

*Équipe DREAM*

*Diagnostic, REcommandation d'Actions et  
Modélisation*

*Rennes*

THÈME 3A

*R* *apport*  
*d'Activité*

2002



# Table des matières

<b>1. Composition de l'équipe</b>	<b>1</b>
<b>2. Présentation et objectifs généraux</b>	<b>1</b>
2.1. Présentation générale	1
2.2. Objectifs et thèmes scientifiques	2
2.2.1. Axe scientifique 1 : Surveillance en ligne et diagnostic à base de modèles pour les systèmes à événements discrets	2
2.2.1.1. Approche décentralisée du diagnostic	2
2.2.1.2. Utilisation des outils de model-checking	2
2.2.2. Axe scientifique 2 : Surveillance en ligne et diagnostic par une approche de type reconnaissance de chroniques	3
2.2.2.1. Acquisition automatique de chroniques par des techniques de type apprentissage symbolique	3
2.2.2.2. Collaboration entre analyse du signal et reconnaissance de chroniques.	3
<b>3. Fondements scientifiques</b>	<b>4</b>
3.1. Aide à la surveillance de systèmes physiques	4
3.2. Apprentissage automatique	6
<b>4. Domaines d'application</b>	<b>8</b>
4.1. Panorama	8
4.2. Surveillance de réseaux de télécommunications	9
4.3. Surveillance médicale	9
4.4. Surveillance de systèmes naturels	10
<b>5. Logiciels</b>	<b>11</b>
5.1. Dyp, DDyp, DypGen, DypGenBDD et Modedit : logiciels de démonstration d'approches de diagnostic pour des systèmes à événements discrets	11
5.1.1. Dyp	11
5.1.2. DDyp : plate-forme de diagnostic décentralisé pour la supervision de réseaux de télécommunications	11
5.1.3. DypGen et DypGenBDD : diagnostiqueurs génériques et à base de BDD	13
5.1.4. Modedit : édition de modèles à base d'automates communicants	13
5.2. Calicot : plate-forme de reconnaissance d'arythmies cardiaques	13
5.3. NosyBe : amélioration de la classification de parcelles sur une série d'images	13
<b>6. Résultats nouveaux</b>	<b>14</b>
6.1. Diagnostiqueur symbolique	14
6.2. Approche décentralisée du diagnostic	14
6.3. Etude des liens entre les approches pour le diagnostic de l'automatique et de l'IA	15
6.4. Monitoring en cardiologie	16
6.5. Analyse et fouille de données temporelles et spatiales	16
6.6. Surveillance de parcelles agricoles	17
6.7. Diagnostic et Model-checking	17
6.8. Tuteur Intelligent pour le diagnostic médical en cardiologie	18
6.9. Inférence préférentielle et langage de description d'actions	18
<b>7. Contrats industriels</b>	<b>20</b>
7.1. Modélisation, diagnostic et supervision de réseaux de télécommunication	20
7.2. Sacadeau : Système d'Acquisition de Connaissances pour l'Aide à la Décision sur la qualité de l'eau	20
7.3. Conception et contrôle de stimulateurs-défibrillateurs cardiaques intégrés	20
7.4. Cepica : Conception et Évaluation d'une Prothèse Implantable Cardiaque	21

<b>8. Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>21</b>
8.1. Actions nationales	21
8.2. Réseaux et groupes de travail internationaux	21
8.3. Relations bilatérales internationales	21
<b>9. Diffusion des résultats</b>	<b>22</b>
9.1. Animation de la communauté scientifique	22
9.1.1. Comité éditorial de journaux	22
9.1.2. Comité de programme et organisation de conférences	22
9.2. Enseignement universitaire	22
<b>10. Bibliographie</b>	<b>22</b>

# 1. Composition de l'équipe

## Responsable scientifique

Marie-Odile Cordier [professeur Université de Rennes 1]

## Assistante de projet

Maryse Auffray [AA Inria, assistante jusqu'au 31 Octobre 2002]

Marie-Noëlle Georgeault [AA Inria, assistante depuis le 1er novembre 2002]

## Personnel Inria

Yves Moinard [CR Inria]

René Quiniou [CR Inria]

