc, qui servent à calculer l'évolution d'une variable, sont gardées en mémoire. Les explications associées à une évolution sont donc ces influences, comme le présente la figure 2.

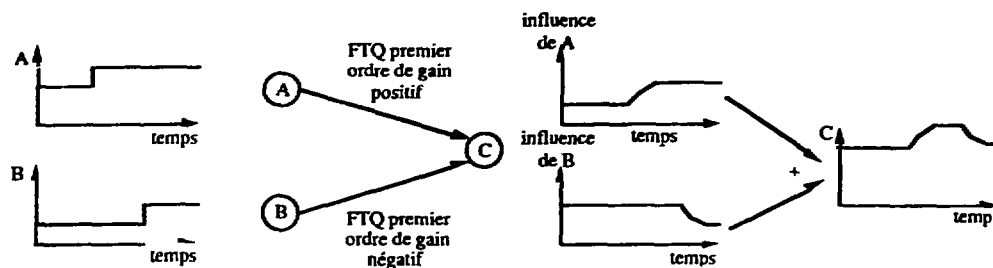


Figure 2 : Explications de l'évolution de C par les contributions des variables A et B

III. DIAGNOSTIQUER

La détection des fonctionnements anormaux repose sur la comparaison de données "modèle" et de données "procédé".

Nous appellerons diagnostic de défauts la détection d'un fonctionnement dégradé du procédé sur erreur de simulation sans s'interroger plus précisément sur la cause matérielle de cette variation. On peut diviser cette analyse en deux traitements : un traitement local au niveau de chaque variable mesurée et simulée que l'on désignera par détection de défauts et un traitement global qui gère la cohérence des divers défauts observés sur toutes les variables du graphe. Le diagnostic de défauts alimente d'autre part une tâche de décision chargée de lancer le diagnostic de défaillances.

Le diagnostic de défaillances (inaptitude d'un composant physique à assurer sa fonction, observable par l'apparition d'un défaut) utilise une connaissance structurelle du procédé afin d'identifier le composant défectueux.

III.1. La détection de défauts

Il s'agit d'un traitement local où chaque erreur de simulation - écart entre mesures procédé et données simulées sur un intervalle de temps donné - est analysée individuellement. Les simulations rendant davantage compte du comportement du procédé que des valeurs numériques exactes des variables, la simple comparaison d'une erreur à un seuil est insuffisante - seuils inadéquats, sensibilité aux bruits... ; nous avons donc introduit une notion d'égalité qualitative entre deux évolutions qui donne au module une plus grande robustesse.

Une erreur intégrale signée constitue le premier critère qui mesure l'écart moyen entre deux évolutions sur une fenêtre temporelle donnée. Ensuite, deux évolutions ont même

forme s'il existe une translation du plan (temps, amplitude) qui permette de faire tendre l'écart quadratique entre les deux évolutions vers zéro. La norme du vecteur translation associée à ce recalage optimal constitue un troisième critère, le coût de l'opération.

Les diverses sources d'imprécision nous ont amené à chercher une modélisation du vague et de l'imprécis au travers de la logique floue (6). Chaque critère requiert une interprétation symbolique qui doit amener à une décision. Par exemple, un critère pourra prendre les valeurs FORT POSITIF, FORT NEGATIF ou NUL. Enfin, des lois de compositions entre ces fonctions permettent de prendre une décision continuellement pour toute combinaison des trois critères.

Ainsi, pour les pannes franches, l'écart modèle-procédé est généralement trop important pour qu'une translation dans le domaine autorisé puisse permettre de réduire suffisamment l'écart quadratique ou bien le coût du recalage est extrêmement élevé. Pour les dérives, on parvient en général à réduire de façon significative l'écart quadratique mais le coût de l'opération est croissant dans le temps. Les autres sources d'erreurs et bruits conduisent à des coûts peu élevés ou des écarts quadratiques après recalage quasiment négligeables. Cette approche permet de privilégier la robustesse du comparateur à la précocité de sa détection.

III.2. Le traitement global des défauts

Ce second traitement du diagnostic de défauts est, lui, une analyse globale de l'ensemble des erreurs de simulation du graphe (11). Il constitue une solution contre les avalanches d'alarmes en proposant les chaînes causales qui relient les divers écarts en jeu sur toutes les variables du graphe. En gérant dynamiquement la cohérence des erreurs de simulation, il permet d'obtenir le sous-graphe de propagation d'une dérive et d'identifier la (ou les) variables sources possibles (filtrage d'alarmes).

