

# HABILITATION A DIRIGER LES RECHERCHES

Présentée devant  
**L'Université Paul Sabatier de Toulouse**

Préparée au  
**Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS**

En vue de l'obtention du  
**Diplôme de l'Université Paul Sabatier de Toulouse**

Par

**Audine SUBIAS**

Docteur de l'Université Paul Sabatier

Maitre de Conférences à l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse

---

## CONTRIBUTION AU DIAGNOSTIC DES SYSTEMES COMPLEXES

---

Soutenue le 6 septembre 2006 devant le jury :

Président	J. ZAYTOON
Rapporteurs	E. CRAYE B. DESCOTES-GENON JJ. LESAGE
Examineur	G.GARCIA
Directeur des recherches	M. COMBACAU

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Messieurs Alain Costes, Jean-Claude Laprie et Malik Ghallab, Directeurs successifs du LAAS pour m'avoir accueillie dans ce laboratoire.

Je tiens également à remercier pour leur accueil et leur soutien, Messieurs Valette, Hennet et Roubellat, successivement responsables du groupe Organisation et Conduite de Systèmes Discrets dans lequel j'ai démarré mes activités de recherche.

Je voudrais bien entendu également remercier Monsieur José Aguilar Martin pour m'avoir permis par la suite de rejoindre le groupe Diagnostic Supervision et Conduite qualitatifs dont il assurait la responsabilité et Madame Louise Travé-Massuyes actuelle responsable du groupe pour son soutien.

Mes remerciements vont également aux rapporteurs de ces travaux, Messieurs, Etienne Craye, Professeur à l'Ecole Centrale de Lille, Bernard Descotes-Genon Professeur à l'Université Joseph Fourier de Grenoble et Monsieur Jean-Jacques Lesage Professeur à l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, qui en dépit d'emplois du temps surchargés ont sans hésiter accepté ce travail d'évaluation. Je leur suis infiniment reconnaissante de l'intérêt qu'ils ont porté à mes activités.

Je tiens également à remercier Monsieur Janan Zaytoon Professeur à l'Université de Reims d'avoir accepté de participer au jury et d'en avoir assuré la présidence et Monsieur Germain Garcia Professeur à l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, d'avoir accepté également d'être membre de ce jury.

Mes remerciements particuliers vont à Michel Combacau, mon directeur de recherche, Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse, qui depuis le début, il y a presque quinze ans, m'a guidée, encouragée et soutenue, me permettant aujourd'hui de présenter cette habilitation. Merci Michel également, pour ta sympathie durant toutes ces années.

Il me serait difficile de ne pas associer à ces remerciements mon directeur de thèse, Monsieur Marc Courvoisier Professeur à l'Université Paul Sabatier, qui m'a permis de démarrer dans l'enseignement supérieur et la recherche ainsi qu' Eric Zamai, Amine Boufaied, Marcos Da Silveira, Tatiana Kempowsky, Carmen Lopez-Varela, Siegfried Soldani, qui sont tous des acteurs importants des activités présentées dans ce document.

Je voudrais également exprimer toute ma gratitude à tout le personnel des services administratifs et techniques du LAAS qui m'ont permis d'effectuer ces recherches dans des conditions idéales et particulièrement à Eliane Dufour et Christian Berty pour leur disponibilité, leur gentillesse et leur efficacité.

Bien entendu je n'oublie pas mes collègues du groupe DISCO, de l'UPS et ceux de l' INSA qui m'ont encouragée. Notamment les *Systémiers* présents et futurs : Jacques Erschler, Germain Garcia, Vincent Mahout, Bernard Pradin et Colette Mercé. Merci pour votre confiance, vos conseils précieux et pour la sympathie que vous m'avez témoignée depuis mes débuts parmi vous.

Enfin, je voudrais remercier Christophe, Tom, Julien et Lucie pour toutes ces heures qu'ils m'ont laissé leur voler et pour tout le reste...

## Avant Propos

Ce document fait partie d'un dossier déposé auprès de l'Université Paul Sabatier en vue de l'obtention du Diplôme d'Habilitation à Diriger les Recherches.

Ne sont reprises ici que les parties du dossier relatives aux activités de recherche menées sur la période de 1992 à 2006 au sein du LAAS-CNRS. La synthèse des activités d'enseignement et des activités administratives n'ont pas fait l'objet d'un enregistrement de document.

## Sommaire

1. Synthèse des travaux\_\_\_\_\_p 5
2. Liste des travaux et publications\_\_\_\_\_p 47
3. Liste des programmes de coopération\_\_\_\_\_p 55
4. Liste des mémoires et diplômes dirigés\_\_\_\_\_p 59

# Synthèse des travaux



# Introduction

Le diagnostic est un thème de recherche fédérant différentes communautés scientifiques (Automatique, Informatique, Productique...), aujourd'hui au cœur des préoccupations industrielles. Le diagnostic a pour but d'établir un lien entre un symptôme observé, la défaillance qui est survenue et ses causes.

Au sein de la communauté automatique du continu, le diagnostic se retrouve sous l'appellation « Fault detection and Isolation », regroupant à la fois la détection d'une déviation de comportement qui donne lieu à la génération d'un symptôme (fonction détection) et l'isolation de la défaillance qui mène à la localisation de l'élément responsable de cette défaillance (fonction diagnostic). Pour la communauté automatique des systèmes à événements discrets, à laquelle nous appartenons, le diagnostic se différencie bien de la détection de défaillance qui caractérise le fonctionnement du système comme normal ou anormal. Les défaillances auxquelles nous nous intéressons correspondent à des défaillances au niveau du système commandé. Trois sous fonctions de diagnostic sont alors considérées : la localisation qui détermine le sous-système responsable de la défaillance, l'identification qui détermine les causes qui ont engendré la défaillance et l'explication, qui justifie les conclusions du diagnostic.

Les activités de recherche que nous présentons ici, couvrent ces deux aspects : détection et diagnostic.

De nombreuses méthodes sont à la base des travaux en diagnostic. Sans vouloir être exhaustif mais de manière à mieux situer nos activités, nous pouvons scinder ces méthodes en trois grandes familles en fonction du type de connaissance a priori sur le système :

1. Les approches à base de modèles, qui reposent sur des modèles quantitatifs basés sur les principes physiques fondamentaux ou qualitatifs basés sur la structure du système et les liens entre composants,
2. Les approches à base de connaissance, qui s'appuient sur les connaissances et les raisonnements experts,
3. Les approches à base de données, qui à partir de données historiques réalisent une extraction des caractéristiques.

En terme de méthodes de diagnostic, nos travaux se rangent dans les techniques à base de modèles mais également et depuis plus récemment dans les techniques à base de données (figure 1). Cette vision classique du domaine du diagnostic partitionné selon le type de connaissance a priori ne nous a pas semblé pertinente pour présenter nos activités de recherches. En effet, la complexité des systèmes aujourd'hui nécessite d'envisager des processus de diagnostic mélangeant les différentes techniques existantes.

La synthèse que nous présentons est donc orientée sur les problèmes sous-jacents à la mise en place d'un processus de diagnostic. Cette synthèse de nos travaux de recherche est organisée en deux parties.

La première partie est une présentation de nos activités proprement dites. Nous avons souhaité tout d'abord en donner une vision d'ensemble, en décrivant notre parcours scientifique et en mettant en évidence le pourquoi de nos orientations de recherche, pour ensuite nous focaliser sur les problèmes scientifiques abordés et enfin présenter la poursuite de nos activités.

La deuxième partie de cette synthèse est dédiée à la présentation de notre situation au sein de la communauté scientifique.

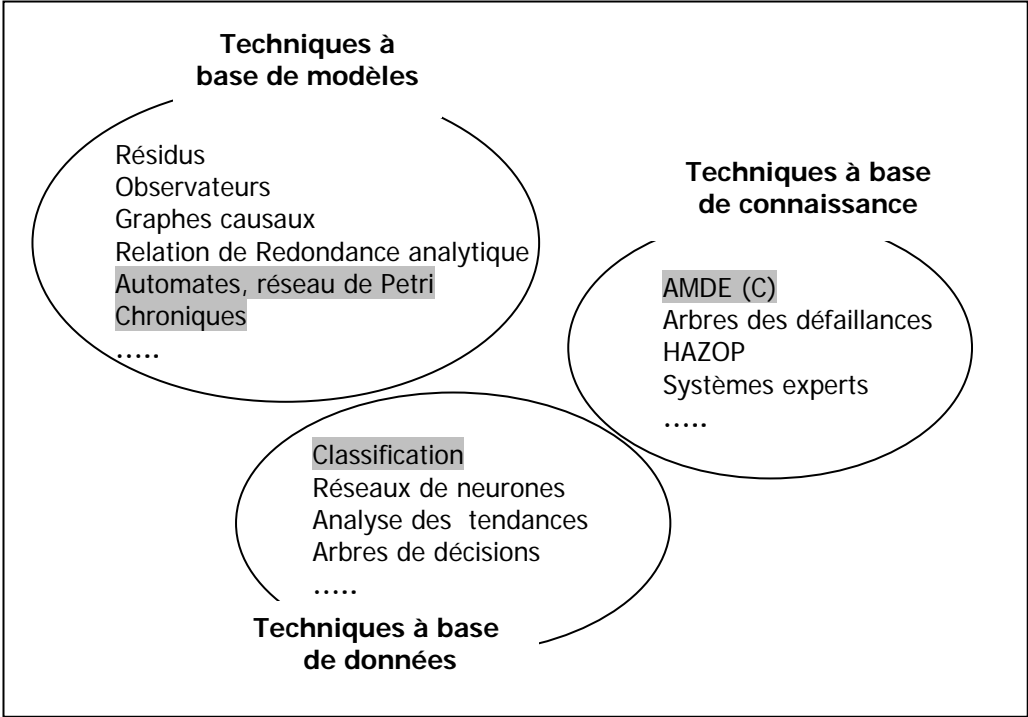


Figure 1 : méthodes et outils en diagnostic

# PARTIE 1 :

## Présentation des activités de recherche

### A. Vue d'ensemble des activités

C'est en février 1992 que nous avons débuté un stage de D.E.A. et intégré le LAAS-CNRS auquel aujourd'hui encore nous sommes rattachés. Depuis cette date, nos activités de recherche portent sur le domaine de la supervision et de la surveillance des systèmes complexes et en particulier sur le diagnostic. Dès notre D.E.A. en effet, nous avons rejoint l'équipe du groupe Système de Production du LAAS travaillant sur la surveillance sous la direction du Professeur M. Courvoisier [Sahraoui 87] [Combacau 91] [de Bonneval 93].

L'approche développée à cette époque consiste en une architecture de commande-surveillance hiérarchique et modulaire (figure 2). Le système de commande repose sur une hiérarchie de décision avec à chaque niveau un découpage en modules. Dans cette architecture, chaque niveau de la hiérarchie est chargé de réaliser les services demandés par le niveau supérieur et ce en utilisant les services offerts par le niveau inférieur. Au sein de chaque module, le service à réaliser est représenté en termes d'activités dans un modèle de la commande. Ce modèle est couplé à un modèle du procédé appelé modèle de référence, qui est un modèle des comportements normaux du procédé. Ces deux modèles constituent le système de commande du module. Le système de surveillance, lui est constitué principalement de cinq fonctions : la détection qui permet d'identifier un symptôme de défaillance, le diagnostic qui a pour objectif d'établir un lien de cause à effet entre le symptôme, la défaillance et son origine [Combacau 91], la décision qui décide du traitement à réaliser pour assurer le retour en fonctionnement normal du système surveillé et l'urgence qui applique des actions prioritaires et prédéfinies visant à garantir la sécurité du personnel et/ou du matériel [de Bonneval 93].

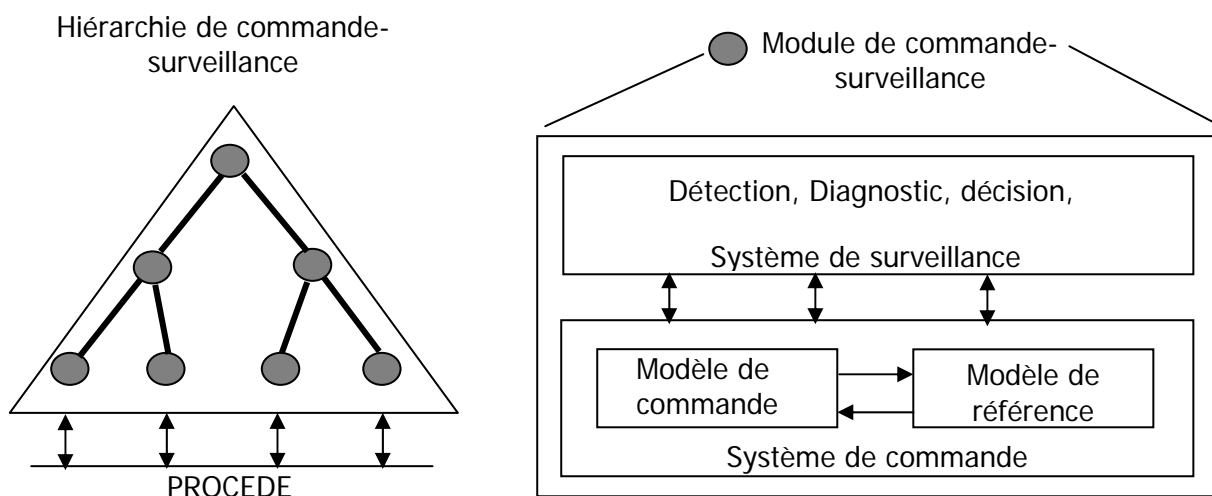


Figure 2

Cette approche de surveillance présente des lacunes en terme de modèles pour la surveillance. En situation de défaillance en effet, le besoin d'information concernant le procédé augmente considérablement. Toutes les fonctions du système de surveillance requièrent des informations sur l'état du procédé, présent ou passé, mais aussi sur ses capacités. La nature même des informations disponibles sur le procédé au sein du modèle de référence n'est pas suffisante. Le modèle de référence est en effet, un modèle du fonctionnement normal et ne contient aucune information relative à une situation de défaillance. Par ailleurs, l'outil de modélisation utilisé que sont les réseaux de Petri ne permet pas une modélisation satisfaisante du procédé. La manipulation de notions telles la constitution physique des éléments ou la distance entre éléments, de connaissances relatives à des durées ou à des dates ou encore la gestion des historiques n'est pas envisageable avec les réseaux de Petri.

Ce constat a été à l'origine de notre stage de D.E.A, dont l'objectif était l'analyse des besoins informationnels des différentes fonctions de surveillance et l'étude préliminaire de différents outils de modélisation (HSENS, STATECHARTS, Entité/Association ..) [Chaillet 92].

En septembre 92, à l'issue de ce travail initiatique nous avons démarré une thèse de doctorat sous la direction de M. Courvoisier et M. Combacau sur le thème

*« Approche Multi-Modèles pour la commande et la surveillance en temps réel des systèmes à événements discrets ».*

Notre contribution a porté sur le problème de la modélisation du procédé surveillé et sur l'exploitation de ce modèle par les fonctions de surveillance, notamment la fonction diagnostic.

En nous inspirant d'une architecture développée au sein du National Institute of Standards and Technology [Simpson et al 82] nous avons proposé une approche reposant sur trois éléments principaux (figure 3) [Chaillet-Subias 95] [Chaillet-Subias et al 97b] :

1. une structure de commande-surveillance hiérarchique et modulaire,
2. un système d'information,
3. un centre de gestion, assurant la communication entre les deux éléments précédents.

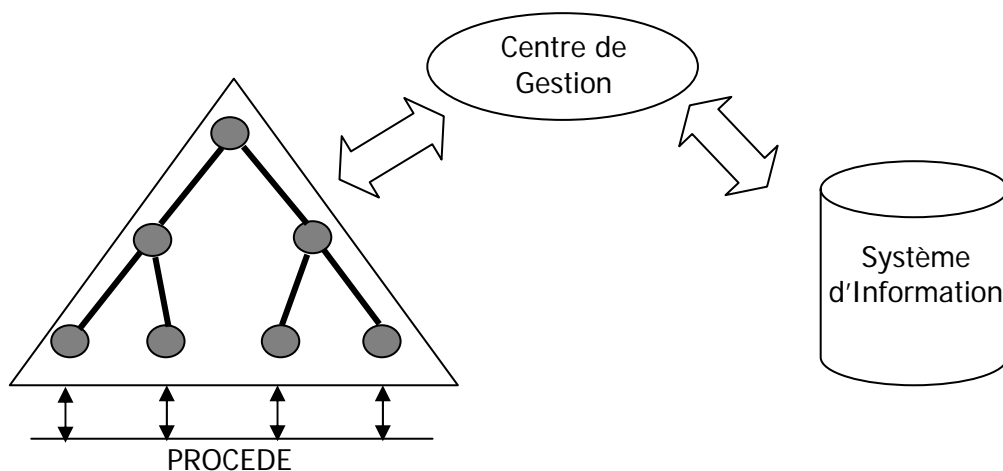


Figure 3

- La structure de commande-surveillance est celle définie auparavant.
- Le système d'information contient un modèle plus riche que celui contenu dans le modèle de référence. Le but de ce système d'information est de fournir un modèle enrichi du procédé. Notre contribution consiste en l'intégration au niveau du système d'information [Chaillet et al 93] [Chaillet-Subias et al 96] de plusieurs éléments :
  - Un mécanisme d'historique reposant sur un principe de version, indispensable pour replonger dans le passé du système notamment lors d'un diagnostic.
  - La modélisation des entités, de leurs propriétés et la modélisation des relations entre entités quelle qu'en soit la nature. Relations de proximité pour représenter la distance entre deux entités, relation d'affectation ou d'appartenance, relation de généralisation du type « est-un » ou bien encore de composition du type « est composé de ». Ces connaissances mettent en avant la compréhension de la structure et du fonctionnement du système.
  - Des informations dérivées, c'est à dire des informations calculées à partir d'autres informations déjà en place dans le modèle.
  - Des contraintes d'intégrité permettant d'exprimer une propriété qui doit être respectée par les données à tout instant.

La représentation du modèle du procédé est faite à partir d'une extension du modèle Entité-Association [Chen 76].

- Le centre de gestion assure toutes les interactions entre d'une part la structure hiérarchique, d'autre part le système d'information. Il permet aux différentes fonctions de commande supervision et surveillance de manipuler et d'exploiter les données stockées dans le système d'information. Plusieurs services sont proposés pour permettre aux différentes fonctions de *mettre à jour* les informations du système d'information, de *recupérer* des informations stockées [Chaillet-Subias et al 96].

Une des limitations des travaux antérieurs à notre thèse se situe au niveau de la fonction diagnostic, dans le cas particulier où une défaillance se propage d'une activité vers une autre. Dans une telle situation la détection n'a pas lieu pendant l'activité en cours et se répercute sur une des activités suivantes. La détection ayant donc lieu dans un module de la hiérarchie différent du module responsable de la défaillance, le système de diagnostic compte tenu des informations dont il dispose, ne peut conclure quant à l'origine de la défaillance. Le résultat de diagnostic permet d'innocenter l'activité en cours mais ne permet pas de conclure sur l'origine du problème. Pour étendre le domaine d'investigation d'un processus de diagnostic et ainsi préciser un résultat de diagnostic, l'approche initiale offre un mécanisme de propagation de diagnostic. Un module qui ne peut conclure propage le traitement de la défaillance vers son niveau supérieur.