## Personnel Université de Rennes 1 et autres établissements d'enseignement

Véronique Masson [maître de conférences]

Yannick Pencolé [Ater]

Dominique Py [maître de conférences, IUFM de Rennes]

Sophie Robin [maître de conférences]

Laurence Rozé [maître de conférences, Insa de Rennes]

## Chercheurs doctorants

Élisa Fromont [bourse INRIA (depuis novembre 2002)]

Alban Grastien [bourse MENRT (depuis octobre 2002)]

François Portet [bourse MENRT (depuis octobre 2002)]

## Collaborateurs extérieurs

Philippe Besnard [DR CNRS, IRIT, Toulouse]

Christine Largouët [maître de conférences, Ensar]

# 2. Présentation et objectifs généraux

## 2.1. Présentation générale

La problématique générale de l'équipe est la surveillance et le diagnostic de systèmes (ou activités) complexes et évoluant dans le temps. Il s'agit le plus souvent de fournir une assistance intelligente à un opérateur de surveillance, chargé de l'analyse en ligne d'un flux de données complexes, en lui fournissant des hypothèses de diagnostic et des recommandations d'actions. L'enjeu est ainsi d'extraire du flux d'observations les éléments qui permettent à l'opérateur d'agir au mieux. Les applications sont, par exemple, la gestion de réseaux de télécommunications, la surveillance médicale de patients dans un service de réanimation, ou l'aide à la gestion d'un territoire agricole. Une extension de ces travaux concerne la conception de systèmes autonomes capables d'analyser la situation courante, de détecter des problèmes éventuels et de réagir de manière appropriée. C'est le cas par exemple des robots planétaires, des constellations de satellites ou, dans le domaine médical, des prothèses implantables tels que les pacemakers et défibrillateurs cardiaques.

Un système physique évolue dans le temps, soit du fait de sa dynamique propre, soit sous l'effet d'actions ou d'événements extérieurs. La surveillance d'un tel système consiste à analyser les observations issues de capteurs, à inférer l'état courant du système afin de détecter un éventuel dysfonctionnement, à caractériser ce dysfonctionnement en localisant le ou les composants défectueux, et éventuellement à préconiser l'action (ou la suite d'actions) qui semble la plus appropriée au maintien ou au rétablissement des fonctionnalités du système.

Il est donc possible de distinguer trois étapes : l'analyse des signaux issus des capteurs, le diagnostic lui-même et la recommandation d'actions. Nous nous focalisons sur la phase de diagnostic, mais nous ne pouvons pas ignorer les deux autres, en particulier lorsque les observations ne sont pas des événements discrets, comme les alarmes émises par les composants d'un réseau de télécommunications, mais des signaux continus comme les électrocardiogrammes ; ou lorsque les décisions influent sur la structure topologique du système comme

lors de la reconfiguration de réseaux de distribution d'électricité. Un point important est ainsi l'interaction entre diagnostic et analyse des signaux observés et entre diagnostic et recommandations d'actions et son étude fait partie de nos objectifs dans les prochaines années..

## 2.2. Objectifs et thèmes scientifiques

Le choix fait par l'équipe est de se focaliser sur les approches s'appuyant sur un modèle du système surveillé, approches dites à base de modèles, qu'il s'agisse du modèle de comportement en état de bon fonctionnement ou en état de pannes. Nous privilégions les modélisations de type systèmes à événements discrets décrits par des systèmes de transitions et dans tous les cas nous nous appuyons sur des modèles de type qualitatifs (automates, automates communicants, graphes causaux temporels, chroniques) de préférence à des modèles numériques.

Dans ce cadre, nous nous focalisons sur deux points importants étudiés dans les deux axes scientifiques principaux de l'équipe :

- Le premier point est la nécessité de conserver l'efficacité des algorithmes de diagnostic, qui doivent pouvoir traiter le flux de données en ligne, même lorsque la taille des modèles devient importante, ce qui est le cas dès que l'on aborde des applications de taille réelle. Ce point nous a conduit à développer une approche décentralisée du diagnostic.
- Le second point est celui de l'acquisition des modèles des systèmes supervisés. Ceci nous a conduit à étudier l'acquisition automatique de modèles, par des méthodes d'apprentissage symbolique. Nous étudions en particulier l'acquisition automatique de chroniques puisque ces travaux sont menés dans le cadre d'une approche de diagnostic de type reconnaissance de chroniques.