Une variable source est définie comme la première variable (dans le temps) sur laquelle on peut observer l'influence d'une perturbation.

Une variable de détection est une variable dont le suivi de l'erreur de simulation a permis de mettre en évidence l'existence d'une perturbation par un franchissement de seuil.

La capacité de remonter depuis une variable de détection jusqu'à une variable source permet de pallier au caractère souvent arbitraire des techniques de seuillage.

III.3. Le diagnostic

Le diagnostic de défauts effectué sur le modèle comportemental n'est en général pas suffisant pour identifier les défaillances des composants physiques associées à ces défauts, ce traitement nécessitant des connaissances structurelles et fonctionnelles absentes du modèle ainsi qu'un raisonnement faisant généralement appel à des heuristiques.

D'un autre côté, un système à base de connaissance est mal adapté à la gestion du temps, elle allourdit l'écriture des règles et pose des problèmes de validation de la base.

Nous avons donc choisi de faire manipuler l'expertise par le système expert de diagnostic de défaillances et de reporter sur le module de traitement global des défauts les aspects temporels. Ce dernier activera donc le système expert uniquement après observation d'un défaut en lui fournissant une image du procédé formée des valeurs des variables aux temps adéquats (prise en compte des retards portés sur le graphe).

Le générateur de systèmes-experts proposé implante un raisonnement sous hypothèse à l'aide d'un principe appelé *Raisonnement Stratifié*. Ce générateur est développé en collaboration avec le laboratoire DELIA (INSA-Lyon). Une description détaillée en est donnée dans (3).

IV. LE PROTOTYPE DIAPASON

Les trois modules composant le système sont développés sur station de travail SUN en langage Ada, à l'exception du compilateur de règles implanté en StarLET (1), langage prédicatif basé sur les grammaires affixes.

Les trois modules sont intégrés dans un démonstrateur, en ligne avec un simulateur d'atelier d'extraction-lavage de combustibles nucléaires en colonnes pulsées.

Une interface mettant en évidence les concepts évoqués ci-avant a été réalisée ; nous présentons ici ses caractéristiques.

La figure 3 ci-après donne un aperçu de l'écran principal proposé à l'opérateur.

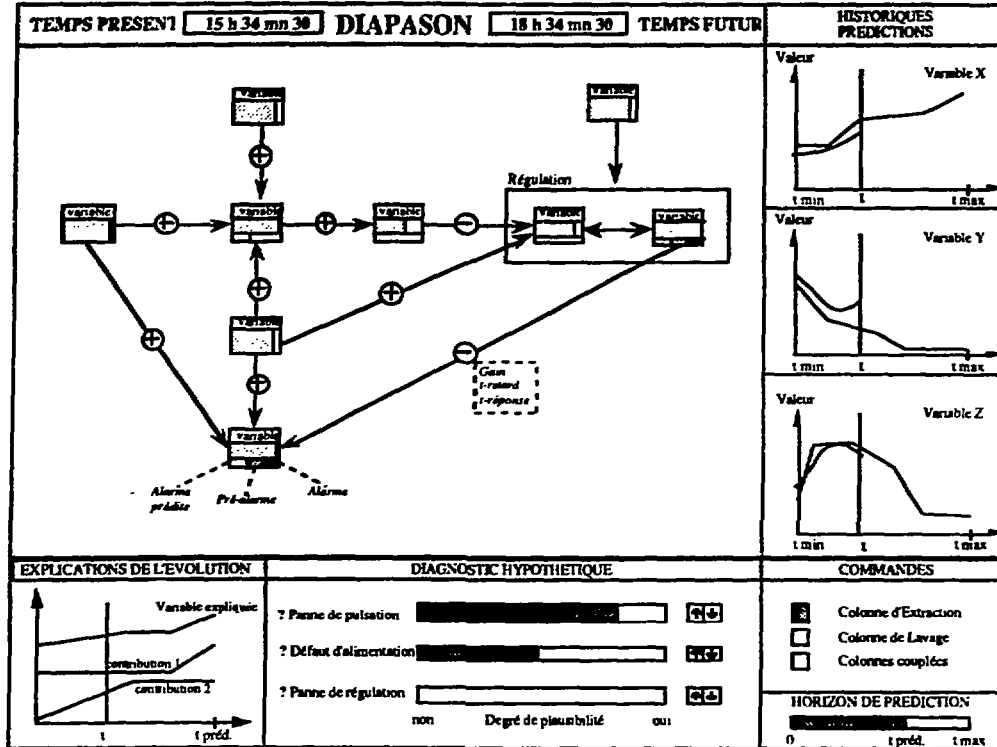


Figure 3 : interface principale DIAPASON

On distingue cinq zones correspondant chacune à une présentation particulière de l'information liée à son mode d'utilisation