Le problème qui se pose alors est celui de la précision du résultat obtenu compte tenu du haut degré d'abstraction du niveau capable de conclure. Des mécanismes d'affinement de diagnostic, permettant de redéclencher un processus de diagnostic dans des niveaux inférieurs sont nécessaires. Notre contribution sur ce point consiste à proposer un algorithme *d'affinement du diagnostic* basé sur une procédure de *Recherche* dans le système d'information, d'entités du système surveillé susceptibles d'être responsables de la défaillance. Cette recherche s'appuie d'une part, sur un parcours en profondeur utilisant notamment les relations de composition « est composé de » en place au niveau du modèle

Entité-Association du système d'information, d'autre part sur une correspondance entre les entités du système d'information et les modules de la hiérarchie de commande surveillance.

A la fin de notre doctorat, le constat suivant au niveau de l'approche développée s'est imposé :

- L'apport d'un modèle du procédé est indéniable.
- La structure hiérarchique est trop contraignante, notamment au niveau des communications inter-niveaux, donnant lieu à une lourdeur et à une grande complexité.
- La surveillance ne doit plus être réduite au simple enchaînement des fonctions détection-diagnostic-décision.
- L'hypothèse d'une défaillance unique sous laquelle l'approche est proposée, doit être levée.

Ce constat réalisé, la résolution des problèmes énoncés a fait l'objet de la thèse de doctorat de Monsieur E. Zamai [Zamai 97]. Cette thèse a permis d'apporter des éléments de réponse à la suppression des verrous des travaux antérieurs, que d'une manière générale nous rassemblons autour du terme « souplesse » :

- Souplesse au niveau des communications inter-modules par l'introduction du superviseur permettant de ne plus uniquement considérer des communications de type appel/réponse, initialement mises en place dans un objectif de commande,
- Souplesse au niveau des traitements de défaillance possibles via le concept d'activité de surveillance,
- Souplesse encore, au niveau de l'adaptation du traitement de défaillance au type de production considéré avec la prise en compte de la stratégie de l'entreprise,
- Souplesse enfin, au niveau du nombre de défaillances simultanées potentielles.

Notre contribution sur ce travail comme nous le verrons ultérieurement de manière détaillée, porte sur les problèmes de communication inhérents à l'introduction du superviseur au sein des différents modules de la hiérarchie.

A partir de là, il apparaît évident que la mise en place d'un système de surveillance doit s'accompagner d'un travail de modélisation. S'appuyer sur un modèle unique à la fois pour avoir des informations sur le comportement, la structure, les défaillances et leurs effets, les spécifications du produit, la séquence de commande ou bien encore la stratégie de l'entreprise en matière de surveillance est illusoire.

C'est en ce sens que nous consacrons une partie de nos activités de recherche sur **les modèles et les informations pertinentes pour la surveillance**.

Dans la continuité des travaux déjà menés, nous nous intéressons au contenu de ces modèles. Ainsi, dans le travail de D.E.A de Mme Kempowsky [Kempowsky 01] nous prenons en compte, aux niveaux des modèles, différents éléments comme le produit, le procédé, le client ou bien encore la stratégie (commerciale, économique ...). Ceci nous conduit directement à considérer les aspects couplage entre surveillance et gestion de la qualité.

La mise en place d'une fonction de surveillance ne nécessite pas toujours l'emploi d'un modèle dédié. Le stage de D.E.A. de Mr Amine BOUFAIED [Boufaied 00] a donné lieu à une proposition d'une fonction pronostic s'appuyant sur des informations issues de différentes sources d'informations (ordonnancement initial, AMDE, historiques des défaillances ...). La fonction pronostic définie a pour objectif de déterminer les conséquences d'une défaillance d'un élément du procédé. Ce travail nous a permis également d'aborder un aspect prédictif qui doit être considéré pour la maîtrise d'un système. En effet, au départ nos travaux étaient

essentiellement centrés sur les moyens à mettre en œuvre pour absorber une défaillance en cours d'exploitation, il apparaît maintenant important d'orienter davantage nos recherches sur l'aspect prévention.

Les activités de recherche que nous venons d'évoquer s'appuient sur des méthodes et techniques issues principalement de l'automatique à événements discrets. Depuis septembre 2002, date à laquelle nous avons intégré le groupe Diagnostic Supervision et CONduite qualitatifs (DISCO) du LAAS-CNRS, nous élargissons nos activités de recherche en surveillance en considérant d'une part des systèmes continus d'autre part des méthodes basées sur les données. Cet élargissement de nos activités est motivé par la volonté d'avoir une adéquation complète entre les thèmes affichés par le groupe DISCO et nos activités de recherche, mais également par la volonté de favoriser le rapprochement entre nos activités de recherche et nos activités d'enseignement.

Ces activités sur la surveillance à base de données, nous ont permis d'aborder la problématique de l'aide au diagnostic. En effet, jusque là dans les travaux que nous avons développés, l'acteur humain n'était pas exclu, mais il avait un rôle réduit puisqu'il apparaissait en effet comme une aide pour notre système de supervision-surveillance. Nous avons donc à cette période, choisi de nous placer dans une logique inverse où le système de supervision-surveillance est une aide à l'acteur humain.

La thèse de Mme Kempowsky [Kempowsky 04] s'insère dans ces activités. Son travail en effet porte sur la supervision de systèmes complexes tels des procédés chimiques ou pétrochimiques. La problématique scientifique sous jacente est que pour de tels systèmes, l'obtention d'un modèle du système n'est pas triviale. Dans ce cas, afin de déterminer l'état du système d'autres approches que celles à base de modèles peuvent être envisagées. Une solution est d'exploiter les données historiques issues du procédé surveillé, mais des problèmes apparaissent alors de par la nature hétérogène et la grande quantité des données à analyser. Les techniques par apprentissage peuvent alors être considérées pour extraire des informations pertinentes des données analysées et ainsi aider l'expert dans la compréhension des comportements du procédé surveillé : ce qui est connu dans la littérature sous le nom de « data mining ». Les résultats ainsi obtenus permettent alors de mettre en place un modèle non pas du système mais des états fonctionnels du système, autour duquel un système de surveillance peut ensuite être développé.

Nos activités sur les modèles pour la surveillance nous conduisent naturellement à nous pencher sur l'exploitation de ces modèles, c'est à dire à la fois sur leur intégration dans l'architecture générale et sur les algorithmes qui en permettent la lecture ou le parcours.

Dans la structure arborescente sur laquelle nos premiers travaux s'appuient, le traitement d'une défaillance est toujours initié localement au niveau le plus bas et ne peut concerner qu'une partie de la hiérarchie. Si le traitement de la défaillance peut être réalisé localement c'est à dire au sein du module où la détection a eu lieu, sans que les autres modules n'en soient informés ou perturbés, il s'agit d'une situation de *confinement*. Dans le cas contraire, le module concerné se voit contraint de *propager* le traitement de la défaillance vers les niveaux supérieurs [Combacau 91]. En effet, la hiérarchie de décision sur laquelle est construite la surveillance, ne permet pas à un module de prendre des décisions hors de sa compétence. C'est le cas notamment, lorsqu'une défaillance sur une opération trouve ses origines dans une autre défaillance. Considérons un système simple composé d'un robot et d'un tapis roulant équipé d'une caméra. Si un robot doit prendre une pièce au bout du tapis roulant et que la pièce n'est pas présente, un symptôme de défaillance va être détecté au niveau de l'opération de prise, quand la pince va se fermer à vide. Mais, l'origine de cette défaillance est antérieure à cette opération de préhension et se situe au niveau du capteur

qui a signalé la présence de la pièce sur le tapis alors qu'elle n'y était pas. Le traitement de la défaillance doit être propagé dans la hiérarchie (figure 4).

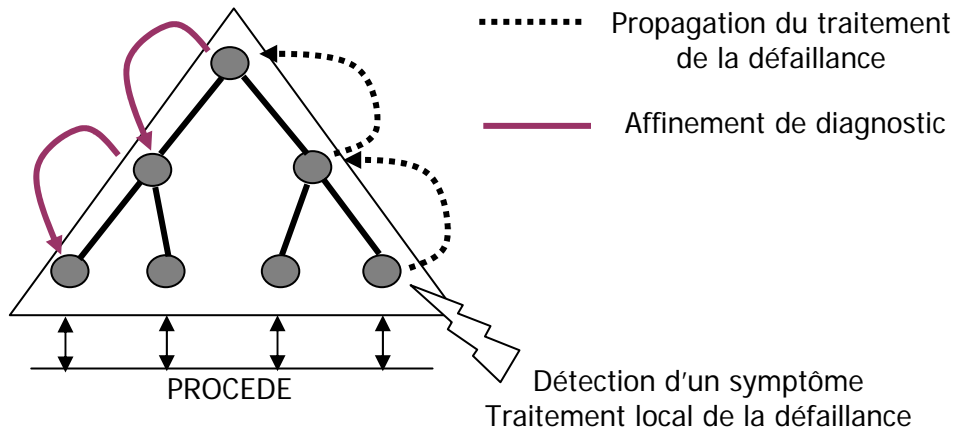


Figure 4

C'est sous l'angle du diagnostic que nous abordons ces concepts de confinement/propagation/affinement. Une analyse détaillée de ces concepts est nécessaire pour permettre une modélisation et une simulation des différents mécanismes mis en en jeu. C'est dans ce but qu'en collaboration avec M. Combacau en 2000 nous avons encadré le stage de Maestria de Mme Kempowsky [Kempowsky 00] qui a donné lieu à la proposition d'un modèle de communication pour le diagnostic.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les premiers travaux développés dans notre équipe de recherche autour de la surveillance des systèmes à événements discrets, s'appuient naturellement sur une architecture hiérarchique. Ce type d'architecture présente en effet l'avantage certain d'être simple et bien identifié. Dès 1998 [Combacau 98] il apparaît que la plupart des problèmes liés à la surveillance sont soulevés et que cette hypothèse sur le type d'architecture s'avère trop limitative pour aller plus avant dans le domaine et appréhender la commande surveillance de tout procédé industriel quelle qu'en soit sa topologie. La rigidité des communications de type maître/esclave, l'importante globalisation de l'information, les difficultés de modification et d'extension sont autant de raisons qui font que la structure hiérarchique doit être mise de côté au profit d'une architecture distribuée [Subias 00] [Dilts et al 91]. Nous abordons ce thème de **la surveillance distribuée** principalement au travers de la distribution des fonctions de surveillance. Il nous semble évident de démarrer la mise en place d'un système de surveillance dans un contexte distribué, par l'étude de la détection dans la mesure où la détection d'un symptôme de défaillance est l'événement déclencheur du traitement de la défaillance. Le premier travail dans cette direction a été confié en octobre 2000 à Mr Amine Boufaied au cours de sa thèse de doctorat [Boufaied 03].

Avec une implication moindre, nous nous intéressons également au problème de la distribution de modèles. Comme nous l'avons souligné, le développement d'un système de surveillance requiert la mise en place de différents modèles : modèle de commande, de référence, du procédé. C'est en ce sens que nous avons suivi les travaux de thèse de Mr Marcos Da Silveira [Da Silveira 03] portant sur la distribution du modèle du procédé et les problèmes de communication inter-modèles sous-jacents.

Ces premiers travaux dans un contexte distribué, nous permettent aujourd'hui de considérer la distribution de la fonction diagnostic. Dans un premier temps nous nous intéressons au problème de propagation de diagnostic. Nous avons déjà abordé ce thème dans un contexte hiérarchique mais il nous faut maintenant l'envisager en distribué. Un travail en ce sens, a été réalisé par Mme Carmen Lopez Varela au cours de son stage de D.E.A. [Lopez-Varela 04]. Sur cette base, notre objectif est d'aborder le diagnostic distribué et plus largement, d'aborder les problèmes de prise de décision dans une architecture distribuée. Aussi, depuis septembre 2004 nous co-encadrons avec M. Combacau la thèse de Mme Lopez Varela sur le thème du diagnostic distribué. Cette problématique rejoint celles des travaux menés sur le diagnostic à base de modèles dans la communauté *DX* (du nom du Workshop du même nom) et plus particulièrement les travaux récents sur le diagnostic décentralisé des systèmes à événements discrets et les approches « diagnostiqueur » à base d'automates [Sampath et al 96]. Le travail de Mme Lopez-Varela va néanmoins se distinguer de ces approches dans la mesure où d'une part l'architecture de diagnostic proposée repose sur des modules génériques sans notion de module superviseur, coordinateur ou diagnostiqueur global, d'autre part les modèles de diagnostic ne sont pas exclusivement des modèles de comportements défectueux mais des modèles de comportements normaux. Nous n'excluons tout de même pas la possibilité d'inclure dans le modèle des comportements défectueux pour des défaillances bien identifiées. Sur la base de modèles de comportements normaux, un symptôme de défaillance est détecté par une incohérence entre les événements observés lors de l'évolution du système et ceux attendus au niveau du modèle. Cette incohérence peut provenir des observations qui peuvent contenir des événements intempestifs ou au contraire ne pas faire apparaître certains événements. Dans le cadre de cette thèse nous considérons également qu'une incohérence peut être due au modèle qui est alors incorrect ou incomplet. Notre objectif est d'établir un diagnostic en rétablissant la cohérence entre le modèle et le comportement réel observé, et en permettant de localiser les événements à l'origine de l'incohérence. Pour l'instant nous envisageons une modélisation par réseaux de Petri et nos travaux actuels portent sur le rétablissement de la cohérence par transformation du modèle. Le diagnostic ainsi réalisé, sera établi par un module de manière autonome ou bien par un ensemble de modules communicants selon la situation. Bien que centrées sur le diagnostic, les propositions émanant de cette thèse devront considérer des aspects connexes comme la prise en compte des délais de communication entre diagnostiqueurs, les possibilités de changement de topologie du système à diagnostiquer, l'intégration de la fonction diagnostic avec d'autres fonctions de supervision/surveillance et les problèmes de propagation de défaillances.

Enfin, depuis environ un an nous démarrons des travaux autour du thème **du diagnostic embarqué** pour l'automobile qui est à la jonction des activités que nous menons sur les modèles pour la surveillance et de celles sur la surveillance distribuée.

En effet, depuis septembre 2004, nous sommes membre du nouveau laboratoire de recherche commun entre la société ACTIA Automotive leader du diagnostic électronique automobile, le LAAS-CNRS et l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT). Baptisé Autodiag<sup>1</sup>, ce laboratoire commun axé sur le diagnostic automobile a pour objectif de développer des recherches couvrant les différents aspects du diagnostic automobile actuel et de préparer le diagnostic automobile du futur répondant aux besoins introduits par les avancées technologiques sans cesse croissantes des constructeurs. Les recherches de ce laboratoire s'articulent autour du concept de base d'une architecture de diagnostic s'appuyant sur différentes méthodes : raisonnement à base de modèles (MBR), raisonnement à base de cas (CBR) et reconnaissance des formes (RDF). Dans ce contexte, les travaux développés par le LAAS-CNRS et plus particulièrement par le groupe DISCO

---

<sup>1</sup> Autodiag : Directeur Jérôme Thomas (ACTIA) Directeurs scientifiques : Louise Travé-Massuyes (LAAS-CNRS) Gilles Zurfluh (IRIT) ; Ressources humaines (H/an) : ACTIA 4, LAAS 4, IRIT 4.

concernent le développement des différents modules MBR, CBR et RDF ainsi que celui de l'architecture globale de diagnostic (architecture MODE Multiple Knowledge Diagnosis Engine). Des études sur la mise en place de microcapteurs additionnels sont également réalisées en partenariat avec le groupe MIS (Microsystèmes et Intégration des Systèmes) du LAAS-CNRS. Notre implication dans ce laboratoire porte surtout sur le thème du diagnostic préventif embarqué et du diagnostic distribué. Un module de diagnostic embarqué a été intégré à l'architecture MODE proposée par ACTIA.

Dans ce cadre, depuis décembre 2004 nous co-encadrons avec M. Combacau la thèse de Mr Siegfried Soldani réalisée en convention CIFRE avec la société ACTIA. Dans ce travail, il s'agit d'envisager un module de diagnostic embarqué au sein du véhicule sur lequel les garagistes s'appuieraient pour mettre en évidence des pannes n'ayant pas encore généré de symptôme. Cet aspect préventif du diagnostic doit également être abordé dans le contexte à bord et en temps réel, afin de déceler une dégradation et de prévenir le conducteur. Ce module embarqué doit aussi permettre l'enregistrement des pannes sur un ordinateur dédié en vue d'une maintenance en garage. Une des priorités de ce travail, est de considérer le cas de pannes intermittentes et fugitives (e.g. faux contact sur un capteur) au travers de la surveillance des messages échangés sur les bus de type CAN reliant les différents calculateurs présents aujourd'hui sur les véhicules. A partir des documents de spécifications un premier modèle sous forme réseau de Petri du comportement attendu décrit aux travers des événements observables sur le CAN a été mis en place. Une première approche de détection et de localisation a déjà été proposée [Soldani et al 06]. Un symptôme de défaillance est détecté dès qu'il y a incohérence entre un événement reçu et les événements attendus au niveau du modèle. Le mécanisme de détection s'appuie simplement sur le test de sensibilisation des transitions du réseau de Petri. L'étape de localisation consiste à modifier la séquence des observations reçues jusqu'à la détection, pour trouver une séquence de franchissement dans le modèle permettant d'expliquer le marquage du réseau au moment de la détection. Dans la mesure où les défaillances qui nous intéressent sont les défaillances fugitives et intermittentes, nous avons considéré qu'un seul événement leur était associé. Le rétablissement de la cohérence se fait donc par suppression ou ajout d'un seul événement dans la séquence d'observables. La suppression d'un événement traduit l'occurrence d'un événement intempestif lors de l'évolution du système alors que l'ajout d'un événement dans la séquence traduit l'absence de cet événement au niveau du système réel. Cette étape de localisation conduit à considérer l'événement ajouté ou supprimé comme localisation possible de la défaillance. Une exploration complète de l'espace de recherche pendant cette phase de localisation pose un problème de complexité évident, la réduction de l'espace de recherche est donc un point abordé par ces travaux. Par ailleurs, nos efforts actuels portent sur la taille de la fenêtre (séquence) d'observations à considérer pour ne pas engendrer une localisation erronée. Considérons le cas simple d'un modèle réseau de Petri à partir duquel deux séquences d'observations sont attendues :  $e1, e2, e4, e6$  et  $e1, e4, e5$ . La réception de  $e4$  après  $e1$  ne traduira aucune déviation de comportement. Par contre si après  $e4$  c'est l'événement  $e6$  qui est observé une défaillance sera détectée au niveau de la deuxième séquence alors que le problème se situe sur la première, au niveau de la non réception de  $e2$ . L'idée est d'essayer au fur et à mesure de l'évolution du système, d'écarter les événements reçus qui ont été confirmés comme cohérents (i.e. non intempestifs) par des événements postérieurs.

Ces travaux sur le thème du diagnostic embarqué rejoignent nos activités sur les aspects modèles pour la surveillance. L'aspect distribué du diagnostic est également présent dans ces activités car actuellement le diagnostic automobile ne peut être envisagé en dehors d'un contexte de sites : constructeur, garage, véhicule. Nous rejoignons ainsi nos travaux sur la surveillance distribuée.

Ce tour d'horizon de notre parcours scientifique, fait ressortir le fil conducteur de nos activités qu'est le thème du diagnostic. Il s'agit du diagnostic au sens large incluant les aspects détection et diagnostic. Dans de nombreux travaux la distinction entre ces deux fonctions n'est pas faite dans la mesure où le diagnostic ne peut avoir lieu sans la détection d'un symptôme de défaillance au préalable. Néanmoins la détection d'une déviation de comportement peut en revanche être réalisée sans pour autant donner lieu à un diagnostic et conduire par exemple directement à une action d'urgence. C'est donc autour de cette **thématique diagnostic** que nous développons nos différentes activités en considérant les problèmes liés aux modèles ou aux données (absence de modèle) utilisés, à l'exploitation des modèles et aux architectures (hiérarchique/distribuée).