### 2.2.1. *Axe scientifique 1 : Surveillance en ligne et diagnostic à base de modèles pour les systèmes à événements discrets*

Nos travaux autour de la surveillance et du diagnostic des systèmes à événements discrets sont à situer vis-à-vis des travaux issus de la communauté automatique et intelligence artificielle qui s'appuient sur des modèles de type automate ou réseau de Petri pour représenter le fonctionnement du système surveillé. Nos travaux se sont inspirés des travaux de M. Sampath et al. [69][70] qui ont proposé l'approche « diagnostiqueur » qui consiste à compiler l'automate de fonctionnement du système en fonction des observables. Nous avons adapté cette approche afin de l'étendre à une représentation à base d'automates communicants.

Le principal défi dans ce domaine est lié à la complexité des systèmes surveillés (dans notre cas, nous considérons les réseaux de télécommunications qui comportent un nombre important de composants connectés). L'originalité des travaux de l'équipe DREAM sur ce thème est d'une part de défendre une approche décentralisée du diagnostiqueur et d'autre part d'exploiter les techniques de model-checking afin d'améliorer l'efficacité des algorithmes et les rendre capables de traiter des systèmes complexes.

#### 2.2.1.1. *Approche décentralisée du diagnostic*

Étant données la taille et la complexité des systèmes considérés, une approche diagnostiqueur du type centralisé n'est pas envisageable car elle nécessite la mise en place d'un modèle global du système. Nous proposons donc une approche décentralisée du diagnostic. L'idée est ici de construire un automate diagnostiqueur s'appuyant uniquement sur le modèle local d'un composant du réseau supervisé. Chaque diagnostiqueur est en mesure d'établir un diagnostic local au composant en fonction des alarmes de ce composant reçues par le superviseur. Une fois établi l'ensemble des diagnostics locaux, la seconde étape est la construction du diagnostic global par coordination des diagnostics locaux. Cette étape nécessite la mise en place d'une stratégie de reconstruction et nous préconisons une stratégie fondée sur l'existence d'interactions existant entre les diagnostics locaux.

#### 2.2.1.2. *Utilisation des outils de model-checking*

Afin d'améliorer l'efficacité des algorithmes de diagnostic, et permettre leur utilisation en ligne même pour des systèmes de taille importante, nous proposons aussi de tirer parti des outils de model-checking initialement

développés pour la vérification de systèmes temps réel de grande taille. Nous avons initiés des travaux dans ce sens [36] et poursuivons dans cette voie avec par exemple l'utilisation de techniques de réduction d'ordre partiel pour représenter de manière efficace l'ensemble des trajectoires candidates à être des diagnostics et l'utilisation des BDDs pour représenter de manière économique les diagnostiqueurs. Ces travaux sont assez proches de ceux menés dans le domaine de la planification.

Ce thème de la surveillance en ligne de systèmes à événements discrets est principalement appliqué à la gestion de réseaux de télécommunications.

### **2.2.2. Axe scientifique 2 : Surveillance en ligne et diagnostic par une approche de type reconnaissance de chroniques**

Une chronique (ou scénario) est décrite par un ensemble d'événements observables et un ensemble de contraintes temporelles qu'ils doivent respecter. Une des techniques permettant la supervision de systèmes dynamiques est la reconnaissance à la volée de telles chroniques. Son principe consiste en un suivi, en fonction des observations faites, d'un ensemble de chroniques potentielles jusqu'à une reconnaissance complète d'une ou plusieurs d'entre elle. Cette approche a donné lieu à l'implémentation d'algorithmes efficaces qui la rendent tout à fait adaptée à une analyse en ligne.