V. DISCUSSION

Le système DIAPASON permet de mettre à l'épreuve de la réalité industrielle des principes et techniques que nous pouvons énumérer ici :

- approche des procédés par l'automatique qualitative ; parmi les gains escomptés figurent la rapidité de développement de modèles déclaratifs bien adaptés à la conduite et la capacité à expliquer le comportement d'un procédé ;
- déclenchement du diagnostic sur erreur de simulation. technique qui reste opérationnelle lorsque le procédé est dans un état dynamique ;
- séparation des traitements numériques (analyse du signal pour le diagnostic de défauts) et des traitements basés sur des heuristiques (diagnostic de défaillances) ;
- prise en compte des aspects temporels du raisonnement en amont du moteur d'inférences réservé à la stricte mise en œuvre de l'expertise ;
- utilisation pour le diagnostic final d'un raisonnement hypothétique très proche du raisonnement effectué par des opérateurs, ce qui permet d'espérer une meilleure compréhension et utilisation des résultats.

Les développements futurs porteront sur plusieurs axes :

J

- un outil d'aide à l'extraction des connaissances, basé sur la méthode SAGACE (12), dont l'utilité est fortement ressentie dans un système où doivent coopérer différents modèles de connaissances ;
- la validation des données issues du contrôle-commande, permettant de détecter les dysfonctionnements locaux des capteurs ;
- un module explicatif évolué exploitant les connaissances profondes du modèle qualitatif ;

Références bibliographiques

- (1) Jean-François BOULICAUT et Jean BENEY, "Méta-compilation et Programmation : des Règles Méthodologiques pour la Conception et la Programmation", *Génie Logiciel et Systèmes-Experts*, n° 11, pp 36-48, mars 1988
- (2) Philippe CALOUD, "Raisonnement Qualitatif. Application à l'Aide à la Supervision des Procédés Continus", Thèse de l'INPG, laboratoire LIFIA, décembre 1988
- (3) Laurent COUDOUNEAU, "KE : un Générateur de Systèmes Experts Hypothético-déductif", Mémoire de DEA INSA-Lyon, Laboratoire DELIA, septembre 1989
- (4) Johan De KLEER and John S. BROWN, "A Qualitative Physics Based on Confluences", *Artificial Intelligence*, vol. 24, pp. 7-83, 1984
- (5) Dominique De LAPPARENT, Philippe CALOUD, Yannick DESCOTTE, Stéphane FERAY BEAUMONT, Sylviane GENTIL, Vincent TABORIN et Patrick MILLOT, "Le Projet ALLIANCE", *Systèmes Experts et Conduite de Processus*, OFTA, série ARAGO, MASSON, 1989
- (6) Didier DUBOIS et Henri PRADE, "Handling uncertainty in expert systems : pitfalls, difficulties, remedies", Extrait du Séminaire sur la sécurité et les risques dans l'utilisation des systèmes experts organisé par l'Académie Danoise des Sciences en Mai 1988 à Copenhague
- (7) Stéphane FERAY BEAUMONT, "Modèle Qualitatif de Comportement pour un Système d'Aide à la Supervision des Procédés" *Thèse de l'INPG*, laboratoire LAG, octobre 1989
- (8) Sylviane GENTIL, Stéphane FERAY BEAUMONT and Philippe CALOUD, "Qualitative Modelling for Process Supervision Systems", *First European Meeting on Cognitive Science Approaches to Process Control*, MARCOUSSIS, octobre 1987
- (9) Benjamin KUIPERS, "The Limits of Qualitative Simulation", *IJCAI*, LOS ALTOS, pp. 128-136, 1985
- (10) Lydie LEYVAL, Stéphane FERRAY-BEAUMONT, Sylviane GENTIL, "Event oriented versus interval oriented qualitative simulation", International symposium on mathematical and intelligent model in system simulation, BRUXELLES, septembre 1990
- (11) Jacky MONTMAIN, Lydie LEYVAL, Sylviane GENTIL, "On line qualitative interpretation of a dynamic simulation for diagnosis", International symposium on mathematical and intelligent model in system simulation, BRUXELLES, septembre 1990
- (12) Jean michel PENALVA, "SAGACE : une représentation des connaissances pour la supervision de procédés continus", 10ème Journées Internationales Les Systèmes Experts et leurs Applications, AVIGNON, 1990