La suite de cette synthèse se focalise sur la présentation détaillée des différents problèmes scientifiques et des travaux les abordant.

## B. Détails des activités

### B.1 Sur les modèles et les sources d'informations pour la surveillance

- B.1.1 L'approche superviseur : modèle de la stratégie et modèle de surveillance

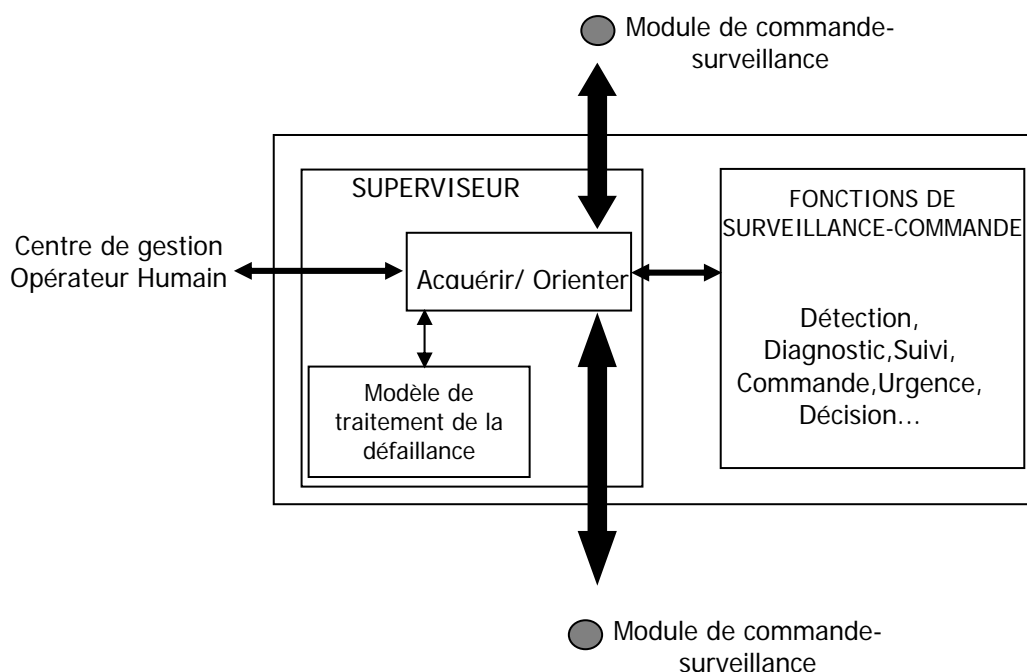


Figure 5

Cette approche [Zamaï 97] repose sur deux points principaux :

1. La mise en place d'un *superviseur* au sein de chaque module

C'est à ce niveau que se situe notre contribution à ces travaux que nous n'avons pas directement dirigés. En effet, nous nous sommes intéressés aux aspects communications liés à l'introduction du superviseur dans la hiérarchie de surveillance (figure 5). En particulier nous avons travaillé sur les aspects de gestion des flux d'informations verticaux au sein de la hiérarchie et des flux horizontaux entre la hiérarchie et le centre de gestion [Chaillet-Subias et al 97a]. Cette collaboration s'est traduite par de nombreuses publications co-signées en revues et conférences internationales ([R1][R2][CI5][CI7][CI8][CI9][CO1] de la partie « Liste des travaux et publications »).

2. L'utilisation de modèles pour le traitement de la défaillance

- Les modèles pour le traitement de la défaillance sont au nombre de deux : un modèle de la stratégie de surveillance-commande spécifiée par l'utilisateur qui définit le traitement de la défaillance choisi par l'entreprise et un modèle de surveillance définissant les différents traitements de défaillance possibles. Ces deux modèles reposent sur le concept d'activité. Une activité représente un état du système de surveillance-commande obtenu en associant les éléments ressources, produit et une ou plusieurs fonctions de surveillance-commande. Les fonctions considérées par E. Zamaï sont : Commande, Détection, Diagnostic, Suivi, Décision, Reprise, Urgence. Par exemple une activité de production normale c'est à dire réalisée en dehors d'une situation d'une défaillance et respectant parfaitement le cahier des charges, sera décrite par l'association :

<ressource, produit, détection, suivi, commande>

Ce qui signifie que pendant cette activité, les fonctions Commande, Détection et Suivi, sont simultanément actives.

La fonction Suivi qui apparaît ici a été introduite par Mr Zamaï [Zamaï97] et définie comme la fonction chargée d'absorber toutes les informations en provenance du sous-système surveillé. L'introduction de cette nouvelle fonction permet d'une part d'avoir une image la plus fidèle possible de ce qui s'est passé au niveau du procédé, d'autre part d'établir un lien avec la mise en place d'une traçabilité indispensable pour la gestion de la qualité. Nous reviendrons ultérieurement sur cette perspective de recherche qui a fait l'objet d'un stage de D.E.A. [Kempowsky 01].

- Le superviseur se charge d'acquérir et d'orienter toutes les informations externes qui arrivent au niveau d'un module. Le flot d'information vertical est constitué de requêtes de commande, de diagnostic, de reprise ou d'urgence, imposées par le niveau supérieur mais également de compte-rendus émanant du niveau inférieur. Il peut s'agir de compte rendu de fin d'exécution d'une commande, de fin de reprise locale ou bien encore de propagation d'un traitement de défaillance [Zamaï et al 98]. Par ailleurs, le superviseur doit gérer les informations internes au module correspondant à des résultats obtenus par les différentes fonctions de surveillance-commande. Ces informations doivent être aiguillées soit vers d'autres fonctions (aiguillage interne) soit vers un autre module (aiguillage externe). Le superviseur gère également le flot d'informations horizontal avec le centre de gestion. Enfin, le

superviseur au travers d'un moteur d'exploitation gère l'exécution simultanée ou séquentielle des différentes fonctions en respectant les contraintes décrites dans les modèles de traitement de la défaillance.

### ▪ B.1.2 Surveillance et gestion de la qualité : modèle du produit et traçabilité

L'occurrence de défaillances dans un procédé industriel a la plupart du temps des répercussions directes sur la qualité du processus de production et/ou du produit. Aussi, au travers du travail de D.E.A. de Mme Kempowsky [Kempowsky 01] notre objectif était d'aborder le problème de la gestion de la qualité sous un angle différent de celui considéré jusque là. En effet, ce problème de qualité n'avait été considéré qu'au travers de la surveillance en phase d'exploitation. Nous avons cherché à compléter les travaux existants dans notre équipe en intégrant une politique d'assurance qualité au niveau du système de production, c'est à dire en intégrant un ensemble d'activités garantissant la conformité des produits et services aux exigences des clients. De cette manière, la surveillance n'est plus seulement limitée à la prise en compte des défaillances du procédé, mais intègre également, les défaillances de type *non conformités* détectées hors ligne. Au travers de ce sujet nous souhaitons renforcer l'aspect modèle du produit complémentaire des modèles orientés procédé ou commande.

La mise en place d'une politique d'assurance qualité suppose qu'un cadre de fonctionnement garantissant la qualité exigée soit imposé et qu'une politique de suivi de la qualité soit appliquée. Dans ce contexte, le travail de Mme Kempowsky propose que la mise en place d'une politique d'assurance qualité repose sur l'intégration de trois services.

#### • La traçabilité :

Nous avons considéré deux types de traçabilité :

1. Une traçabilité descendante qui trace le produit de son origine à sa destination que ce soit en fonctionnement normal ou en situation de défaillance. Ce type de traçabilité doit s'appuyer sur des procédures d'identification et d'enregistrement, ce qui lui confère un caractère plutôt préventif.
2. Une traçabilité ascendante, permettant de trouver la source d'un produit non conforme. Ce type de traçabilité présente un caractère curatif, dans la mesure où la traçabilité ascendante est principalement destinée à éliminer un problème.

L'intégration de ce service au niveau du système de surveillance se traduit par une nouvelle définition de la fonction Suivi introduite dans la thèse de Mr Zamaï en 97 et par un enrichissement du système d'information en prenant en compte certaines données liées à la qualité du produit qui jusque là n'étaient pas considérées (cahier des charges, spécifications des besoins clients, données d'identification des produits ...). Le rôle initial de la fonction Suivi était d'absorber les informations émises par le procédé surveillé et ce afin d'obtenir une image aussi fidèle que possible du système commandé. La fonction Suivi a donc été redéfinie comme la fonction chargée d'absorber toutes les informations reçues au niveau d'un module, de les organiser et de les transmettre afin qu'elles soient enregistrées au niveau du système d'information. Sont considérées comme information "reçues" toutes les requêtes provenant du niveau supérieur (requête de commande, de diagnostic, de reprise..), tous les comptes

rendus reçus et émanant du niveau inférieur, ainsi que toutes les informations "internes" renvoyées par les fonctions de surveillance-commande en place au niveau du module. Il peut s'agir dans ce cas, de requête (demande d'affinement de diagnostic), de compte-rendus de fin d'exécution de service ou bien de résultats (de diagnostic, de pronostic...).

- *Le traitement des non-conformités détectées en ligne :*

Les non conformités sont dans ce cas les défaillances de la partie opérative surveillée. Le système de surveillance sur lequel ces travaux s'appuient, permet de réaliser un tel service, puisqu'en effet, le système offre plusieurs possibilités pour le traitement des défaillances du procédé définies dans un modèle de surveillance [Combacau et al 98]. Le travail de Mme Kempowsky consiste à ce niveau à autoriser l'exploitation par toutes les entités de l'entreprise, des résultats issus des fonctions de surveillance-commande lors du traitement d'une défaillance. Les enregistrements réalisés par la fonction *Suivi* concernant les types de défaillances détectées, la stratégie utilisée pour leur traitement et les répercussions au niveau du procédé et du produit fabriqué, assurent un enrichissement du système d'information nécessaire à la gestion de la qualité. Ces informations sont mises à la disposition (accessibles) de toutes entités de l'entreprise

- *Le traitement de non conformités détectées hors ligne :*

Une non conformité est une non satisfaction du client. La détection d'une non conformité correspond à une déviation par rapport à un ensemble d'exigences spécifiées, constatée hors ligne. Dans la mesure où le système de surveillance n'a pas été initialement conçu pour prendre en compte des événements postérieurs à la sortie du produit, il apparaît nécessaire de disposer d'une entité capable d'une part, de recevoir les réclamations en provenance des clients mais également d'autres entités de l'entreprise, d'autre part, de réaliser des opérations d'identification de non conformité, de localisation, d'analyse et d'envoi de résultats vers les entités capables de mener les actions correctives nécessaires. Cette constatation se traduit par la proposition d'intégrer un *Gestionnaire qualité* dans l'approche de supervision-surveillance.

Les résultats obtenus nous confortent dans l'idée que la mise en place d'un système de surveillance doit être intégrée à tous les niveaux de l'entreprise (figure 6), production, service client, approvisionnement et autres, en prenant en compte différents éléments comme le produit, le procédé, le client ou bien encore la stratégie (commerciale, économique ....).

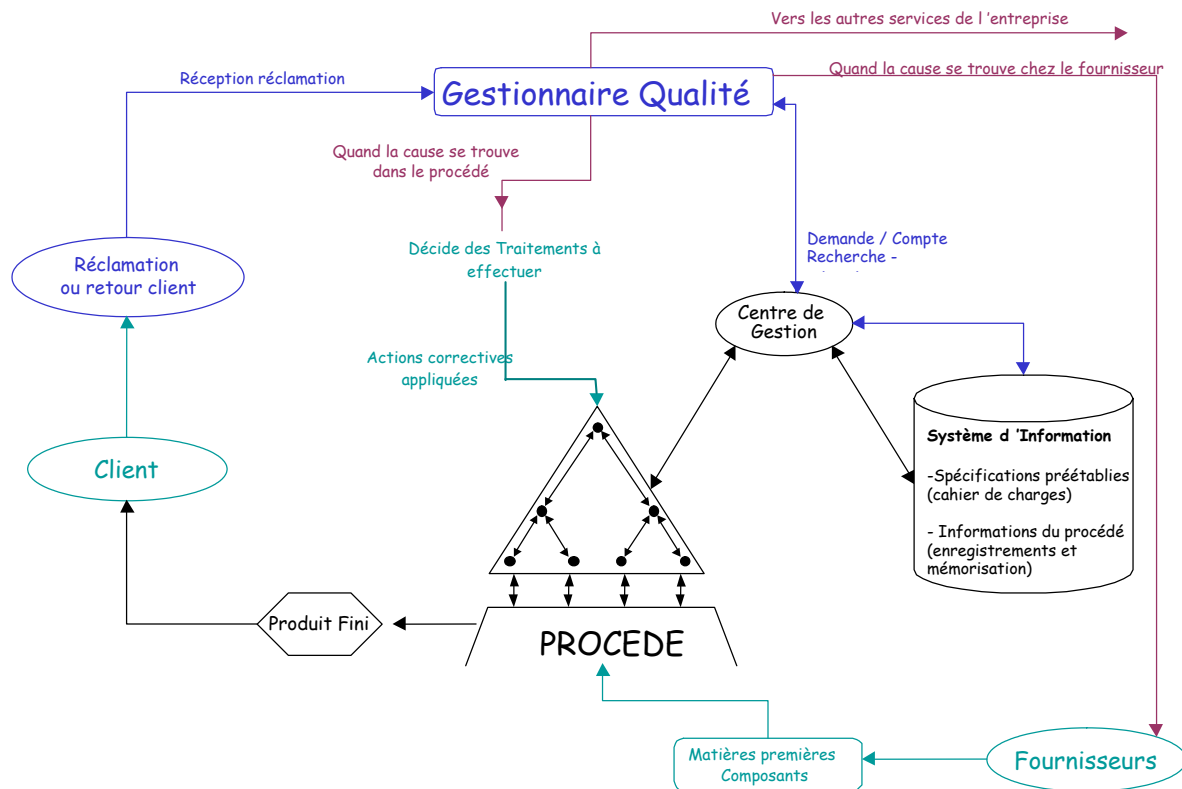


Figure 6

### ▪ B.1.3 La fonction pronostic : des informations issues de l'ordonnancement, des historiques et des AMDE

Le principe de base de ce travail [Boufaied 00] est de considérer deux facettes différentes pour la fonction pronostic. La première facette a pour but de déterminer les conséquences inéluctables de la défaillance diagnostiquée, et constitue le pronostic préventif. La seconde qui correspond à un pronostic dit préliminaire, permet de considérer les défaillances qui ne sont pas immédiatement détectées, c'est à dire celles qui correspondent à des situations de propagation de défaillance [Boufaied et al 01] [Da Silveira et al 03].

- Le pronostic préventif à partir de la connaissance de l'ordonnancement initial, détermine l'ensemble des ressources dont l'ordonnancement des activités sera perturbé. Pour chacune de ces ressources, le pronostic préventif quantifie ensuite le retard minimal impliqué par le traitement de la défaillance. Ce résultat est transmis à la fonction décision comme un indicateur de respect (ou non-respect) de l'ordonnancement initial, permettant ainsi d'engager des actions préventives (modification de l'ordonnancement initial). Le pronostic préventif, s'appuie sur d'une part sur une Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets réalisée à partir du symptôme généré par la détection pour déterminer l'ensemble des ressources concernées i.e. rendues indisponibles par la défaillance, d'autre part sur des techniques d'ordonnancement de tâches et notamment sur le principe des marges libres séquentielles pour quantifier le retard.

- Le pronostic préliminaire est appliqué en situation de propagation de défaillance et nécessite la connaissance de l'origine de la défaillance. Dans ce cas, la défaillance peut avoir provoqué un défaut sur plusieurs produits avant d'être détectée sur un produit particulier. Le pronostic préliminaire doit déterminer l'ensemble des produits susceptibles d'être affectés et de donner lieu à leur tour à la détection d'un symptôme similaire. La phase d'identification du premier produit défectueux est un problème technique nécessitant une vérification manuelle des différents produits suspectés. La liste des produits suspectés est obtenue par une recherche en "arrière" partant de l'activité ayant donné lieu à la détection de défaillance vers la dernière activité portant sur la ressource incriminée et ayant donné un produit sain. Le résultat du pronostic préliminaire sous forme d'une liste des produits défectueux, est transmis à la fonction décision pour permettre de lancer des actions préventives (mises au rebut des produits défectueux) afin d'éviter des défaillances à la chaîne de même nature que celle à l'origine du pronostic réalisé. Le pronostic préliminaire s'appuie sur un historique des traitements réalisés obtenu à partir d'une traçabilité ascendante.

La mise en place de cette nouvelle fonction est pour nous un premier pas vers les aspects préventifs que jusqu'à lors nous n'abordions pas et vers lesquels nous nous orientons maintenant au travers du laboratoire Autodiag et du diagnostic automobile.

#### ▪ B.1.4 La propagation de diagnostic : modèle de communication

Le problème de confinement/propagation évoqué précédemment, se pose en particulier pour la phase de diagnostic. Dans le module qui initie le traitement de la défaillance, un diagnostic est enclenché pour identifier l'origine de la défaillance. Ce module n'étant pas directement responsable de la défaillance, le processus de diagnostic ne peut aboutir au résultat attendu. Une propagation du traitement de la défaillance a lieu pour dans un premier temps élargir le champ d'investigation du processus de diagnostic. Cette propagation est réalisée jusqu'à ce qu'un module ait les connaissances suffisantes pour trouver l'origine de la défaillance. Mais étant donné le niveau d'abstraction de ce module, la conclusion qu'il a élaborée est assez grossière et manque de précision ce qui peut par la suite engendrer une correction de la défaillance plus « brutale » qu'il n'est réellement nécessaire. Aussi, un processus *d'affinement* du diagnostic est entamé au travers du déclenchement de processus de diagnostic locaux [Chaillet-Subias 95].

Le travail de Mme Kempowsky [Kempowsky 00] a permis d'analyser, de modéliser et de simuler les mécanismes inhérents à ces concepts de confinement/propagation/affinement. En s'appuyant sur les flux d'informations et les communications inter-niveaux existants au sein de la hiérarchie et sur le superviseur mis en place dans chaque module, un modèle de communication générique a été proposé. Ce modèle permet à un module de la hiérarchie, de gérer les envois et réceptions de messages liés au processus de diagnostic. A partir de l'analyse d'un message un module peut activer différents mécanismes internes pour : propager un diagnostic, envoyer une requête d'affinement dans un niveau inférieur, générer un compte rendu de succès ou d'échec.

- **B.1.5 Surveillance à base de données : génération de modèle de comportement**

Nous avons mené ces activités au travers de la thèse de Mme Kempowsky dont le premier objectif était de développer une approche de surveillance en ligne de procédé s'appuyant sur une méthode à base de données telle qu'une méthode de classification.

Le principe à la base de ces travaux est que l'observation de la trajectoire d'un système dynamique au travers d'une séquence d'assignations de l'état courant à des classes, donne une information pertinente sur le comportement réel du système. Cette information n'est de plus pas dégradée par la répétition du processus d'assignation. En effet, considérons un système continu dont l'état n'est accessible qu'au travers d'une partition de l'espace d'états. Le système génère un événement à chaque fois que sa trajectoire franchit une frontière de cette partition [Lunze 99]. La surveillance du système peut alors être abordée par la détermination de la classe courante dans la partition de l'espace d'états et de la séquence d'événements générée par les entrées futures à partir de la classe d'état courante. Il est vrai que la connaissance de la classe initiale de la partition ne définit pas l'état initial du système mais permet de le restreindre à une partition. Aussi, pour suivre le comportement du système est-il nécessaire de considérer l'ensemble de toutes les trajectoires qui partent de la classe initiale. Néanmoins, sous certaines conditions sur le vecteur d'état et sur la partition nous avons montré que la séquence d'événements générée est unique c'est à dire que la séquence des classes est unique [Kempowsky et al 06a]. L'observation de cette séquence de classes donne alors une information pertinente sur la trajectoire réelle du système surveillé. Cette séquence de classe permet de considérer le système comme un système à événements discrets et d'en représenter le comportement au travers d'un automate dont les états sont les classes de la partition. Les transitions entre états sont elles déterminées à partir des changements de classes observés. Dans un contexte de surveillance, les événements de transitions sont généralement inconnus et dans ce cas l'automate généré ne peut donc qu'indiquer les transitions possibles à partir d'une classe donnée. Cette estimation des transitions est donc fortement liée à l'espace d'état considéré.