Nos travaux de recherche ne portent pas directement sur le développement de systèmes de reconnaissance de chroniques mais sur deux points qui s'avèrent essentiels dès que l'on aborde des applications opérationnelles de surveillance utilisant ce type d'outil. Le premier est l'acquisition des bases de chroniques et nous proposons l'acquisition automatique de celles-ci en utilisant des outils de type PLI (programmation logique inductive). Le second se pose lorsque la surveillance se fait par analyse de signaux continus, ce qui est notre cas puisqu'il s'agit de signaux cardiaques, et concerne le mode de couplage entre les algorithmes de traitement de signal et ceux de reconnaissance de chroniques.

Les principaux points sur lesquels nous travaillons sont ainsi les suivants :

#### *2.2.2.1. Acquisition automatique de chroniques par des techniques de type apprentissage symbolique*

L'approche par reconnaissance de chroniques suppose l'existence d'une base de chroniques. Celle-ci doit être correcte, complète et de plus être actualisée au fur et à mesure de l'évolution, physique ou structurelle, du système sous surveillance. Une expertise humaine régulière s'avère coûteuse, raison pour laquelle il est préférable de s'orienter vers une méthode d'acquisition automatique de chroniques. À partir, soit de traces de simulations de panne(s) dans un modèle, soit d'exemples décrivant des situations de pannes ou de pathologies, il s'agit d'apprendre un ensemble de chroniques discriminantes. Nous avons choisi une méthode d'apprentissage automatique du type programmation logique inductive (PLI) qui produit, en particulier, des représentations du premier ordre, nécessaires pour prendre en compte les aspects temporels [62]. Ces représentations de haut niveau sont, de plus, facilement interprétables par les spécialistes qui peuvent ainsi les valider directement.

La principale originalité réside dans le fait que l'on cherche à apprendre un ensemble de chroniques où les contraintes temporelles ont un rôle clé. Ce point est rarement abordé dans les travaux autour de la PLI. Notre apport dans ce domaine est aussi d'ordre applicatif. Le travail le plus proche est celui fait par les auteurs du système Kardio [34] ainsi que les travaux en apprentissage de règles dans le cadre du diagnostic médical tel que [53][54].

#### *2.2.2.2. Collaboration entre analyse du signal et reconnaissance de chroniques.*

Lorsque l'analyse en ligne se fait à partir de signaux continus, comme c'est le cas pour l'analyse des ECGs, nous proposons d'établir un couplage fort entre la phase de traitement du signal et la phase de reconnaissance des chroniques. Il s'agit par exemple d'exploiter les hypothèses émises par le reconnaisseur de chroniques afin de piloter avec plus de finesse et de pertinence les algorithmes de traitement de signal. Profitant de notre collaboration avec le LTSI (Laboratoire de Traitement du Signal de Rennes1, unité Inserm), nous prévoyons d'approfondir ce point dans les deux prochaines années.

Ce thème de recherche de la surveillance par reconnaissance de chroniques a pour principale application le domaine des troubles du rythme en cardiologie. Il s'agit d'analyser le signal provenant des différentes

voies d'un monitoring cardiaque afin d'y détecter et de caractériser les arythmies cardiaques d'un patient sous surveillance. Une arythmie cardiaque peut se caractériser sur l'électrocardiogramme (ECG) par la succession d'ondes P et QRS respectant un certain nombre de contraintes temporelles. L'idée est d'associer à une arythmie les chroniques qui la caractérisent. Les techniques d'apprentissage symbolique ont été utilisées pour constituer la base de chroniques.

Les travaux de l'équipe se situent dans la communauté de l'intelligence artificielle et tirent parti des approches et techniques développées dans ce cadre. Il est clair cependant que notre problématique a des liens avec les travaux développés en automatique, en particulier ceux traitant de la détection d'incidents et du diagnostic ainsi que ceux s'intéressant à la synthèse de contrôleurs. Une partie des travaux de l'équipe est faite en collaboration avec des chercheurs de ce domaine et a pour objectif d'établir des liens entre les deux communautés, au sein par exemple des groupes de travail Bridge <sup>1</sup> (groupe de travail du réseau d'excellence Monet2) et Imalaia (groupe de travail soutenu par le GDR Automatique et le GDR I3 ainsi que par l'Affia <sup>2</sup>) et par nos contacts avec les projets Sigma2 et Vertecs de l'Irisa.