Nous nous sommes appuyés sur une partition floue de l'espace d'états. La notion essentielle de notre approche est donc l'appartenance de l'état courant du système à une classe. En conséquence, il n'est pas possible contrairement à ce qui est fait avec des approches de partitionnement régulières de raisonner sur la façon dont le franchissement des frontières de la partition est réalisé. Quand une transition se produit, aucune information exacte sur l'état du système ne peut être obtenue. Néanmoins, l'examen des tendances d'évolution des fonctions d'appartenance permet de déterminer les transitions attendues. Cette incertitude inhérente à l'utilisation d'une partition floue rend essentielle l'intégration de la connaissance de l'expert lors de la génération de l'automate. L'expert devra alors valider la pertinence de certaines transitions.

Sur ces bases, l'approche de surveillance proposée par Mme Kempowsky permet de reconnaître en ligne certains comportements ou certaines situations au niveau du procédé surveillé. Cette reconnaissance de situation suppose la capacité de détecter des défaillances qui à tout instant peuvent se produire au niveau du procédé et en modifier le comportement. De plus, ce travail a abouti à la mise en place d'un modèle du comportement observé ou plus précisément un modèle des états observés du système et des transitions attendues.

La solution apportée consiste en une stratégie pour la supervision des procédés complexes [Kempowsky et al 04c] décrite schématiquement par la figure 7 et basée sur trois étapes :

1. Caractérisation du procédé : c'est une phase réalisée hors-ligne, au cours de laquelle, les données issues du procédé surveillé sont analysées à base d'une technique par apprentissage. Les données utilisées peuvent être des données brutes correspondant directement aux mesures faites sur le procédé, ou bien des données ayant subi un prétraitement par le biais d'outils de filtrage ou d'extraction d'information. Cette étape de caractérisation permet d'établir un patron (« pattern ») ou modèle de référence du comportement (situation) du système. Le choix des données considérées est bien évidemment un point épineux qui conditionne l'obtention d'un modèle de référence pertinent. Seuls les comportements appris apparaissent dans ce modèle, qui est exempt d'erreur de modélisation mais qui par contre n'est pas complet dans la mesure où les données historiques ne peuvent couvrir de manière exhaustive les comportements du procédé.

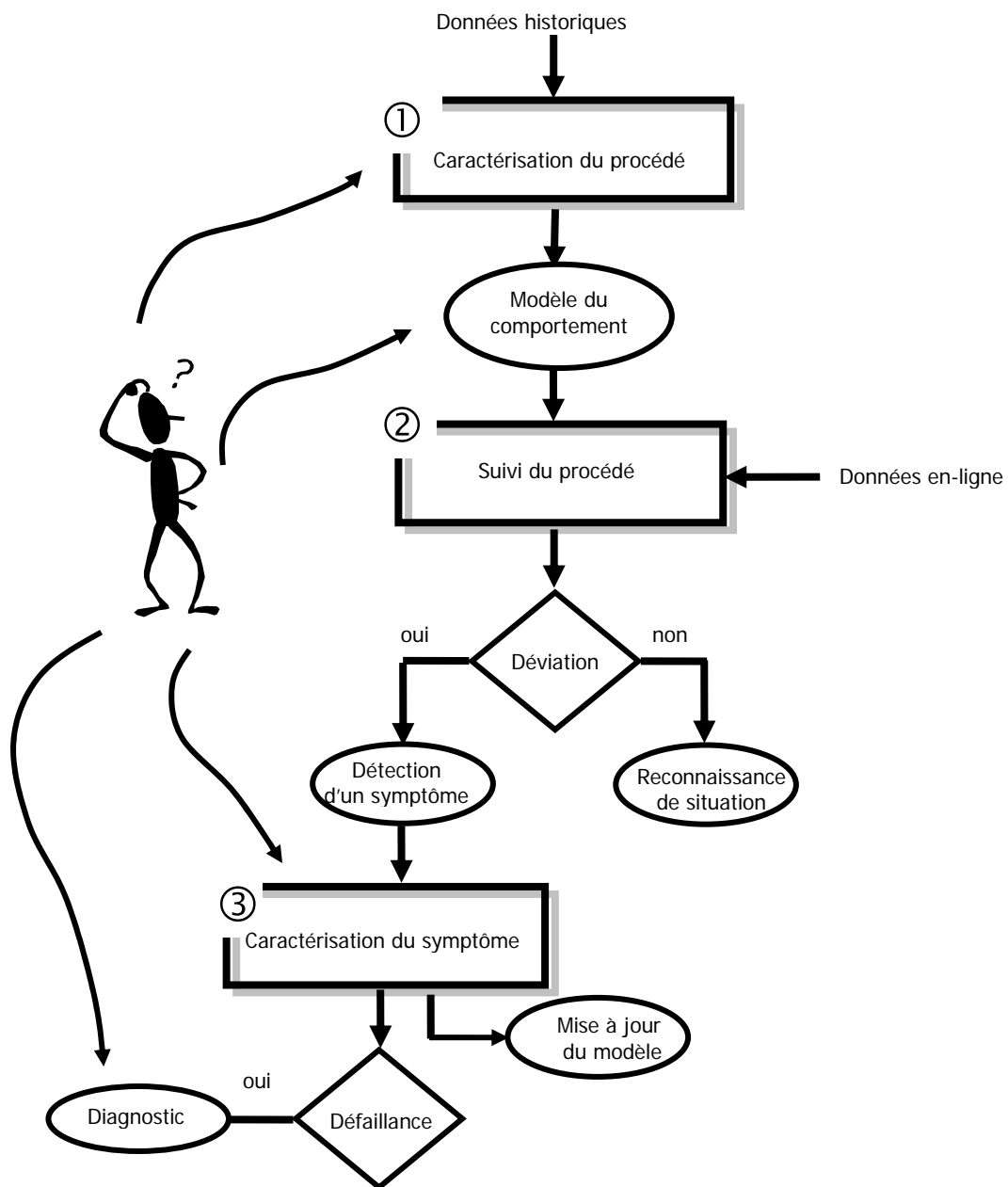


Figure 7

Une situation non apprise peut soit correspondre à une situation normale mais non présente dans les données historiques, soit à une situation traduisant une réelle défaillance au niveau des éléments physiques du procédé (capteurs/actionneurs). Il n'est pas exclu que dans certains cas, ce modèle puisse inclure certains comportements dus à des défaillances bien identifiées par l'expert.

2. Suivi du procédé : au cours de cette étape, les données d'entrées traitées en ligne sont analysées afin de décider si le comportement courant du procédé est normal c'est à dire s'il s'agit d'un comportement appris. Il s'agit donc d'une étape de reconnaissance. La comparaison entre le comportement observé et le comportement attendu permet de mettre en évidence toute déviation de comportement quelle qu'en soit la nature. Cette déviation se traduit par un symptôme de défaillance. Si aucune déviation n'est constatée, les situations apprises sont reconnues et cette étape correspond à une étape dite de « Situation Assessment ».
3. Caractérisation du symptôme : cette phase est réalisée hors-ligne et a pour objectif d'affiner la détection réalisée précédemment en discernant un symptôme dû à une situation normale non apprise d'un symptôme de défaillance. Cette étape nécessite d'isoler les données associées au symptôme et de les analyser de telle sorte que l'expert puisse interpréter le symptôme. La caractérisation du symptôme est déterminante pour les décisions futures notamment dans le cas d'une défaillance où un diagnostic et des actions correctives et/ou préventives doivent être engagées. Le modèle de comportement est mis à jour à l'issue de cette étape ce qui en permet une construction itérative.

Le deuxième objectif de ce travail de thèse était du au fait que cette thèse avait lieu dans le cadre du projet européen CHEM : "Advanced Decision Support System for Chemical/petrochemical processes" or [www.chem-dss.org](http://www.chem-dss.org). Il s'agissait de développer un outil d'aide à la décision pour la détection et le diagnostic des défaillances. Cet outil devait servir de support pour les opérateurs afin de mieux comprendre l'état du procédé et son évolution et d'entreprendre le plus rapidement possible des actions pertinentes face aux différents événements produits au niveau du procédé. Le cahier des charges résumé était le suivant :

1. permettre la connexion de notre outil avec d'autres outils notamment des outils de traitement qui à partir des données brutes issues du procédé génèrent des informations qualitatives,
2. autoriser l'utilisation de notre outil en ligne c'est à dire au fur et à mesure de l'évolution du procédé, en fournissant des informations claires à l'opérateur,
3. fournir des résultats facilement interprétables par l'expert, puisque l'outil développé était un outil d'aide à la décision.

Mme Kempowsky a donc implémenté la stratégie proposée en utilisant la méthode par apprentissage LAMDA au travers du développement d'un outil logiciel baptisé **SALSA** : **S**ituation **A**ssessment using **L**AMDA **cl**assification **A**lgorithm » [Kempowsky 04a] [Kempowsky 04b].

Pour le développement de SALSA, puisque la caractérisation du procédé correspond à une étape d'apprentissage, une étude comparative de différentes techniques (méthodes statistiques, réseaux de neurones, arbres de décision, méthodes des « clusters ») permettant de réaliser cet apprentissage a été effectuée [Isaza et al 04]. Néanmoins le

choix de la méthode sur laquelle le travail de thèse de Mme Kempowsky s'est appuyé ne s'est pas réellement posé et l'utilisation de la méthode LAMDA [Aguilar 80] faisait partie des termes du projet. Il s'agit d'une méthode de classification basée sur la détermination du degré d'appartenance ou degré d'adéquation global d'un objet à une classe compte tenu des contributions (degré d'adéquation marginale) de chacun des attributs de l'objet. Les objets considérés pouvant être aussi bien des données quantitatives que qualitatives. Sans aller vers une description détaillée de cette méthode, nous pouvons dire que dans sa structure, LAMDA s'apparente à un réseau de neurone artificiel. Les différences se situent au niveau des contributions des entrées qui ne sont pas de simples pondérations mais des fonctions d'appartenance et également au niveau de la fonction d'agrégation qui n'est pas une somme mais une agrégation basée sur des opérateurs de la logique floue.

L'apprentissage consiste à trouver des groupes de données ou d'objets ayant des caractéristiques similaires. Cette recherche peut être faite dans certains cas avec une connaissance a priori, il s'agit alors d'apprentissage supervisé. Dans SALSA, l'expert a le choix entre ces deux types d'apprentissage et peut par ailleurs régler plusieurs paramètres inhérents à la méthode LAMDA afin d'obtenir une classification qu'il juge satisfaisante [Kempowsky et al 02]. Permettre à l'expert de valoriser au mieux ses connaissances et lui fournir un réel support étaient en effet un souci constant lors du développement de SALSA. L'outil dispose donc de nombreuses fenêtres graphiques permettant de visualiser les différents résultats et les jeux de données utilisés.

Lorsqu'une classification satisfaisante a été obtenue, un modèle des états observés du système surveillé sous forme d'une représentation graphique de l'automate est fourni à l'utilisateur. Les états sont obtenus à partir des classes et les transitions entre états à partir des degrés d'adéquation d'un élément à une classe. L'expert doit alors valider le modèle. Pour cette étape de validation une analyse des occurrences des transitions est réalisée. Cette analyse permet de mettre en évidence des transitions dues à des imprécisions ou du bruit de mesures que l'expert pourra éliminer, ou des transitions peu fréquentes mais jugées pertinentes par l'expert car associées à des événements critiques pour le système [Kempowsky et al 06b]. L'expert peut également ajouter des transitions entre états, pour pallier au manque d'exhaustivité des données utilisées lors de l'apprentissage.

Lors du suivi du procédé, SALSA réalise une étape de reconnaissance dont le but est de reconnaître la situation courante du procédé à chaque fois qu'une nouvelle observation est faite. Une visualisation en ligne de l'évolution de l'automate est fournie à l'expert faisant apparaître pour chaque transition la tendance d'évolution de la variable (descripteur) à l'origine du changement d'état.

Au cours de la reconnaissance, la détection d'un symptôme peut avoir lieu de deux façons : certains objets ne sont pas reconnus et sont affectés à une classe spéciale (Non Informative Classe) visuellement mise en évidence pour l'expert ou alors une situation observée est bien identifiée, mais la transition entre la situation précédente et celle-ci n'a pas été apprise.

La caractérisation d'un symptôme est implémentée au travers d'une étape dite d'apprentissage supervisé actif. Il s'agit de générer de nouvelles classes à partir des caractéristiques des éléments non reconnus, sans modifier les classes existantes qui en quelque sorte servent de classes professeurs non modifiables, d'où le terme d'apprentissage supervisé. Ces nouvelles classes sont ensuite analysées par l'expert pour interpréter les nouvelles situations du procédé. SALSA offre à l'expert de nombreux outils d'analyse générés à partir des résultats des classifications (profil des classes, matrice de connectivité des classes, graphe d'évolution des degrés d'appartenance ...). Ces

différentes informations permettent ensuite à l'expert de mettre à jour le modèle de comportement.

SALSA a été testé dans le cadre du projet CHEM sur plusieurs procédés pilotes industriels (un système de réservoirs, une unité de production de gaz méthane à partir de biomasse, une colonne de distillation,...) et est également utilisé au sein du groupe DISCO dans d'autres projets de recherche autour de la supervision d'installations de traitements des eaux [Orantes et al 03], en particulier des projets sur l'instrumentation pour la supervision et le placement de capteurs.

Toujours dans le cadre du projet CHEM, nous avons travaillé en connectant SALSA avec des outils permettant la représentation qualitative des tendances des variables à partir d'une fenêtre temporelle [Kempowsky et al 03]. Ce travail s'est effectué en collaboration avec l'Université de Girone et plus particulièrement avec le groupe de recherche eXit (Control Engineering and Intelligent Systems group) de l'Institut d'Informatique et Applications qui a développé un outil générant les tendances d'évolution de grandeurs numériques et les représentant sous la forme de descriptions qualitatives (épisodes).

## B.2 La surveillance distribuée

### ▪ B.2.1 La distribution de la fonction détection

Pour aborder ce problème de la détection dans une architecture distribuée, la solution proposée dans la thèse de Monsieur Boufaied [Boufaied 03], repose sur deux points principaux :

1. Le modèle sur lequel s'appuie la détection pour détecter un symptôme est un modèle temporel, de signature temporelle du comportement du système surveillé.

Cette signature appelée *chronique* [Dousson et al 94] est définie comme un ensemble d'événements et un ensemble de contraintes temporelles entre ces événements. Une contrainte est une relation impliquant une durée entre deux événements. Plusieurs types de contraintes ont été prises en compte :

- Contraintes de précédence : ce type de contrainte exprime qu'un événement précède un autre événement.
- Contrainte de type intervalle : dans ce cas la contrainte exprime le fait que la durée séparant l'occurrence de deux événements doit être comprise dans un intervalle donné  $[d_{AB}, f_{AB}]$ .
- Contrainte de type fenêtre d'admissibilité : ce dernier type de contrainte permet de représenter le fait que la durée séparant l'occurrence d'un événement de celle du dernier événement d'un ensemble d'événements donné, doit être comprise dans un intervalle fixé.

Dès lors, la détection s'appuie sur l'observation de cette signature temporelle. Le principe de la détection est donc de vérifier que chaque événement observé est cohérent vis à vis

de la chronique spécifiée compte tenu des contraintes temporelles. Si la chronique est un modèle de fonctionnement normal, toute déviation observée c'est à dire toute violation de contrainte temporelle conduit à la détection d'un symptôme de défaillance. Dans le cas contraire où la chronique est un modèle de fonctionnement défaillant, la vérification d'une contrainte temporelle permet la détection d'un symptôme de défaillance.

## 2. Les systèmes traités sont des systèmes à événements discrets, physiquement distribués.

L'architecture de surveillance est donc une architecture distribuée, basée sur des modules ou sites de surveillance communicants. Chaque site est associé à un sous système physique en provenance duquel il reçoit un ensemble d'événements et est pourvu d'une fonction détection. La détection de défaillance concernant l'ensemble des sites de surveillance est donc une détection globale, obtenue à partir de la coopération de fonctions de détection locales et n'est pas une simple répartition de la fonction détection sur différents sites isolés.

Le modèle temporel du comportement à surveiller est distribué sur ces différents sites. Cette distribution de la chronique en sous-chronique implique une distinction entre deux types de contraintes : des contraintes locales liant des événements reçus par un même site de surveillance, et des contraintes globales liant des événements de différents sites. La vérification de ces contraintes globales suppose l'existence d'outils de communication permettant des échanges d'événements entre les sites de surveillance. L'adoption d'une architecture distribuée conduit en effet à une minimisation de l'information globale. Mais dans bien des cas, l'information partielle à laquelle chaque site peut accéder n'est pas suffisante et des communications entre sites deviennent indispensables pour compenser cette insuffisance. Dans une architecture distribuée, ces aspects de communication ne sont pas triviaux et des problèmes spécifiques sont à prendre en compte tels la synchronisation d'horloges, la reconstitution de l'ordre des messages échangés, la prise en compte des délais de communication.

Dans ce contexte, la contribution de Mr Boufaied est d'évaluer l'influence des délais de communication entre modules sur la vérification des contraintes temporelles. En particulier, la solution proposée évalue l'incertitude introduite par ces délais de communication au niveau de la vérification de contraintes globales.

La solution développée s'appuie sur certaines hypothèses :

- Seules les défaillances du procédé sont considérées ; le système de commande est exempt de défaillance,
- Les délais de communication,  $\Delta$ , peuvent être approximés par un intervalle  $[\delta_m, \delta_M]$ . Sur cet intervalle les valeurs possibles du délai sont uniformément distribuées.
- Chaque site de surveillance a sa propre horloge et toutes les horloges ont la même base de temps. Un événement n'est donc daté que dans le référentiel temporel associé au site le recevant. Une fonction d'occurrence notée  $O$  associe à chaque événement  $e$  sa date d'occurrence notée  $O(e)$ , c'est à dire sa coordonnée temporelle dans le référentiel temporel associé.

La technique élaborée est adaptée à tout système dans lequel les contraintes opérationnelles et l'incertitude sur les délais de communications sont du même ordre tels les systèmes informatiques ou les systèmes de transport. Dans le cas de ces derniers, la notion de délai

de communication correspond à celle de délai de transport entre sites de stockage ou de production par exemple.

Le problème abordé peut alors être énoncé de la manière suivante. Soit  $C_{AB}$  une contrainte globale à surveiller, liant un événement  $e_A$  d'un site A avec un événement  $e_B$  d'un site B (figure 8).

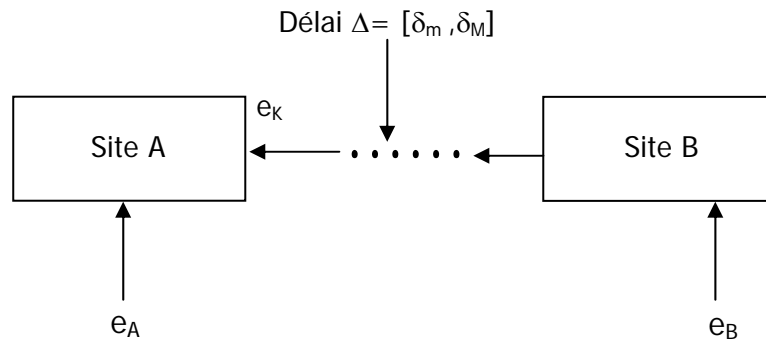


Figure 8

Quelle que soit la nature de la contrainte  $C_{AB}$  il est toujours possible de l'exprimer sous la forme d'une contrainte intervalle. Ainsi,  $C_{AB}$  est définie par :

$$d_{AB} \leq O(e_A) - O(e_B) \leq f_{AB}$$

Etant donné que les événements A et B sont reçus et donc datés par deux sites différents il n'est pas possible d'évaluer directement la durée  $O(e_A) - O(e_B)$ . Il faut donc que le site B (si nous considérons que seul le site A est chargé de surveiller la contrainte) dès réception de l'événement  $e_B$  en informe le site A. Ceci se fait au travers de l'envoi de l'événement  $e_k$  (voir figure 8). Mais, cette communication entre les deux sites est généralement entachée d'un délai que nous notons  $\Delta$ , avec  $\Delta = [\delta_m, \delta_M]$ .

Dans ces conditions, connaissant

- la contrainte globale  $C_{AB}$ ,
- les dates d'occurrences des événements  $e_A$  et  $e_k$  sur le site A,
- le délai de communication  $\Delta$  entre les deux sites A et B i.e.  $O(e_A) - O(e_B) = O(e_A) - O(e_k) + \Delta$

est il possible de savoir si la contrainte  $C_{AB}$  est vérifiée, c'est à dire si la date d'occurrence  $O(e_B)$  vérifie la contrainte  $C_{AB}$  ?

Les connaissances sur le problème permettent de reformuler la contrainte globale initiale en une nouvelle contrainte qui cette fois est une contrainte locale, pour laquelle il est possible d'évaluer les durées mises en jeu.

$$O(e_A) - O(e_k) + \delta_m \leq O(e_A) - O(e_B) \leq O(e_A) - O(e_k) + \delta_M$$

Compte tenu de l'existence d'une incertitude sur le délai de communication  $\Delta$ , la seule satisfaction de cette dernière contrainte n'est pas suffisante. Il s'agit donc maintenant de chercher les durées  $O(e_A) - O(e_B)$  qui vérifient à la fois :

$$O(e_A) - O(e_k) + \delta_m \leq O(e_A) - O(e_B) \leq O(e_A) - O(e_k) + \delta_M$$

$$d_{AB} \leq O(e_A) - O(e_B) \leq f_{AB}$$

En adoptant une représentation graphique de ce problème (figure 9), l'ensemble des solutions admissibles a été défini et forme un polygone PO dont les sommets sont donnés par les points de coordonnées suivantes :  $(d_{AB} - \delta_M, d_{AB})$ ,  $(d_{AB} - \delta_m, d_{AB})$ ,  $(f_{AB} - \delta_M, f_{AB})$  et  $(f_{AB} - \delta_m, f_{AB})$ .

L'incertitude du délai se traduit par le fait que à une durée mesurée donnée, correspond toute une plage de valeurs pour la durée recherchée.

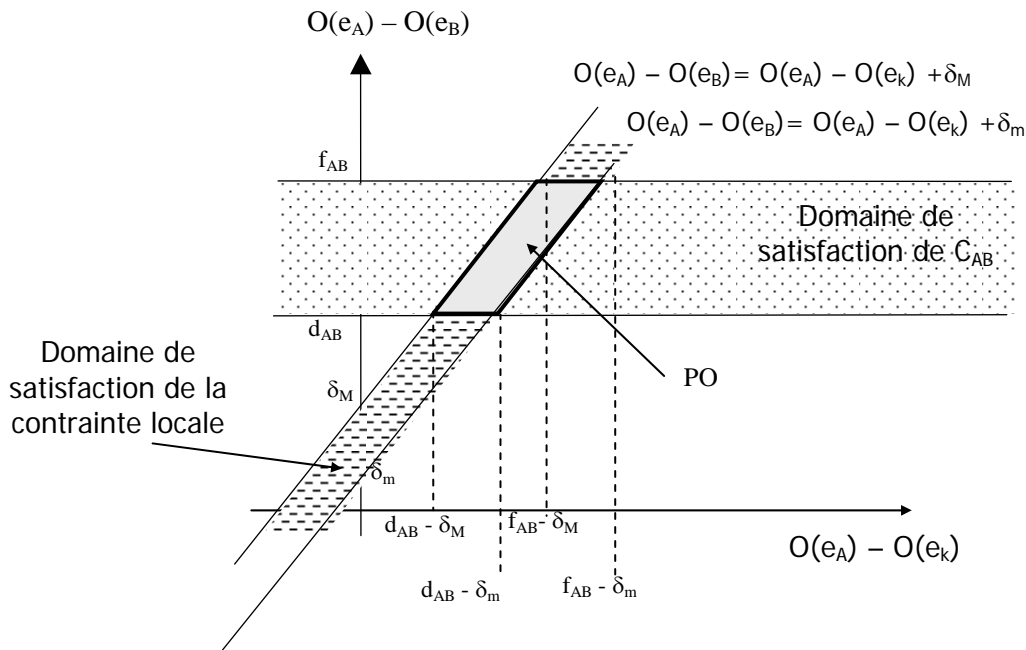


Figure 9

Les travaux de Mr A. Boufaied ont donc pour objectif de quantifier parmi l'ensemble des durées possibles recherchées celles qui vérifient la contrainte globale initiale  $C_{AB}$ . Plus précisément, Mr Boufaied a cherché à évaluer la possibilité de vérifier la contrainte globale compte tenu de la durée locale mesurée.

Une fonction de possibilité (figure 10) est donc associée à une contrainte globale. Cette fonction est générale et valable quelle que soit la relation d'ordre qui peut exister entre la durée de l'intervalle associé à la contrainte à vérifier ( $[d_{AB}, f_{AB}]$ ) et la durée de l'intervalle représentant l'incertitude sur le délai de communication ( $[\delta_m, \delta_M]$ ).

Ces résultats permettent de mettre en évidence des zones de certitude pour la fonction détection. Si les contraintes à vérifier sont associées à un comportement normal du système surveillé, une valeur de possibilité élevée garantit un comportement normal du système surveillé. Au contraire, une faible valeur de possibilité implique la détection d'un symptôme de défaillance.

Le problème qui se pose alors est de fixer les valeurs seuils qui définissent ces zones de certitude ou de tolérance pour la fonction détection.

Une des solutions proposées dans le thèse de Mr Boufaied consiste à faire re-vérifier la contrainte par un autre site de surveillance en espérant que la mesure de possibilité associée

à cette re-vérification permette d'obtenir une certitude. Pour cela, des mécanismes de coopération et les conditions sous lesquelles ces coopérations peuvent avoir lieu ont été définies [Boufaied et al 04] [Boufaied et al 06].

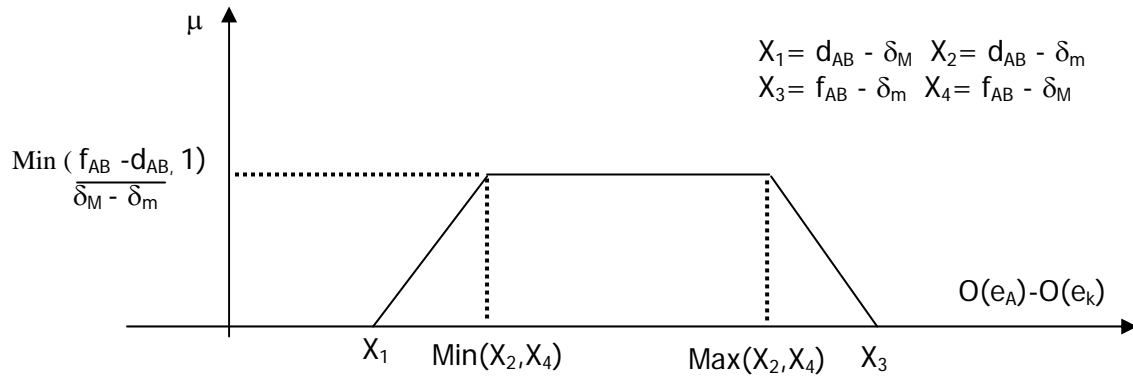


Figure 10

### ▪ B.2.2 La distribution du modèle du procédé

En abordant le thème de la surveillance distribuée, il apparaît nécessaire de considérer le problème des modèles utilisés et plus particulièrement de la répartition de ces modèles sur les différents *sites* de surveillance. Ce problème peut être abordé en considérant comme point de départ un modèle global et en s'intéressant alors à la distribution de ce modèle. Ces aspects modèles étant au centre de nos activités de recherche, nous avons suivi le travail de thèse de Mr Da silveira sur ce thème et pris part à ce travail ce qui naturellement a donné lieu à une publication co-signée [Da Silveira et al 02] que nous avons présentée et à notre participation au jury de thèse de Mr Da Silveira [Da Silveira 03].

Un des objectifs du travail de M. Da Silveira était de proposer une méthode de transformation des modèles centralisés de commande-surveillance dans une structure modulaire hétérarchique. Ces travaux tournés principalement sur le modèle du procédé, proposent la mise en place d'une procédure systématique de distribution des modèles centralisés et d'un protocole de communication pour garantir la cohérence entre les données.

- La procédure de distribution assure que chaque partie du processus de contrôle et supervision a au moins les mêmes propriétés que le modèle centralisé. Un sous-modèle réseau de Petri est associé à chaque ressource mais il n'y a aucune restriction pour décrire le comportement de plusieurs ressources avec un seul sous-modèle. La méthode de distribution s'appuie sur la théorie des invariants linéaires pour obtenir l'ensemble des places et l'ensemble des transitions c'est à dire le sous-modèle, décrivant le comportement d'une ou d'un ensemble de ressources et ses interactions avec les autres ressources.
- Le protocole de communication proposé impose des règles aux niveaux des communications intermodules. Lorsqu'une activité requiert des ressources contrôlées par

différents modules, ces communications doivent permettre aux modules de mettre à jour leurs données et de synchroniser leurs actions. Ce protocole doit permettre de détecter toute incohérence de données pouvant mener à un conflit décisionnel ou opérationnel.

### ▪ B.2.3 La propagation de diagnostic dans une architecture distribuée

Ce problème considéré dans le travail de Mme C. Lopez Varela [Lopez-Varela 04] a été abordé au travers de la spécification de la fonction diagnostic distribué. En considérant toujours une architecture basée sur des modules (ou entités) communicants, il s'agit au niveau de chaque module, de fixer les entrées de cette fonction notamment les modèles, et les sorties, notamment les liens avec les autres fonctions diagnostic des autres entités. En particulier pour aborder le problème de la propagation du diagnostic dans un cadre distribué il s'agit de réfléchir à la manière selon laquelle un processus de diagnostic peut être propagé entre les modules d'une architecture distribuée. Un des problèmes sous-jacent est la détermination d'un « chemin de propagation » : vers quel(s) module(s) faut-il propager le diagnostic ?

L'étude menée par Mme Lopez Varela a commencé par fixer le type de modèle sur lequel le diagnostic distribué pouvait s'appuyer. Ceci a été fait à partir d'un bilan de différentes méthodes classiques existantes : Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE), Méthode de l'Arbre des Causes (MAC), Méthode de l'Arbre de Conséquences (MACQ) ou encore Méthode du Diagrammes Causes-Conséquences (MDCC).

De ce bilan il ressort qu'une grille de type AMDE « enrichie » peut servir de base pour le diagnostic distribué. Le point fort de la méthode AMDE est de fournir des informations sur la structure des composants ou des éléments permettant de mettre en évidence des relations entre l'effet observable de la défaillance et l'élément responsable, indispensables en situation de propagation de défaillance. La solution proposée par Mme C. Lopez Varela s'appuie donc sur une grille AMDE modifiée pour être utilisée dans un contexte distribué. Cette modification s'est traduite par un enrichissement de la grille permettant de ne pas réduire l'analyse au seul sous-système mais de l'étendre aux sous-systèmes en relation. Cette grille mise en place pour chaque sous système du procédé contient :

- L'identificateur du module de surveillance qui gère le sous-système analysé,
- L'identificateur et le nom du sous-système analysé,
- La liste des éléments qui réalisent une fonction au niveau du sous-système,
- Pour chaque élément, la liste des fonctions qu'il réalise,
- Pour chaque fonction, les différents modes de défaillance,
- Pour chaque mode de défaillance les effets observables, les causes internes au sous-système et les causes externes,
- Pour chaque cause externe, le sous-système externe potentiellement responsable de la défaillance,
- Des indicateurs internes et externes permettant d'identifier respectivement les effets observables internes et externes au sous-système analysé.

Une fois que nous disposons du modèle, nous nous sommes penchés sur le problème de son exploitation. Comment ce modèle doit-il être lu et parcouru par le diagnostic ? Cette lecture est-elle toujours réalisée de manière identique ? Autrement dit, le modèle est-il exploité de la même manière en situation de propagation qu'en situation de non-propagation ?

La réponse à ces questions se traduit par la définition d'un algorithme de diagnostic paramétrable notamment pour distinguer le cas d'un diagnostic propagé d'un module vers un autre, d'un diagnostic confiné. La propagation du diagnostic suit des chemins mis en place au travers des informations des grilles relatives aux causes externes.

Ce travail a donné lieu au développement d'un prototype de l'algorithme de diagnostic qui a été implémenté en Visual FoxPro. L'approche complète a été appliquée sur un exemple d'une cellule flexible de production manufacturière pour lequel les grilles AMDE modifiées ont été mises en place dans une base de données. Enfin, une publication co-signée a été produite à l'issue de ce travail [Lopez-Varela et al 05].

## C. Poursuite des activités de recherche

### C.1 A court terme

Depuis plusieurs années, nos activités sont focalisées sur la problématique du diagnostic. Nous sommes convaincu que ce thème est aujourd'hui plus que jamais un thème de recherche pertinent. La sécurité est en effet au cœur des préoccupations de la société d'aujourd'hui. Les enjeux tant économiques, sociétaux qu'environnementaux en font un des axes majeurs d'innovation pour l'industrie actuelle qui s'appuie sur des recherches théoriques mais également appliquées. Aujourd'hui la conception et l'exploitation des systèmes doivent être abordées en intégrant une dimension sécurité dont le diagnostic fait partie intégrante.

Au travers des travaux menés et des encadrements notre réflexion a mûri et elle nous permet d'envisager des axes de recherches à moyen et long termes s'inscrivant dans la synergie de notre équipe de recherche sur le diagnostic des systèmes complexes et fondés sur une activité collective (co-encadrement, publications cosignées...) que nous nous sommes toujours efforcés d'avoir.

Enfin, les travaux réalisés au départ dans un contexte plutôt académique ont débouché sur des contacts industriels notamment dans le cadre du laboratoire commun Autodiag ou de nombreux programmes de coopération. Ce cadre nous permet d'envisager la poursuite de nos recherches tant sur le plan théorique qu'appliqué en accord avec les besoins d'innovations de l'industrie. Ces recherches seront orientées sur le thème,

#### *Des modèles pour le diagnostic des systèmes complexes.*

Notre constat est que les systèmes sont actuellement développés dans un souci constant de recherche d'autonomie et de sûreté. Qu'ils soient logiciels, matériels ou même organisationnels, les systèmes aujourd'hui sont conçus comme des entités autonomes pouvant coopérer. Les avancées technologiques en particulier dans le domaine des réseaux de communications ont fait que la vision centralisée des systèmes a peu à peu laissé place à une vision modulaire, puis répartie pour enfin déboucher sur une vision distribuée des systèmes. Vision qui se retrouve dans tous les domaines qu'il s'agisse de simulation, de calcul, de contrôle ou même encore de gestion de production avec les réseaux d'entreprises.

L'autonomie des systèmes distribués suppose que chaque entité est capable de « s'auto-diagnostiquer » pour ensuite envisager une éventuelle reconfiguration. Ceci conduit naturellement à considérer des processus de diagnostics locaux, sans exclure des possibilités

de coopération pour l'établissement de diagnostic, induites par l'aptitude à communiquer de ces entités. Il s'agit donc d'envisager des processus de diagnostic distribué.

Les problèmes qui se posent alors au niveau des modèles utilisés pour ces processus de diagnostic et qui sont au cœur des recherches actuelles de la communauté du diagnostic des sont nombreux.

Quel type de modèle faut-il considérer ? S'il s'agit d'un modèle de fautes, se pose alors le problème de l'exhaustivité car il est illusoire de penser connaître toutes les défaillances possibles d'un système. S'il s'agit d'un modèle de bon fonctionnement ou plutôt d'un modèle du fonctionnement attendu, dans ce cas il faut s'interroger sur le modèle implicite des fautes et donc sur le type de fautes considérées. De quelle nature sont les informations prises en compte dans le modèle ? S'agit-il d'informations fonctionnelles, comportementales ou structurelles ? Faut-il considérer un seul type de modèles ou est-il envisageable de considérer plusieurs types de modèles éventuellement même une hiérarchie de modèles pour laquelle une correspondance entre les différents niveaux doit ensuite être établie ?

Dans un contexte distribué, il semble naturel d'envisager des processus de diagnostic locaux s'appuyant sur des modèles locaux. Comment distribuer ces modèles locaux et quel niveau de redondance entre ces modèles faut-il considérer ? L'emploi de modèles locaux pose également le problème de l'interfaçage de ces modèles dans le cas de coopération entre processus de diagnostic et du maintien de leur cohérence en cas de modifications de la topologie du système. Bien entendu, toutes ces questions sont à prendre en compte pour le choix de l'outil de modélisation.

Les activités que nous avons menées sur le diagnostic distribué rejoignent tout à fait ces préoccupations et nous semblent donc devoir être poursuivies.

- ◆ Les travaux basés sur la surveillance de relations temporelles qui abordent le problème des délais de communication inhérents aux architectures distribuées doivent être étendus. Il serait intéressant en effet de considérer des délais de communication de nature différente (non uniformément distribués). Par ailleurs, le problème de la spécification des contraintes temporelles doit également être abordé. Ce problème de mise en place de modèles à partir de « données de conception » se retrouve également dans les travaux que nous menons sur le diagnostic automobile.

- ◆ Pour aborder les problèmes de l'interfaçage des modèles dans le cas de coopération entre processus de diagnostic, nous pensons que les solutions apportées dans la thèse de A. Boufaied au niveau de la coopération pour la détection de défaillance doivent être approfondies. Egalement, l'étude initiatrice sur le diagnostic dans une architecture distribuée menée par Mme Lopez-Varela devrait être poursuivie afin d'intégrer les situations où un diagnostic est propagé dans le but d'affiner un résultat. Il nous semble intéressant en effet de considérer qu'un module puisse faire appel à plusieurs autres modules pour affiner un diagnostic. Dans ce cas, des processus de coopérations / négociations peuvent intervenir et les chemins de propagation doivent être redéfinis. Au niveau du modèle utilisé de nombreux aspects doivent être considérés tels, sa formalisation, l'étude de sa redondance en cas de perte d'un ou plusieurs modules ou encore son intégration au sein du système de surveillance. Ces recherches sur les modèles qui devraient être abordés dans la thèse Mme Lopez Varela rejoignent les préoccupations du laboratoire commun Autodiag. En effet, le système de diagnostic développé par la société ACTIA s'appuie sur une architecture complexe dans laquelle plusieurs méthodes sont en concurrence et/ou collaborent. La collaboration entre les différents types de raisonnements des méthodes de diagnostic et l'établissement de liens entre les différents modèles sous-jacents est un des projets d'Autodiag.