## 3. Fondements scientifiques

### 3.1. Aide à la surveillance de systèmes physiques

**Mots clés :** *surveillance, diagnostic, modèle de fonctionnement, modèle de panne, simulation, reconnaissance de chroniques, graphe causal temporel, acquisition de chroniques.*

*Glossaire*

**alarme** indicateur discret émis par un système de surveillance à partir d'événements et censé provoquer une réaction humaine ou automatique.

**chronique (ou scénario)** ensemble d'événements ponctuels et de contraintes temporelles sur ces événements caractéristiques d'une situation.

**reconnaissance de chronique** système permettant, à partir d'un ensemble de chroniques décrivant des situations (la base de chroniques), d'analyser au vol une séquence d'observations datées et de reconnaître les situations.

Nos travaux dans le domaine de la surveillance et du diagnostic se fondent sur les approches à base de modèles développées par la communauté de l'intelligence artificielle depuis les travaux fondateurs de R. Reiter et J. de Kleer [64][40]. Notre projet se focalise sur la surveillance et le diagnostic en ligne des systèmes modélisés comme des systèmes à événements discrets et s'intéresse en particulier au problème de la supervision par gestion d'alarmes [73]. Un des principaux problèmes est celui de l'efficacité dès que l'on traite d'applications en vraie grandeur. Nous développons deux approches. La première s'appuie sur la technique des diagnostiqueurs [70] et en propose une version décentralisée. La seconde s'appuie sur la technique de reconnaissance de chroniques et se focalise sur l'apprentissage de la base de chroniques.

Les premiers travaux dans le domaine du diagnostic à base de modèles datent des années 70-80 et l'article de R. Reiter sur la théorie logique du diagnostic [64][40] en est l'article de référence. C'est aussi dans ces années que s'est constituée la communauté scientifique dite DX, du nom du *workshop* sur les principes du diagnostic. Ces recherches sont restées très actives depuis lors et le *workshop* DX rassemble chaque année une cinquantaine de chercheurs du domaine. S'opposant à l'approche des systèmes experts qui était l'approche la plus utilisée alors en diagnostic (médical en particulier), l'approche à base de modèles s'appuie sur un modèle de fonctionnement du système surveillé. Au lieu d'avoir à acquérir et représenter une expertise auprès de spécialistes en diagnostic, cette approche exploite les modèles de conception des systèmes industriels. Elle fut au départ développée pour le dépannage de circuits électroniques et focalisée sur le diagnostic hors ligne de systèmes dits statiques. Deux grandes approches furent proposées : i) l'approche *consistency-based*

<sup>1</sup><http://monet.aber.ac.uk:8080/monet/monetinfo/monetbridge.htm>

<sup>2</sup><http://www.afia.polytechnique.fr/>



qui s'appuie sur un modèle de bon fonctionnement et localise les composants responsables d'une éventuelle différence entre les observations attendues et les observations réellement effectuées ; ii) l'approche abductive qui s'appuie sur un modèle de pannes et identifie les pannes ou dysfonctionnements expliquant les observations anormales. Pour une présentation détaillée des travaux de cette période, voir les références [44][50].

Depuis les années 90, les chercheurs du domaine se sont tournés vers la surveillance et le diagnostic des systèmes dynamiques, se rapprochant en cela des chercheurs de l'automatique. La spécificité de l'approche IA est l'utilisation de modèles qualitatifs au lieu de modèles numériques et l'importance donnée à la recherche des causes profondes des dysfonctionnements. Les approches de diagnostic s'appuient sur la simulation qualitative ou sur les graphes causaux pour rechercher la cause des déviations observées. Les liens entre les deux communautés se sont renforcés en particulier en ce qui concerne les travaux autour des systèmes à événements discrets et des systèmes hybrides. Les formalismes utilisés sont en particulier souvent semblables (automates, réseaux de Petri ...) [32][73].