La problématique du diagnostic des systèmes distribués se retrouve au niveau des systèmes embarqués. Que ce soit dans le domaine de l'aéronautique, de l'espace, du transport (automobile ou ferroviaire) l'avènement des technologies au niveau des communications, de la miniaturisation et de la gestion de l'énergie a permis de s'orienter vers des systèmes de plus en plus autonomes qui sont aujourd'hui embarqués sur les avions, les satellites et véhicules. Le domaine des systèmes embarqués s'impose comme un des axes stratégiques de la recherche. La mise en place de l'Aerospace Valley et du pôle de compétitivité Aéronautique, Espace et Systèmes Embarqués en 2005 met les systèmes embarqués comme un objectif de recherche de premier plan.

Les enjeux scientifiques du diagnostic de ces systèmes sont liés à la nature même de ces systèmes :

- contraints par leur environnement, ils doivent réagir de manière autonome en limitant les ressources énergétiques et de calcul.
- regroupant des aspects matériels et logiciels, ils sont complexes et hétérogènes.

Là encore, la mise en place de modèles pour le diagnostic est un thème de recherche important. Pour de tels systèmes, les modèles de diagnostic doivent

- être capable d'appréhender la nature hétérogène de ces systèmes intégrant des grandeurs continues et discrètes.
- être conçus pour être embarqués c'est à dire qu'ils doivent être compatibles avec les contraintes techniques limitant les ressources (calcul, mémoire, ...) disponibles et avec les exigences de temps réel et être interfaçables avec les équipements embarqués.
- répondre aux exigences de simulation et certification inhérentes aux systèmes embarqués critiques.

Dans ce cadre nous pensons poursuivre nos recherches sur les modèles pour le diagnostic dans le cas de systèmes caractérisés par des grandeurs continues et discrètes c'est à dire des systèmes avec un espace d'états hybride. L'objectif est de mettre en place des modèles discrets faisant abstraction des variables d'états du système et ne représentant que les états fonctionnels du système. Sur ces modèles peuvent ensuite être construits des moteurs de diagnostic.

◆ La mise en place d'un automate pour la surveillance à partir de données classifiées semble être une approche pertinente pour répondre à cet objectif. Nous pensons donc poursuivre les travaux réalisés dans le cadre de la thèse de Mme Kempowsky. Actuellement, après la construction de l'automate, lors de son utilisation en ligne, pour chaque transition réalisée une information sur les descripteurs associés à cette transition est identifiée. Il serait nécessaire d'approfondir cette caractérisation afin d'orienter davantage un processus de diagnostic s'appuyant sur cet automate. Par ailleurs, actuellement seules sont détectées, des déviations caractérisant une situation non apprise ou une transition non attendue. Le cas d'une transition attendue qui ne se produit pas pourrait être également envisagé. Enfin, il serait intéressant de considérer une exploitation plus poussée de cet automate à des fins de diagnostic préventif. Par exemple, lorsque le modèle de référence contient des états

correspondant à des situations de défaillances bien identifiées, le suivi en ligne des transitions reconnues peut permettre une anticipation de ces défaillances.

◆ De manière plus générale, l'utilisation des approches basées données pour structurer les connaissances et générer automatiquement des modèles exploitables par des méthodes de diagnostic basées modèles nous semble être un axe de recherche prometteur. Dans un premier temps nous envisageons d'aborder cette étude au travers de la génération de modèles qualitatifs. A partir d'un nuage de points issu de données classifiées, il semble en effet intéressant de pouvoir mettre en place un modèle qualitatif sur la base des relations entre descripteurs quantitatifs (données continues) et/ou qualitatifs (données discrètes). Le problème étant d'obtenir un modèle discriminant de manière à pouvoir distinguer les différents modes de fonctionnement du système surveillé. Nous avons déjà initié un premier travail en ce sens en 2005 dans le cadre d'un stage de fin d'études. Nous nous sommes orientés vers des algorithmes de discrétisation utilisés notamment pour la génération d'arbres de décisions optimaux. Des résultats très encourageants obtenus en simulation ont permis de générer automatiquement un premier modèle qualitatif proche d'un modèle de correspondance à partir de données classifiées, établissant ainsi une passerelle entre les approches à base de données et les approches à base de modèles.

Sur un plan applicatif, ces travaux sur l'utilisation de données classifiées dans la mise en place de modèles pour le diagnostic, pourront être validés dans le cadre de la surveillance de procédés pétrochimiques. En effet dans le cadre du programme de collaboration que nous avons avec le Vénézuéla (voir partie 2 de cette synthèse) nous sommes en contact avec la société Vénézuélienne des pétroles (PDVSA *Petroleos de Venezuela*).

## C.2 Projet de recherche

Au delà des activités que nous venons d'énoncer et qui se situent dans la continuité de nos travaux notre projet de recherche à plus long terme, est d'aborder le rôle et la place des processus de diagnostic dans des systèmes où la dimension humaine doit être considérée. Et en particulier nous souhaitons orienter nos recherches sur les modèles à fournir pour aider les acteurs humains dans leur prise de conscience d'une situation anormale de manière à ce qu'ils puissent prendre les bonnes décisions.

L'origine de ce projet remonte notamment aux travaux menés dans le cadre du D.E.A. de Mme Kempowsky. A l'issue de ces travaux en effet, il nous était apparu nécessaire de considérer le processus de diagnostic beaucoup plus globalement c'est à dire de prendre en compte les liens existants entre un processus de diagnostic et les autres entités d'un système notamment des entités plus « décisionnelles ». Nous étions convaincus que la mise en place d'un processus de diagnostic devait être intégrée bien entendu avec d'autres fonctions de supervision (reconfiguration, commande, ...) mais également avec les différents services d'une entreprise notamment des services clients. Nous avons proposé à l'époque que les résultats de diagnostic soient accessibles par ces différents services qui dans le cas de la non conformité d'un produit étaient en charge de décider des actions correctrices.

Lorsque nous avons travaillé sur la surveillance des procédés chimiques et pétrochimiques dans le cadre des travaux de thèse de Mme Kempowsky, là encore nous avons été confronté à ce problème de la prise en compte de la dimension humaine. Au travers de ces travaux qui abordaient la problématique de l'aide au diagnostic, nous avons pris conscience que la recherche d'une autonomie complète du processus de diagnostic pour ce type de procédé n'était pas envisageable. La prise en compte des connaissances des experts à différents niveaux de la stratégie de surveillance proposée (définition de l'espace de description,

interprétation des classes, validation du modèle de référence,...) était indispensable pour faire face à la complexité des procédés étudiés. Au delà de cette prise en compte des connaissances expertes, notre conclusion est que pour de tels systèmes, la conception du diagnostic doit être envisagée de manière cohérente et en adéquation avec les rôles et activités des acteurs humains (opérateurs, experts).

Ces deux expériences nous amènent aujourd'hui à penser que la mise en place d'un processus de diagnostic pour ces systèmes peut être abordée au travers de la mise en place de modèles pour aider les acteurs humains dans leur prise de décisions. Une telle approche est à notre avis une solution pertinente pour minimiser les risques d'erreurs et par là même permettre d'accroître la sécurité de ces systèmes.

La conception de tels systèmes de diagnostic est un véritable défi. Il est nécessaire de fournir aux acteurs humains des informations pertinentes et de manière adéquate (bien au delà des aspects ergonomiques) afin qu'elles puissent être facilement interprétables. Cette problématique qui dépasse amplement le cadre des procédés chimiques couvre de nombreux secteurs d'applications (aéronautique, automobile, productique, centrales d'énergie ...). Il est vrai qu'aujourd'hui dans certains domaines d'applications le rôle des acteurs humains est extrêmement cadré et leur autonomie limitée, néanmoins et notamment en situation anormale ils ont à prendre des décisions. Prenons le cas par exemple des contrôleurs de trafic aérien. Ils doivent être capable de maintenir à jour leur perception et leur compréhension d'une situation en intégrant les changements rapides de localisation des appareils (dans les trois dimensions), en projetant la position des appareils les uns par rapport aux autres et en tenant compte de nombreux paramètres propres à chaque vol (destination, vitesse, ...). Une erreur dans la perception des informations, une erreur de jugement de la pertinence d'une information par rapport à un objectif ou une défaillance du système conçu pour fournir l'information à l'acteur humain peut compromettre la bonne réalisation d'une tâche.

Aujourd'hui ces thématiques sont très peu représentées dans notre laboratoire et nous pensons qu'il nous faudra envisager des collaborations avec d'autres laboratoires développant des activités orientées sur l'ingénierie cognitive (interface Homme-systèmes, modélisation et simulation humaine, analyse des tâches /fonctions..). Nous tenons à préciser que notre objectif n'est pas de nous orienter dans un projet Facteurs Humains bien en dehors de nos thématiques de recherche, mais de développer une approche de conception et d'évaluation d'outils d'aide au diagnostic favorisant les capacités des acteurs humains à prendre conscience d'une situation dans l'objectif de faire face à des situations de défaillances et de mettre en œuvre des actions efficaces.

Notre expérience dans le domaine du diagnostic et plus particulièrement sur la mise en place de modèles nous permettrait d'apporter une contribution au développement d'une telle approche. Un premier pas dans cette direction pourrait consister à faire un rapprochement avec des travaux sur le thème du « Situation Awareness » notamment ceux d'Endsley [Endsley 1995]. Ces travaux mettent évidence trois niveaux de "prise de conscience d'une situation" par l'acteur humain. Le premier niveau concerne principalement la perception des éléments dans l'environnement. La *perception* fournit les éléments, leurs attributs et leurs dynamiques. La détermination des éléments pertinents à la perception d'une situation dépend du contexte de cette situation. Le second niveau est la compréhension de la situation courante. La *compréhension* porte sur la signification des informations selon les tâches et les buts des acteurs humains et conduit à une représentation de l'environnement. Finalement le troisième niveau est celui de la projection. La *projection* est la capacité d'utiliser un modèle mental pour orienter les perceptions futures et prévoir les événements futurs. Le « Situation Awareness » n'est qu'une partie d'un processus de prise de décision et action, dans laquelle

de nombreux facteurs extérieurs interviennent notamment des facteurs liés aux aspects cognitifs (l'attention, la mémoire à long terme, l'expérience...). Nous pensons pouvoir intervenir sur la mise en place de cette prise de conscience par l'acteur humain en fournissant des outils automatiques augmentant les capacités des opérateurs à réaliser cette prise de conscience et à prendre les décisions adéquates à la situation. Notre objectif est de proposer des approches de diagnostic générant des sortes de modèles à destination de l'acteur humain pour la prise de décision dans le cas de situations anormales.

Un des axes de recherche dans ce sens, et qui nous semble relativement proche de certaines activités que nous avons menées, porte sur le traitement de l'information pour l'aide au diagnostic de situations (défaillances du procédés), et en particulier sur la combinaison des sources d'informations et des modèles.

Le second axe que nous avons dégagé, et qui lui est plus éloigné de nos activités, porte sur l'aide au diagnostic des erreurs humaines. Plus particulièrement nous souhaiterions nous intéresser au problème de la reconnaissance des situations d'erreurs, c'est à dire aux aspects détection. Notre idée est d'aborder cette reconnaissance par la mise en place hors-ligne d'un modèle de référence des actions et en ligne d'envisager une approche basée cohérence pour la détection des erreurs.

Comme nous l'avons souligné précédemment ces thématiques sont peu présentes au niveau de notre laboratoire, par contre elles sont depuis de nombreuses années développées dans d'autres laboratoires en France (LAMIH, CReSTIC, LAG...) et à l'étranger (Université de Duisberg et Université de Kassel en Allemagne, Delft University of Technology aux Pays Bas, Centre de Recherche Européen de Varese en Italie ...)

Nos réflexions sur ce sujet doivent donc bien entendu mûrir en prenant en compte l'environnement scientifique et les différents travaux déjà réalisés, avant d'envisager d'engager des doctorants sur cette voie.

## Références bibliographiques

- [Boufaied 00] A. Boufaied « Etude de la fonction pronostic : cas des ateliers flexibles de production manufacturière » Rapport de D.E.A. université Paul Sabatier, juin 2000.
- [Boufaied et al 01] A. Boufaied, M. Combacau, A. Subias « Etude d'une fonction de surveillance: le Pronostic» 4<sup>ème</sup> Congrès International de Génie Industriel Aix-Marseille (France), 12-15 Juin 2001.
- [Boufaied 03] A. Boufaied « Contribution à la surveillance distribuée des systèmes à événements discrets complexes » Thèse de Doctorat, université Paul Sabatier, décembre 2003.
- [Boufaied et al 04] A. Boufaied, A. Subias et M. Combacau « Distributed Fault Detection with delays consideration » 15<sup>th</sup> International Workshop on Principles of diagnosis, Carcassonne (France) 23-25 juin 2004.
- [Boufaied et al 04b] A. Boufaied, A. Subias et M. Combacau « The Distributed time constraints verification modelled with time Petri nets », IMACS 05 Paris (France) 11- 15 juillet 2005.

- [Boufaied et al 06] A. Boufaied, A. Subias, M. Combacau « Détection distribuée par reconnaissance floue de chroniques » Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA) Vol.40, n°2, pp. 233-259, 2006.
- [Chaillet 92] A. Chaillet « Commande et surveillance des systèmes à événements discrets : besoin d'un modèle » Rapport de D.E.A. université Paul Sabatier, juillet 1992.
- [Chaillet-Subias et al 93] A. Chaillet, M. Courvoisier, M. Combacau, A. de Bonneval « Merging Petri Nets and Database Models for Control and Monitoring Requirements in F.M.S. » IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics SMC'93 Le Touquet (France), 17-20 octobre 1993, pp. 42-47.
- [Chaillet-Subias 95] A. Chaillet-Subias « Approche multi-modèles pour la commande et la surveillance en temps réel des systèmes à événements discrets » Thèse de Doctorat, université Paul Sabatier, décembre 1995.
- [Chaillet-Subias et al 96] A. Chaillet-Subias et M. Courvoisier « An Architecture and its Mechanisms for Real Time Control and Monitoring of Discrete Events Systems » IMACS/IEEE Multiconference on Computational Engineering in Systems Applications CESA'96 Lille (France), 9-12 juillet 1996, pp. 728-733.
- [Chaillet-Subias et al 97a] A. Chaillet-Subias, E. Zamai, M. Combacau « Information Flow in a Control and Monitoring Architecture » IEEE International Symposium on Industrial Electronics ISIE'97 Guimaraes (Portugal), 7-11 juillet 1997, pp. 53-58.
- [Chaillet-Subias et al 97b] A. Chaillet-Subias, M. Combacau, M. Courvoisier, A. de Bonneval, A.E.K. Sahraoui, E. Zamai « Structures de surveillance pour les systèmes à événements discrets » Partie 4 Chapitre 3 pp. 243-270 Concepts et Outils pour les Systèmes de Production Aux éditions CEPADUES- ISBN 2-85428-437-2, 1997.
- [Chen 76] P. Chen « The entity –relationship model towards a unified view of data » ACM transactions on Database System, vol. 1, n° 1, pp. 9-36, 1976.
- [Combacau 91] M. Combacau « Commande et surveillance des systèmes à événements discrets complexes : application aux ateliers flexibles » Thèse de Doctorat, université Paul Sabatier, décembre 1991.
- [Combacau 98] M. Combacau « Contribution à la surveillance hiérarchisée des systèmes complexes » Habilitation à Diriger les Recherches, université Paul Sabatier, juillet 1998.
- [Combacau et al 98] M. Combacau, E. Zamai, A. Subias « A Discrete events model of a monitoring strategy as a control structure of a monitoring model » CESA'98 IMACS MultiConference, Symposium on Discrete Events and Manufacturing Systems Hammamet (Tunisie), 1-4 avril 1998, vol 3, pp. 7-12.
- [de Bonneval 93] A. de Bonneval « Mécanismes de reprise dans les systèmes de commande à événements discrets » Thèse de Doctorat, université Paul Sabatier, septembre 1993.

- [Da Silveira et al 02] Da Silveira, M. Combacau, A. Subias « From centralized to distributed models : A systematic procedure based on Petri Nets » IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics SMC 02 Hammamet (Tunisie), 6-9 octobre 2002.
- [Da Silveira 03] M. Da Silveira « Sur la distribution avec redondance partielle de modèles à événements discrets pour la supervision de procédés industriels » Thèse de Doctorat, université Paul Sabatier, octobre 2003.
- [Da Silveira et al 03] M. Da Silveira, M. Combacau et A. Boufaied « Prognosis and recovery evaluation in flexible manufacturing systems supervision » International Conference on Industrial Engineering and Production Management (IEPM'2001), Quebec (Canada), 20-23 août 2001, Journal of Decision Systems, vol.12, n°1, pp.93-109, 2003.
- [Dilts et al 91] D.M. Dilts, N.P. Boyd et H.H. Whorms « The evolution of control architectures for automated manufacturing systems » Journal of Manufacturing Systems, vol. 10, pp. 79-93, 1991.
- [Dousson et al 94] C. Dousson et M. Ghallab « Suivi et reconnaissance de chroniques » revue d'Intelligence Artificielle, vol. 8, n°1, pp. 29-61, 1994.
- [Endsley 95] M.R. Endsley « Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems », Human Factors, vol. 37 n° 1, pp. 32-64, 1995.
- [Hammami et al 95] S. Hammami, M. Moalla, I. Tnazefti, A. Chaillet « Designing Control and Diagnosis For Flexible Manufacturing Systems as a Multi-Agent System using Blackboard and Object Petri Nets » IEEE/INRIA International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation ETFA'95 Paris (France), 10-13 octobre 1995, pp. 373-382.
- [Hammami et al 98] S. Hammami, M. Moalla, A. Chaillet-Subias « A diagnosis approach based on multi-reasoning : use of multi-agent systems » IFAC symposium on Information Control in Manufacturing INCOM'98 Nancy-Metz (France), 24-26 juin 1998, pp. 377-383.
- [Isaza et al 04] C. Isaza Narvaez, T. Kempowsky, J. Aguilar-Martin, A. Gauthier « Qualitative data classification using LAMDA and other soft computer methods » Rapport LAAS N°04405, juillet 2004.
- [Kempowsky 01] T. Kempowsky « Gestion de la qualité dans un système de supervision-surveillance » Rapport de D.E.A. université Paul Sabatier, juin 2001.
- [Kempowsky et al 02] T. Kempowsky, J. Aguilar-Martin, M.V. Le Lann, A. Subias « Learning Methodology for a Supervision System using LAMDA Classification Method » IBERAMIA'02 - VIII Iberoamerican Conference on Artificial Intelligence, Sevilla (Spain), 12-15 novembre 2002.
- [Kempowsky et al 03] T. Kempowsky, J. Aguilar, A. Subias, M.V. Le Lann « Classification Tool Based on interactivity between expertise and self learning techniques » 5<sup>th</sup> IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes, Safeprocess 2003, Washington DC (USA), 9-11 juin 2003.

- [Kempowsky 04a] T. Kempowsky, Toolbox 3.6 Qualitative Situation Assessment–Methodology of Development. Rapport Projet Européen CHEM. Rapport LAAS N° 04161.
- [Kempowsky 04b] T. Kempowsky, SALSA - User's Manual 2004. Rapport LAAS N° 04160.
- [Kempowsky et al 04] T. Kempowsky, A. Subias, J. Aguilar «Supervision of complex processes: strategy for fault detection and diagnosis» IFAC MCPL 2004 (Conference on Management of Control of Production and Logistics), Santiago (Chili), 3-5 novembre, 2004.
- [Kempowsky et al 06a] T. Kempowsky, A. Subias, J. Aguilar-Martin « Process situation assessment: from a fuzzy partition to a finite state machine » IFAC Journal, Engineering Applications of Artificial Intelligence Vol.19, n°5, pp. 461-477 août 2006.
- [Kempowsky et al 06b] T. Kempowsky, A. Subias, J. Aguilar-Martin, L. Travé-Massuyès « A discrete event model for situation awareness purposes » 6th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes, SAFEPROCESS 2006, Beijing (Chine), 30 août-1 septembre 2006.
- [Lopez-Varela 04] C. Lopez-Varela «Problèmes de prise de décisions dans une architecture de supervision-surveillance distribuée » Rapport de D.E.A. INSA Toulouse, juin 2004.
- [Lopez-Varela et al 05] C. Lopez-Varela, A. Subias, M. Combacau «The adapted FMEA-based failure diagnosis in distributed architectures », IMACS 05 Paris (France) 11-15 juillet 2005.
- [Lunze 99] J. Lunze, « Discrete-event modelling and diagnosis of quantised dynamical systems », QR'99, Thirteen International Workshop on Qualitative Reasoning, Loch Awe, Scotland, 1999.
- [Orantes et al 03] A. Orantes, M.V. Le Lann, T. Kempowsky, J. Aguilar Martin « Detección de fallas de un proceso químico complejo por abstracción de información » Congreso Internacional de Investigación en Ciencias omputacionales - CIICC 2003 (10<sup>ème</sup>. International Congress on Computer Science Research), Oaxtepec, Morelos (Mexique), 22-24 octobre 2003.
- [Sahraoui 87] A.E.K Sahraoui « Contribution à la commande et à la surveillance d'ateliers flexibles » Thèse de Doctorat, université Paul Sabatier, octobre 1987.
- [Sampath 95] M. Sampath, R. Sengupta, S. Lafortune, K. Sinnamohideen, T. Teneketzis « Failure diagnosis using discrete-event models » IEEE Transactions on Control Systems, vol. 4, No. 2, pp105-124, mars 1996.
- [Simpson et al 82] J.A. Simpson, R.J. Hocken et J.S. Albus « The Automated Manufacturing Research Facility of the National Bureau of Standards" Journal of Manufacturing Systems, vol. 1 n°1, pages 17-32, 1982.
- [Soldani et al 06] S. Soldani, M.Combacau, J. Thomas, A. Subias « Intermittent fault detection through message exchanges: a coherence based approach » 6th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes, SAFEPROCESS 2006, Beijing (Chine), 30 août-1 septembre 2006.

- [Subias 00] A. Subias « Architectures de surveillance : vers une approche distribuée » Rapport LAAS n°00445, octobre 2000.
- [Subias et al 01] A. Subias, F. Jimenez-Vargas, M. Combacau « Models for control and supervision in hierarchical and distributed systems » « Modelo de control supervision en sistemas jerarquicos y distribuidos » Simposio de Investigacion y Desarrollo de Electronica y Telecomunicaciones en Colombia SE 2001 Bogota (Colombie) 27-28 septembre 2001.
- [Zamaï 97] E. Zamaï « Architecture de surveillance-commande pour les systèmes à événements discrets complexes » Thèse de Doctorat, université Paul Sabatier, septembre 1997.
- [Zamaï et al 98] E. Zamaï, A. Subias, M. Combacau « An architecture for control and monitoring of discrete events systems » Computer in Industry, vol. 36, n°1-2, pp. 95-100 avril 1998

## PARTIE 2 :

# Situation au sein de la communauté scientifique

---

▪ **Au niveau national** nous sommes en contact avec la plupart des laboratoires français ayant des activités de recherche connexes aux nôtres.

De façon très résumée nous pouvons dire que nous sommes en contact avec le CRAN, (Centre de Recherche en Automatique de Nancy), l'IRCCyN (Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes), le LAG (Laboratoire d'Automatique de Grenoble), le LAI (Laboratoire d'Automatique Industrielle), le LAGIS (Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique et Signal), le LAMIH (Laboratoire d'Automatique et de Mécanique Industrielles et Humaines), le LESTER (Laboratoire d'Electronique des Systèmes TEmps Réels), le LGP (Laboratoire génie de Production), et le LURPA (Laboratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisée), pour toutes nos activités de recherche sur la surveillance émanant de l'automatique à événements discrets; ces contacts se traduisent par des réunions de travail, des participations à des jurys de thèse.... Pour ce qui est de nos activités au niveau diagnostic distribué nous avons des contacts particuliers avec l'IRISA (Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires) de Rennes en particulier dans cadre d'un projet européen WS-Diamond. Enfin, nos activités au niveau du diagnostic à base de données nous ont amenés à avoir des relations importantes avec le LAGIS et le LAG partenaires également du projet européen CHEM. Ces collaborations scientifiques se matérialisent en autres choses par notre participation à différents groupes de recherche ou actions de notre communauté scientifique :

Dès son origine nous avons participé au Groupement de Recherche en Productique (**GRP**) et plus particulièrement au groupe ASSF (Automatisation des Systèmes Sûres de Fonctionnement). C'est donc naturellement que nous avons rejoint le groupe **INCOS** (INGénierie de la Commande et de la Supervision des SED) lorsque le **GDR** (Groupement De Recherche) **MACS** (Modélisation Analyse Conduite des Systèmes dynamiques) a été mis en place (<http://www.univ-valenciennes.fr/GDR-MACS>). Ce groupe de travail INCOS qui se réunit environ 6 jours par an, est issu de la fusion de deux groupes plus anciens : COSED (Commande des SED) qui existait dans l'ancien GDR Automatique et ASSF. Les thèmes de recherche du groupe INCOS concernent la sûreté de fonctionnement des systèmes de contrôle/commande et de supervision des systèmes à événements discrets (SED). Ces préoccupations couvrent toutes les phases de développement allant de la spécification à l'implémentation et concernent des secteurs industriels variés (transport, manufacturier, énergie...). La surveillance et le diagnostic des SED sont donc un axe d'intérêt de ce groupe. Notre implication dans ce groupe date de notre doctorat et continue. Nous nous sommes impliqués activement dans différentes actions au sein de ce groupe (ASSF puis INCOS) : une action terminologie qui a donné lieu à la mise en place de définitions concertées relatives au domaine de la surveillance, une action *fiche-synthèse* qui a permis de mettre en place un format de description homogène des différents travaux et d'établir une sorte de plaquette de présentation du groupe. Dans les dernières réunions, nos activités de recherche menées dans la cadre des travaux de Mr Boufaied et de Mme Kempowsky, ont été présentées.

Nous avons également participé à certaines réunions de travail du **groupe S3** (Sûreté / Surveillance / Supervision) du GDR MACS, notamment à celle où nos travaux de recherche

sur la détection distribuée ont été présentés et plus récemment (octobre 2005) nous avons fait une présentation devant le **groupe de travail IMALAIA** (Intégration de Modèles ALLiant Automatique et IA) du GDR I3 (Information Interaction Intelligence) lors d'une journée sur le thème du diagnostic distribué.

Notre intérêt pour ces réunions outre le fait que toutes les personnes de notre communauté s'y retrouvent, est qu'elles permettent à des jeunes doctorants d'y présenter les travaux en cours et de mettre en place des projets de type action spécifique.

Ce type de projet à vocation prospective nous semble être très important pour l'évolution des thèmes de recherche en cours et la définition de thèmes innovants. C'est pourquoi nous avons participé en tant que membre d'équipe associée, à **l'action spécifique (AS) n°193** sur le thème « Diagnostic des systèmes dynamiques hybrides » : <http://www.univ-lille1.fr/lail/AS193>. L'objectif de cette AS est de bâtir une méthodologie originale pour la surveillance des Systèmes Dynamiques Hybrides (SDH) en regroupant des équipes de recherche travaillant sur le diagnostic avec des approches issues du continu et des approches issues des SED. Afin de confronter les travaux des différentes équipes de recherche un benchmark a été mis en place. Dans ce cadre, Mme Kempowsky a fait une présentation en décembre 2003 des premiers résultats obtenus en simulation s'appuyant sur l'approche de supervision à base de classification développée dans son travail de thèse.

Nous avons été également impliqués en tant que membre d'équipe associée, dans la **proposition d'une Action Spécifique** sur le thème « Aspects temporels du diagnostic ». L'objectif principal de ce projet était de dresser un bilan des travaux existants sur les aspects temporels dans les méthodes de diagnostic à base de modèle, utilisées dans les communautés automatique et intelligence artificielle. Ce bilan doit permettre de faire ressortir les axes de recherche de demain sur ce thème et doit fournir un cadre commun pour l'intégration de méthodes issues des deux communautés.

Enfin, nous sommes depuis septembre 2004 **en collaboration avec l'Institut National de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT)** dans le cadre du laboratoire commun Autodiag avec ACTIA automotive. Dans ce cadre pour mettre en place l'architecture de diagnostic MODE que nous avons évoquée en introduction, l'IRIT développe un projet centré sur les aspects ergonomie des outils de diagnostic et un autre sur les aspects traitement automatique du langage et modélisation des connaissances dans le cadre d'un raisonnement multi-modèles. Dans ce dernier projet, l'objectif est l'amélioration des méthodes de diagnostic à partir de cas répertoriés et la collaboration de raisonnements différents selon les données disponibles. En ce sens l'IRIT propose d'une part de mettre en place une ontologie dédiée au diagnostic automobile afin d'établir la collaboration entre les différents types de raisonnements existants, d'autre part d'automatiser la tâche de recherche des fiches de dépannages. Il s'agit là, d'offrir une interface de saisie libre des symptômes, de mettre en place un module produisant une description structurée des requêtes et des fiches et un module de comparaison sémantique requête/fiche. Ces thèmes de recherche sont évidemment étroitement liés à nos préoccupations directes, et le cadre du laboratoire commun nous permet d'échanger et de confronter nos résultats sur ces aspects.

▪ **Au niveau international** c'est au travers de différents « supports » que nous participons à la vie scientifique de notre communauté :

Tout d'abord, nous avons été participants du **projet européen CHEM** « Advanced Decision Support System for Chemical/Petrochemical Manufacturing Processes » et plus particulièrement au niveau du WP3 "Process trend analysis, quality and situation assessment" : <http://www.chem-dss.org/>. Cette participation a eu lieu dans le cadre de la thèse de Mme Kempowsky et se traduit par le développement d'une boîte à outils (« toolbox ») permettant de déterminer et de reconnaître des états ou situations à partir de données en ligne et/ou d'interprétations qualitatives de variables du procédé : SALSA (Situation Assessment using LAMDA claSsification Algorithm). L'un des intérêts majeurs que nous voyons dans un projet d'une telle envergure, est de pouvoir confronter nos travaux au contexte industriel au travers de différents procédés pilotes. Ce projet qui regroupait quatorze partenaires nous a permis également de renforcer nos collaborations avec L'Ecole Centrale de Lille et l'Institut Français du Pétrole (IFP).

Depuis mai 2005, nous sommes impliqués dans le **projet Européen WS\_DIAMOND** « Web Services – DIAGnosability, MONitoring and Diagnosis » qui regroupe huit partenaires académiques. Ce projet a pour objectif de fournir un cadre pour « l'auto-guérison » (intégrité) de l'exécution des services web complexes, où la surveillance et la détection de situations anormales (dues à des erreurs fonctionnelles ou non fonctionnelles relatives par exemple à la qualité de service) sont réalisées, garantissant ainsi la disponibilité et la fiabilité des services web. WS-DIAMOND a pour objectif également de fournir une méthodologie pour la conception des services qui garantisse la faisabilité et l'efficacité de la diagnosticabilité et de la réparation en cours d'exécution. Enfin, ce projet va permettre de réaliser plusieurs démonstrateurs et de valider les résultats sur des applications réelles. Notre contribution au niveau de ce projet se situe principalement dans un Workpackage centré sur le développement d'une méthode de conception des services web en vue de leur diagnostic et réparation. Le problème de la diagnosticabilité dans un environnement distribué est au centre de ce travail. Ce projet nous conduit à renforcer nos liens avec l'IRISA de Rennes et l'Université de Paris 13 et au niveau du LAAS, à collaborer avec le groupe OLC (Outils Logiciels pour la Communication) partenaires également de WS\_DIAMOND. Trois permanents et un doctorant de notre groupe de recherche sont impliqués dans le projet.

Nous avons également collaboré avec **l'Université de Girone** et plus particulièrement avec le groupe de recherche eXit (Control Engineering and Intelligent Systems group) de l'Institut d'Informatique et Applications. Cette collaboration s'est notamment traduite par l'intégration au niveau de notre outil SALSA des résultats du groupe eXit portant sur la représentation des tendances.

Par ailleurs, de 2000 à 2005 nous avons été le correspondant scientifique français, d'un **Programme de Coopération Postgraduée (PCP)**, avec **l'Université des Andes de Bogota**. Ce programme intitulé « Systèmes de commande » comportait un volet axé sur la supervision des systèmes complexes. Dans ce cadre nous avons :

- accueilli des étudiants de l'Université des Andes en stage de fin d'études et de DEA, notamment Mme Kempowsky et Mme Isaza,
- effectué deux séjours en septembre 2001 et avril 2004 à l'Université des Andes de Bogota,
- fait une présentation plénière en tant que conférencier invité lors du « Simposio de Investigacion y Desarrollo de Electronica y Telecomunicaciones en Colombia » en septembre 2001 [Subias et al 01].

La thèse de Mme Kempowsky a en partie été financée par ce PCP et Mr Fernando Jimenez Vargas professeur associé à l'Université des Andes de Bogota a été membre du jury de thèse de Mme Kempowsky en décembre 2004.

Ce programme de coopération nous a permis d'établir des contacts scientifiques importants avec des collègues colombiens et de renforcer ainsi nos relations avec les pays d'Amérique Latine. C'est en ce sens que Mr F. Jimenez Vargas a également participé en octobre 2003, au jury de thèse de Mr Da Silveira étudiant brésilien venu dans le cadre d'un projet de coopération COFECUB entre l'Université Paul Sabatier de Toulouse et l' Universidad Pontificia Católica do Paraná.

Ce PCP s'est terminé en 2005 et nous espérons fortement pouvoir y donner suite. Dans tous les cas nous restons en contact avec l'Université des Andes au travers d'accueil d'étudiants comme dans le cas de Melle Claudia Isaza étudiante de l'Université des Andes qui a effectué en 2004 son stage de Master au sein du groupe DISCO, sur le thème des méthodes de classification, et qui a démarré une thèse au sein du même groupe en septembre 2004.

Toujours dans le cadre d'un programme de **Programme de Coopération Postgraduée (PCP)**, nous sommes en contact avec **l'Université de Mérida au Venezuela**. En effet, en juin 2005 et pour 3 ans a démarré un programme de coopération sur le thème « Automatisation intégrée des procédés de production » dont nous sommes responsable Français <http://www.univ-pau.fr/ENSGTI/PCP>. Les thèmes de recherche proposés dans ce projet sont orientés vers la structuration de schémas d'automatisation intégrée à partir de la philosophie multi-agent, et le traitement "intelligent" de l'information. Les méthodes utilisées devront garantir l'interopérativité des systèmes mis en place et développer leurs capacités de communication intelligente, notamment dans un but de surveillance. Les objectifs applicatifs visés dans ce projet sont tournés vers l'industrie pétrolière et sont soutenus par *Petroleos de Venezuela*. Dans le cadre de ce programme de coopération nous avons accueilli deux collègues de l'Université des Andes en avril 2006, un étudiant vénézuélien pour un séjour de deux mois dans le groupe DISCO et programmé un premier séjour pour fin 2006 à l'Université de Mérida (Vénézuéla).

Depuis septembre 2003, nous sommes impliqués dans un **Programme de Coopération scientifique franco-mexicain SFERE-COSNET**. Cette implication se traduit par le DEA et la thèse de Mme Carmen Lopez-Varela .

Enfin, Sur la période 1997-1998 nous avons travaillé en collaboration avec l'université de TUNIS dans le cadre **d'un programme de coopération CMCU**. Cette collaboration s'était mise en place au travers de plusieurs séjours de Mr Salah Hammami à l'époque doctorant et a donné lieu à plusieurs communications co-signées (références [C14] et [C110] dans la partie « Liste des travaux et publications»). Les travaux de Mr Hammami se rapprochaient de ceux que nous développons à l'époque en particulier sur les aspects modélisation du procédé (système d'information) et gestion des historiques.

## Liste des travaux et publications

## Revue Scientifiques internationales et européennes

---

[R1] E. Zamai, **A. Chaillet**, M. Combacau, A. de Bonneval  
« A hierarchical structure for control of discrete events systems and monitoring of process failures »

Rapport LAAS n° 96165

Studies in Informatics and Control, Vol. 6, n°11, pp. 7-15, mars 1997

[R2] E. Zamai, **A. Subias**, M. Combacau

« An architecture for control and monitoring of discrete events systems »

Rapport LAAS n° 98230

Computer in Industry, Vol. 36, n°1-2, pp. 95-100 avril 1998

[R3] T. Kempowsky, **A. Subias**, J. Aguilar-Martin

« Process situation assessment: from a fuzzy partition to a finite state machine »

Rapport LAAS n° 05391

IFAC Journal, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol.19, n°5, pp. 461-477  
Août 2006

[R4] A. Boufaied, **A. Subias**, M. Combacau

« Détection distribuée par reconnaissance floue de chroniques »

Rapport LAAS n° 05393

Journal Européen des Systèmes Automatisés JESA, Vol.40, n°2, pp. 233-259, 2006

## Contribution à Ouvrage collectif

---

[CO1] **A. Chaillet-Subias**, M. Combacau, M. Courvoisier, A. de Bonneval, A.E.K. Sahraoui, E. Zamai

« Structures de surveillance pour les systèmes à événements discrets » Partie 4 Chapitre 3  
pp. 243-270

Rapport LAAS n° 97186

*Concepts et Outils pour les Systèmes de Production*

Aux éditions CEPADUES- ISBN 2-85428-437-2, 1997

## Conférences Internationales

---

[CI1] **A. Chaillet**, M. Combacau, M. Courvoisier

« Specification of F.M.S. Real Time Control Based on Petri Nets with Objects and Process Failure Monitoring »

Rapport LAAS n° 93277

IEEE International Conference on Industrial Electronics IECON'93

Mauï (Hawaï) 15-19 septembre 1993, pp. 144-149

[CI2] **A. Chaillet**, M. Courvoisier, M. Combacau, A. de Bonneval

« Merging Petri Nets and Database Models for Control and Monitoring Requirements in F.M.S. »

Rapport LAAS n° 93249

IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics SMC'93

Le Touquet (France), 17-20 octobre 1993, pp. 42-47

[CI3] **A. Chaillet** et M. Courvoisier  
« An Information System for Control and Monitoring Purposes in F.M.S »  
Rapport LAAS n°94193  
IEEE International Conference on Industrial Electronics IECON'94  
Bologne(Italie) 5-9 septembre 1994, pp. 1129-1134

[CI4] S. Hammami, M. Moalla, I. Tnazefti, **A. Chaillet**  
« Designing Control and Diagnosis For Flexible Manufacturing Systems as a Multi-Agent System using Blackboard and Object Petri Nets »  
Rapport LAAS n° 95560  
IEEE/INRIA International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation ETFA'95  
Paris (France), 10-13 octobre 1995, pp. 373-382

[CI5] E. Zamai, **A. Chaillet-Subias**, M. Combacau, A. de Bonneval  
« A Hierarchical Structure for Control of Discrete Events Systems and Monitoring of Process Failures »  
Rapport LAAS n° 96165  
ICIMS/NOE Life Cycle Approaches to Production Systems : Management, Control and Supervision ASI'96  
Toulouse (France), 2-6 juin 1996, pp. 69-74. Cet article après modifications a donné lieu à la publication [R1]