Notre équipe se focalise sur la surveillance et le diagnostic en ligne des systèmes modélisés comme des systèmes à événements discrets et s'intéresse en particulier au problème de la supervision par gestion d'alarmes. Dans ce contexte, un opérateur est en général chargé de la surveillance et reçoit des événements (les alarmes) datés et émis par les composants eux-mêmes en réaction à des événements extérieurs. Les observations recueillies sur le système sont des informations discrètes, correspondant à un événement ponctuel ou à une propriété associée à un intervalle de temps. Les principales difficultés pour analyser ce flux d'alarmes sont alors les suivantes :

- la profusion des alarmes reçues : le superviseur peut recevoir jusqu'à plusieurs centaines de messages par seconde, dont certains sont non significatifs,
- l'imbrication des alarmes reçues : les ordres dans lesquels sont émises et reçues les alarmes peuvent être différents. De plus, les séquences d'alarmes résultant de pannes concourantes peuvent s'imbriquer. Les délais de propagation et, éventuellement, les voies d'acheminement doivent ainsi être pris en compte, aussi bien pour rétablir l'ordre des événements que pour décider à partir de quand on peut supposer avoir reçu la totalité des messages pertinents,
- la redondance des alarmes reçues : certaines alarmes sont de simples conséquences d'autres. C'est en particulier le cas dans le phénomène connu sous le nom d'avalanche d'alarmes,
- la perte et le masquage des alarmes reçues : certaines alarmes émises peuvent être perdues ou masquées au superviseur par suite du dysfonctionnement d'un composant intermédiaire chargé de leur transmission. L'absence d'une alarme doit être prise en compte et peut fournir une indication intéressante sur l'état du système.

On peut distinguer deux cas posant des problèmes un peu différents. Les alarmes de conduite sont destinées à être traitées *en ligne* par l'opérateur de conduite. Le but de la surveillance est alors l'aide à la conduite, et l'analyse doit être faite en temps réel. L'opérateur a un objectif d'optimisation à court terme : il s'agit en général de rester au plus près d'un régime idéal, en tenant compte de la variabilité des entrées et de l'évolution naturelle des processus. En revanche, les dérives structurelles du système (usure des pièces, modifications lentes des propriétés de ses composants, etc.) ne sont pas prises en compte en tant que telles et sont corrigées par un réglage de paramètres.

Ce traitement *réactif* s'oppose au traitement *en profondeur* des alarmes de maintenance. On procède alors à une analyse *hors ligne* plus fouillée de l'historique du système, en cherchant à prévoir les incidents, à planifier les opérations d'entretien pour limiter au maximum les défaillances et les interruptions de service.

L'essentiel de nos travaux porte sur l'aide à la surveillance en ligne et nous supposons que les modèles de fonctionnement ou de dysfonctionnement des systèmes surveillés sont disponibles. Cependant, l'exploitation en ligne des modèles est rarement envisageable car trop complexe vis-à-vis des contraintes temps réel, ceci en particulier en raison de la dimension temporelle que ces modélisations prennent en compte (automates communicants temporels, graphes causaux temporels). Il faut donc effectuer une transformation (ou compilation) de ces modèles hors ligne et en extraire les éléments utiles au diagnostic sous une forme adaptée.

Deux méthodes sont étudiées :

- Dans la première approche, l'automate qui sert de modèle est transformé hors ligne en un automate adapté au diagnostic, appelé « diagnostiqueur ». Ses transitions s'effectuent uniquement à partir des événements observables et ses états contiennent de l'information sur les pannes rencontrées par le système. Diagnostiquer le système consiste à parcourir le diagnostiqueur au fur et à mesure de l'arrivée d'événements observables. Cette approche a été proposée par M. Sampath et ses collègues [70]. Nous l'avons reprise et étendue pour l'adapter au formalisme des automates communicants [67] (voir aussi [14]) et une approche générique tirant parti des symétries dans la structure du système a été proposée [65].

Nos travaux les plus récents portent sur le développement d'une approche décentralisée [60]. Cette approche peut se comparer à celles proposées par R. Debouk et ses collègues [39][38], d'une part, et par P. Baroni et ses collègues [31][30], d'autre part. À la différence de celle R. Debouk et al., notre approche s'appuie sur des modèles locaux et ne nécessite jamais la construction d'un modèle global dont la taille est beaucoup trop importante pour les applications que nous traitons. P. Baroni et al. proposent un diagnostic *a posteriori* (ou hors ligne) alors que nous proposons une solution effectuant un diagnostic en ligne. Les alarmes (ou observations) sont ainsi analysées au fur et à mesure de leurs arrivées et les hypothèses de diagnostic sont incrémentalement calculées et affichées à l'opérateur. Notre problématique est proche de celle abordée par E. Fabre et ses collègues [47][29], la principale différence est qu'ils préconisent une approche de type multi-agents dans laquelle les diagnostics sont élaborés localement au niveau des composants par échange de messages alors que nous construisons un diagnostic global qui est proposé à un opérateur au niveau du superviseur global.
- Dans la seconde approche, l'idée est d'associer à chaque panne que l'on veut pouvoir identifier ce que l'on appelle une chronique (ou un scénario), c'est-à-dire un ensemble d'observables et un ensemble de contraintes temporelles qu'ils doivent respecter. Une des techniques permettant la supervision de systèmes dynamiques est alors la reconnaissance à la volée de ces chroniques. Son principe consiste en un suivi, en fonction des messages reçus, d'un ensemble de chroniques potentielles jusqu'à une reconnaissance complète d'une ou plusieurs d'entre elles. La constitution d'une base de chroniques est, dans ce cas, nécessaire au bon fonctionnement de la supervision. Cette base doit contenir l'ensemble des chroniques de pannes possibles. Son obtention n'est pas toujours aisée. Elle doit, par ailleurs, être actualisée au fur et à mesure de l'évolution, physique ou structurelle, du système sous surveillance. Une expertise humaine régulière s'avère coûteuse, raison pour laquelle il est préférable de s'orienter vers une méthode d'acquisition automatique de chroniques. Les travaux concernant la reconnaissance de chroniques sont en majorité français [43][63][41] et ont leur origine dans la thèse de C. Dousson [42]. Il existe une activité relativement importante autour de ce thème en France : un séminaire consacré au thème des chroniques et scénarios a rassemblé une vingtaine de personnes à Lannion en 2002. Les applications tournent autour de la surveillance, qu'il s'agisse de surveillance de systèmes (réseaux de télécommunications), de scènes (parkings, agences bancaires, ...) ou de comportements. Nos travaux de recherche ne portent pas directement sur le développement de systèmes de reconnaissance de chroniques mais plutôt sur l'acquisition automatique des bases de chroniques, thème qui est développé dans le paragraphe suivant.

## 3.2. Apprentissage automatique

**Mots clés :** *programmation logique inductive (PLI).*

*Glossaire*

**clauses définies** disjonction de littéraux contenant un seul littéral positif, un littéral étant soit une formule atomique, soit la négation d'une formule atomique.

**programme logique** ensemble fini de clauses définies.

Les techniques étudiées dans l'équipe visent à acquérir des modèles et à les mettre au point de manière automatique. Elles font partie du domaine de l'apprentissage automatique ou apprentissage artificiel [37] qui a pour objectif l'induction ou la découverte de caractérisations permettant de distinguer des classes d'objets ou d'observations décrits par un ensemble de propriétés ou d'attributs. Nos travaux s'appuient plus particulièrement sur la programmation logique inductive (PLI)

L'apprentissage est dit supervisé si l'on possède au préalable un échantillon des objets et que les éléments de cet échantillon, les exemples, sont classés, éventuellement de manière incertaine. Dans le cas contraire l'apprentissage est dit non supervisé. Les méthodes d'apprentissage supervisé comprennent des approches symboliques comme l'apprentissage inductif de règles ou d'arbres de décision ainsi que des approches subsymboliques ou numériques comme les réseaux de neurones artificiels de type perceptrons. Les méthodes d'apprentissage non supervisé comprennent des approches telles que la classification et l'analyse des données, les réseaux de neurones de type cartes de Kohonen, l'apprentissage par renforcement ainsi que les méthodes utilisées en fouille de données.