[CI6] **A. Chaillet-Subias** et M. Courvoisier  
« An Architecture and its Mechanisms for Real Time Control and Monitoring of Discrete Events Systems »  
Rapport LAAS n° 96136  
IMACS/IEEE Multiconference on Computational Engineering in Systems Applications CESA'96  
Lille (France), 9-12 juillet 1996, pp. 728-733

[CI7] **A. Chaillet-Subias** , E. Zamai, M. Combacau  
« Information Flow in a Control and Monitoring Architecture »  
Rapport LAAS n° 97134  
IEEE International Symposium on Industrial Electronics ISIE'97  
Guimaraes (Portugal), 7-11 juillet 1997, pp. 53-58

[CI8] M. Combacau, E. Zamai, **A. Subias**  
« A Discrete events model of a monitoring strategy as a control structure of a monitoring model »  
Rapport LAAS n° 98021  
IMACS MultiConference, Symposium on Discrete Events and Manufacturing Systems Hammamet (Tunisie) CESA'98, 1-4 avril 1998 Vol 3, pp. 7-12

[CI9] E. Zamai, M. Combacau, **A. Subias**  
« Models and Strategies for Monitoring of flexible manufacturing systems »  
Rapport LAAS n° 97320  
IFAC symposium on Information Control in Manufacturing INCOM'98  
Nancy-Metz (France), 24-26 juin 1998 Vol 3, pp. 365-370

[CI10] S. Hammami, M. Moalla, **A. Chaillet-Subias**  
« A diagnosis approach based on multi-reasoning : use of multi-agent systems »  
Rapport LAAS n° 97385  
IFAC symposium on Information Control in Manufacturing INCOM'98

Nancy-Metz (France), 24-26 juin 1998, pp. 377-383

[CI11] A. Boufaied, **A. Subias**, M. Combacau

Rapport LAAS n° 02186

« Chronicle modelling by Petri Nets for distributed detection of process failures »

IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics SMC 02

Hammamet (Tunisie), 6-9 octobre 2002, 6 p

[CI12]. Da Silveira, M. Combacau, **A. Subias**

Rapport LAAS n° 02280

« From centralized to distributed models: A systematic procedure based on Petri Nets »

IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics SMC 02

Hammamet (Tunisie), 6-9 octobre 2002, 6 p

[CI13] T. Kempowsky-Sanchez, J. Aguilar-Martin, M.V. Le Lann, **A. Subias**

Rapport LAAS n° 02444

« Learning methodology for a supervision system using LAMDA classification method»

Conférence ibéro-américaine d'intelligence artificielle IBERANIA

Workshop "vigilancia y diagnostico Secuencial de procesos dinamicos mediante tratamiento de datos" Séville (Espagne), 12-15 novembre 2003, 10 p

[CI14] T. Kempowsky, J. Aguilar-Martin, **A. Subias**, M.V. Le Lann

Rapport LAAS n° 02403

« Classification Tool Based on interactivity between expertise and self learning techniques»

5<sup>th</sup> IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes, SAFEPROCESS 2003,

Washington DC (USA), 9-11 juin 2003, pp.723-728

[CI15] A. Boufaied, **A. Subias** et M. Combacau

Rapport LAAS n° 04099

« Distributed Fault Detection with delays consideration »

15<sup>th</sup> International Workshop on Principles of diagnosis, DX'04

Carcassonne (France) 23-25 juin 2004, pp. 57-62

*Article aussi présenté à Eighth World Multi-Conference on Systemics,*

*Cybernetics and Informatics SCI'04, Orlando Florida (USA), 18-21 juillet, 2004*

[CI16] T. Kempowsky, **A. Subias**, J. Aguilar

Rapport LAAS n° 04395

« Supervision of complex processes: strategy for fault detection and diagnosis»

IFAC/IEEE/ACA MCPL 2004, Conference on Management of Control of Production and

Logistics, Santiago (Chili), 3-5 novembre 2004, pp. 157-163

[CI17] C. Lopez-Varela, **A. Subias**, M. Combacau

Rapport LAAS n° 04647

« The adapted FMEA-based failure diagnosis in distributed architectures »

IMACS 05 World Congress

Paris (France) 11- 15 juillet 2005, 8 p

[CI18] A. Boufaied, **A. Subias**, M. Combacau

Rapport LAAS n° 04618

«The Distributed time constraints verification modelled with time Petri nets »

IMACS 05 World Congress

Paris (France) 11 - 15 juillet 2005, 8 p

[CI19] T. Kempowsky, **A. Subias**, J. Aguilar-Martin, M.V. Le Lann  
Rapport LAAS n° 05367

« Online continuous process monitoring by means of a finite state machine generated using learning techniques »

18th International Congress and Exhibition on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management COMADEM 2005

Cranfield, (Royaume Uni) 31 août -2 septembre 2005, 10 p

[CI20] T. Kempowsky, **A. Subias**, J. Aguilar-Martin, L. Travé-Massuyès  
Rapport LAAS N°06028

« A discrete event model for situation awareness purposes »

6<sup>th</sup> IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes, SAFEPROCESS 2006,

Beijing (Chine), 30 août-1 septembre 2006, 6 p

[CI21] S. Soldani, M. Combacau, J. Thomas, **A. Subias**,  
Rapport LAAS N°06080

« Intermittent fault detection through message exchanges: a coherence based approach »

6<sup>th</sup> IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes, SAFEPROCESS 2006,

Beijing (Chine), 30 août-1 septembre 2006, 6 p

*Article aussi présenté à 17<sup>th</sup> International Workshop on Principles of diagnosis, DX'06*  
Burgos (Espagne), 26-28 Juin 2006, pp.251-256

[CI22] **A. Subias**, L. Travé-Massuyès  
Rapport LAAS N°06138

« Discriminating qualitative model generation from classified data »

20th International Workshop on Qualitative Reasoning QR'06,

Hanover (USA), 10 – 12 juillet, 2006, 8 p

## Conférences Nationales

---

[CN1] A. Boufaied, M. Combacau, **A. Subias**  
Rapport LAAS n° 01056

« Etude d'une fonction de surveillance: le Pronostic »

4<sup>ème</sup> Congrès International de Génie Industriel GI01

Aix-Marseille (France), 12-15 juin 2001, Vol.1, pp.405-414

[CN2] T. Kempowsky, **A. Subias**, J. Aguilar-Martin  
(sans comité de lecture)

Rapport LAAS n° 05367

« SALSA : Un outil d'aide pour la détection et le diagnostic de défaillances »

Journées démonstrateurs en Automatique à vocation recherche organisées par la Section Automatique du club EEA

Angers (France) 28-29 mars 2006, 8 p

## Conférences Invitées

---

[CINV 1] **A. Chaillet**, M. Combacau, E. Zamaï, M. Courvoisier  
(Sans Comité de lecture)  
Rapport LAAS n° 94157  
« Tools and Models for Control and Monitoring of Discrete Events Systems »  
Congreso de la Asociación Colombiana de Automatica CALI'94  
Cali (Colombie), 2-4 novembre 1994 – 34p

[CINV 2] **A. Subias**, F. Jimenez-Vargas, M. Combacau  
(sans acte)  
« Models for control and supervision in hierarchical and distributed systems »  
« Modelo de control supervision en sistemas jerarquicos y distribuidos »  
Simposio de Investigacion y Desarrollo de Electronica y Telecomunicaciones en Colombia  
SE 2001 27-28 septembre 2001.

## Mémoires ayant permis de soutenir les diplômes

---

[M1] **A. Chaillet-Subias**  
« Approche multi modèles pour la commande et la surveillance des systèmes à événements discrets »  
Rapport LAAS n° 95521  
Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier Toulouse, décembre 1995

[M2] **A. Chaillet** « Commande et surveillance des systèmes à événements discrets : besoin d'un modèle »  
Rapport de D.E.A. université Paul Sabatier Toulouse, juillet 92

## Rapports Internes

---

[RA1] M. Combacau, A. de Bonneval, **A. Chaillet**, M. Courvoisier  
« Petri Nets with objects in a real time monitoring system for F.M.S. »  
Rapport LAAS n° 92317, septembre 1992, 15p

[RA2] S. Hammami, M. Moalla, I. Tnazefti, **A. Chaillet**  
« Méthode d'aide au diagnostic des systèmes flexibles de production fondée sur les modèles blackboard et réseaux de Petri à objets »  
Rapport LAAS n° 95067, janvier 1995, 11p

[RA3] **A. Chaillet**, M. Combacau, E. Zamaï  
« Une approche de la surveillance en temps réel des systèmes à événements discrets »  
Rapport LAAS n° 96416, octobre 1996, 22p

[RA4] **A. Chaillet-Subias**, M. Combacau, E. Zamaï, M. Courvoisier  
« On the diagnosis problem of process failures in flexible manufacturing systems »  
Rapport LAAS n° 97425, novembre 1997, 9p

[RA5] **A. Subias**  
« Architectures de surveillance: vers une approche distribuée »  
Rapport LAAS n° 00445, octobre 2000, 13p

[RA6] A.Boufaied, **A. Subias**, M. Combacau  
« Détection distribuée : utilisation des RdP p-t-temporels flous pour la modélisation de chroniques »  
Rapport LAAS n° 03093, mars 2003, 17p

[RA7] A.Boufaied, **A. Subias**, M. Combacau  
« Détection distribuée : reconnaissance floue de chroniques distribuées »  
Rapport LAAS n° 03300, juin 2003, 23p

[RA8] T. Kempowsky, **A. Subias**, J. Aguilar, M.V. Le Lann  
« Supervision de systèmes complexes: identification de situations à partir d'une technique de classification et d'expertises»  
Rapport LAAS n °03288, juin 2003, 8p

[RA9] A.Boufaied, **A. Subias**, M. Combacau  
« Distributed failure detection with chronicle by considering communication delays »  
Rapport LAAS N°03350, juillet 2003, 23p

[RA10] T. Kempowsky, **A. Subias**, J. Aguilar-Martin  
« Discrete Event Model for Situation Assessment of Complex Processes »  
Rapport LAAS n° 05134 mars 2004, 8 p

[RA11] A.Boufaied, **A. Subias**, M. Combacau  
« Distributed timing constraints verification for failure detection »  
Rapport LAAS N°05602, octobre 2005, 31p

## Publications Pédagogiques

---

[PP1] Chen Xi, **A.Subias**, E. Sicard  
« DSCH2, Une introduction didactique à la conception logique »  
CETSIS 99 Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes en Electronique, Electrotechnique et Automatique.  
Montpellier (France), 4-5 novembre 1999, 5 p

[PP2] **A. Subias**, V.Mahout, B. Faure  
« Commande et supervision d'une maquette de trains»  
Rapport LAAS n° 01346  
CETSIS 2001 Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes en Electronique, Electrotechnique et Automatique.  
Clermont-Ferrand (France), 29-30 octobre 2001, pp. 341-344



## Liste des programmes de coopération

## A. Programmes Internationaux

- PROGRAMME DE COOPERATION POST GRADUE (PCP)

Les Programmes de Coopération Postgradués (PCP) font partie des opérations de coopération scientifique et technique entre la France et le Vénézuéla, ou, la France et la Colombie. Ces programmes permettent de réaliser de manière conjointe des programmes de recherche dont l'objectif est défini en fonction des besoins des institutions ou des entreprises publiques et privées du pays partenaire. Ces programmes assurent également la formation de Doctorats et Post-doctorats.

De 2000 à 2004 nous étions correspondant privilégié du **PCP Franco-Colombien** sur le thème « Systèmes de commande » avec l'Université des Andes de Bogota Colombie et dans ce cadre nous avons eu plusieurs actions comme nous l'avons signalé dans le texte de synthèse des travaux.

En 2005 comme indiqué dans la partie synthèse, a démarré un **PCP Franco-Vénézuélien** avec l'Université des Andes de Mérida intitulé « Automatisation intégrée des procédés de production » dont nous sommes responsable français.

- PROGRAMME SFERE-COSNET

Il s'agit d'un programme de coopération scientifique franco-mexicain patronné par le Ministère des Affaires Etrangères. Cette coopération gérée par la Société Française d'Exportation des Ressources éducatives (SFERE) permet à des étudiants de venir suivre en France des études de formation doctorale.

C'est dans le cadre d'un tel accord que nous avons accueilli Mme Carmen Lopez Varela qui bénéficie de par ce programme d'une bourse d'une durée de 4 ans pour permettre la préparation du D.E.A. et du doctorat.

- PROGRAMME FRANCO-TUNISIEN CMCU N°11401

Cette collaboration avec l'Université de Tunis déjà présentée dans la partie synthèse des travaux de ce document, s'est notamment traduite par plusieurs communications co-signées.

- PROJET EUROPEEN CHEM

Le projet CHEM (2000-2004) : "Advanced Decision Support System for Chemical/petrochemical processes" a été fondé par la communauté Européenne au niveau du 5ème programme-cadre pour des actions communautaires de recherche, de développement technologique et de démonstration sur la période 1998-2002, sous le contrat G1RD-CT-2001-00466. Le projet CHEM est rattaché aux actions clés du programme sur la croissance compétitive et durable.

- PROJET EUROPEEN WS-DIAMOND

Mis en place dans le contexte du 6<sup>ème</sup> programme-cadre sur la période 2002-2006 le projet WS-Diamond (IST-516933) d'une durée de 30 mois (à partir du 1<sup>er</sup> septembre 2005) est rattaché au thème « Information Society technologies » et plus particulièrement au programme FET (Futur and Emerging Technologies).

## B. Programmes Nationaux

- GDR MACS

Depuis sa création nous participons activement à presque toutes les réunions du groupe de recherche INCOS. Nous participons également aux réunions du groupe S<sup>3</sup> du pôle Automatique. Des présentations de nos activités de recherche ont été faites à plusieurs reprises dans ces groupes de travail.

- ACTION SPECIFIQUE N°193

Cette structure nous a permis de rencontrer des collègues chercheurs de différents laboratoires français travaillant sur le domaine du « Diagnostic des Systèmes Hybrides ».

## C. Contact Industriels

- DANS LE LABORATOIRE COMMUN AUTODIAG

Il s'agit d'un laboratoire commun entre la société ACTIA et les laboratoires de recherche Toulousains le LAAS et l'IRIT mis en place en septembre 2004 et inauguré le 14 juin 2005. <http://www2.laas.fr/laas/1-4309-Laboratoires-communs.php>. Au sein de ce laboratoire nous travaillons plus particulièrement sur le thème du diagnostic embarqué et distribué pour l'automobile et dans ce cadre nous participons à l'encadrement la thèse en convention CIFRE de Mr Siegfried Soldani démarrée en décembre 2004.

- DANS LE PCP FRANCO-VENEZUELIEN

Le programme de coopération que nous avons déjà évoqué nous permet d'avoir des contacts avec la société pétrolière *Petroleos de Venezuela* (PDVSA). Dans ce cadre, nous allons suivre les travaux de thèse de deux étudiants Vénézuéliens qui démarrent une thèse à l'Université des Andes de Mérida en collaboration avec la société PDVSA et qui vont pendant la durée du PCP, effectuer plusieurs longs séjours dans notre groupe de recherche.



## Liste des mémoires et diplômes dirigés

## A. Encadrements de thèses de doctorat soutenues

- MR AMINE BOUFAIED

« Contribution à la surveillance distribuée des systèmes à événements discrets complexes »  
Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse 18 décembre 2003

**Mention** : Très Honorable

**Jury** : L. Travé-Massuyes (Président), E. Craye (Rapporteur), B. Descotes-Genon (Rapporteur), P. Berruet, M. Combacau, A. Subias

**Encadrement : directeur** : A. Subias 100% autorisation à diriger des recherches à titre individuel accordée par l'Université Paul Sabatier en juin 2001

**Publications co-signées** dans le cadre de la thèse : [R4] [CI11] [CI15] [CI18] [CN1] [RA6] [RA7] [RA9] [RA11] de la liste des publications jointe.

**Qualification** : 61<sup>ème</sup> section en 2004

- MME TATIANA KEMPOWSKY

« Surveillance de procédé à base de méthode de classification : SALSA un outil d'aide à la décision pour la détection et le diagnostic des défaillances »

Thèse de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 14 décembre 2004  
(étudiante colombienne accueillie dans le cadre d'un programme de coopération)

**Mention** : Très Honorable

**Jury** : A. Titli (Président), S. Gentil (Rapporteur), JP. Cassar (Rapporteur), J. Aguilar-Martin, A. Subias, F. Jimenez, M.V. Lelann (invitée), N. Agel (Invitée)

**Encadrement : directeurs** A. Subias (50%) autorisation à co-diriger les recherches accordée par l'INSA Toulouse en novembre 2002 et J. Aguilar-Martin (50%)

**Publications co-signées** dans le cadre de la thèse : [R3] [CI13] [CI14] [CI16] [CI19] [CI20] [CN2] [RA8] [RA10] de la liste des publications jointe.

**Qualification** : 61<sup>ème</sup> section en 2005

## B. Encadrements de thèses de doctorat en cours

- MME CARMEN LOPEZ VARELA

« Surveillance distribuée des systèmes à événements discrets complexes »

Thèse de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse,  
(étudiante Mexicaine accueillie dans le cadre d'un programme de coopération)

Début : septembre 2004

**Encadrement : directeurs** A. Subias (50%) M. Combacau (50%)

- MR SIEGFRIED SOLDANI

« Diagnostic préventif embarqué et diagnostic distribué ».

Thèse de l'université Paul Sabatier de Toulouse,

Convention CIFRE avec ACTIA

Début : décembre 2004

**Encadrement** : M. Combacau (Directeur) A. Subias (co-encadrant)

**Publication co-signée** dans le cadre de la thèse : [CI21] de la liste des publications jointe.

## C. Encadrements de diplômes d'études approfondies et mastères spécialisés

- MR AMINE BOUFAIED

« Etude de la fonction pronostic : cas des ateliers flexibles de production manufacturière »  
Diplôme d'Etudes Approfondies en Systèmes Industriels  
Juin 2000, Université Paul Sabatier Toulouse  
**Encadrement** : A. Subias (50%), M. Combacau (50%)

- MME TATIANA KEMPOWSKY

« Gestion de la qualité dans un système de supervision-surveillance »  
Diplôme d'Etudes Approfondies en Systèmes Industriels  
Juin 2001, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse  
**Encadrement** : A. Subias 100%

- MME CARMEN LOPEZ-VARELA

« Problèmes de prise de décision dans une architecture de supervision-surveillance distribuée »  
Diplôme d'Etudes Approfondies en Systèmes Industriels  
Juin 2004, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse  
**Encadrement** : A. Subias (50%) M. Combacau (50%)  
**Publications co-signées** dans le cadre du D.E.A. : [CI17] de la liste des publications jointe.

## D. Encadrements de mastères spécialisés et projet de fin d'études

- MME TATIANA KEMPOWSKY

« Etude et Simulation d'un processus de propagation de diagnostic dans une architecture hiérarchique de commande-surveillance »  
Master Génie Electrique  
2000, Université des Andes de Bogota - Colombie  
**Encadrement** : A. Subias (50%), M. Combacau (50%)

- MR LIONEL RAFAEL

« Génération automatique de modèles discriminants à partir de données classifiées »  
Master Génie Electrique Automatique  
Juin 2005, Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique d'Electronique d'Informatique d'Hydraulique et des Télécommunications  
**Encadrement** : A. Subias (50%), L. Travé-Massuyes (50%)

- MR VACLAV KRIVANECK

« Automatic generation of fault signature table based on classification results »

Mastère Techniques aéronautiques et spatiales

Septembre 2006, Ecole Nationale Supérieure de l' Aéronautique et de l'Espace

**Encadrement** : A. Subias (50%), L. Travé-Massuyes (50%)