L'équipe s'intéresse particulièrement à un apprentissage de type structurel, c'est-à-dire où il s'agit de faire émerger des relations explicites entre données parmi lesquelles les dépendances ne sont pas connues. La dimension temporelle est particulièrement importante dans les applications qui nous concernent telles celles issues de la santé et l'environnement. Par ailleurs, nous considérons primordiale l'intelligibilité des caractérisations apprises afin de pouvoir évaluer les résultats et les communiquer aux experts des domaines concernés. La programmation logique inductive satisfait au mieux les critères précédents. Nous utilisons les techniques issues de cette méthode d'apprentissage de manière supervisée et envisageons leur utilisation de manière non supervisée pour la découverte de connaissances. L'approche est alors appelée *fouille de données relationnelle* [45].

Dans les années 90, la PLI s'est imposée comme un champ de recherche propre, à l'intersection de l'apprentissage automatique, de la programmation logique et de la démonstration automatique (logique computationnelle). L'objectif principal de la PLI concerne l'induction de règles de classification ou de prédiction à partir d'exemples et de connaissances disponibles sur le domaine. Le champ de la PLI a également été étendu au domaine de la fouille de données et permet la découverte de règles d'association décrivant les corrélations entre des descripteurs utilisés pour la représentation des données. La grande richesse de représentation des règles induites, puisque reposant sur la logique du premier ordre, constitue la caractéristique essentielle de la PLI.

La PLI prédictive concerne la construction d'une définition intensionnelle (par opposition à extensionnelle) d'un prédicat comme un ensemble de clauses de Horn à partir d'instances closes de ce prédicat et d'un ensemble de définitions de prédicats décrivant une connaissance de base sur le domaine. Ces connaissances sont destinées à faciliter l'apprentissage.

Formellement, à partir d'un ensemble d'exemples positifs  $P$ , d'un ensemble d'exemples négatifs  $N$ , d'une théorie  $B$  représentant la connaissance du domaine et d'un langage  $L_H$  décrivant les clauses acceptables, il s'agit de découvrir une hypothèse  $H$  appartenant à  $L_H$  telle que :  $\forall p \in P \quad T \cup H \models p$  et  $\forall n \in N \quad T \cup H \not\models n$ . Cette définition qui s'applique au cas de la classification booléenne peut être facilement étendue au cas multiclasse. La recherche des hypothèses satisfaisantes peut s'effectuer, soit de manière descendante en raffinant les clauses trop générales par l'ajout de littéraux au corps des clauses, soit en généralisant des clauses trop spécifiques (couvrant insuffisamment d'exemples positifs) en enlevant progressivement des littéraux du corps des clauses. L'espace des clauses a une structure de treillis ce qui permet d'éviter une certaine redondance lors de la recherche.

La PLI est principalement utilisée pour l'apprentissage de règles de classification. Une approche similaire peut également être utilisée pour l'induction d'arbres de décision ainsi que pour la régression de premier ordre où il s'agit de prédire la valeur d'une variable réelle plutôt qu'une classe. Enfin, des propositions récentes ont étendu l'approche à l'apprentissage de modèles dynamiques : l'une utilise une représentation issue du

simulateur qualitatif QSIM [51], l'autre permet la découverte d'équations différentielles à partir d'exemples de comportement d'un système dynamique [46].

Les travaux actuels sur la PLI visent l'amélioration de la robustesse (bruit, données incomplètes) et de l'efficacité (amélioration de l'exploration de l'espace de recherche par prise en compte de ses propriétés structurelles, par utilisation d'une recherche stochastique ou encore par parallélisation des algorithmes). Une autre voie étudie la manière d'associer différentes méthodes d'apprentissage ou des systèmes de PLI utilisant différentes stratégies. La mise à jour ou la combinaison de programmes logiques font partie des méthodes étudiées. L'extension du langage de représentation au premier ordre complet est également concernée par les investigations actuelles. Dans cette voie, l'apprentissage à partir de données temporelles occupe une position privilégiée [48] car de nombreux domaines d'application, parmi lesquels les télécommunications, la santé et l'environnement, fournissent des données susceptibles d'être analysées. Pour ce faire, nous avons choisi de nous appuyer sur les travaux récents de C. Rouveirol et M. Sebag [71] qui ont montré l'intérêt d'associer PLI et Programmation Logique avec Contraintes (PLC), en particulier, pour prendre en compte le traitement des valeurs numériques de manière efficace. Un dernier défi pour la PLI selon D. Page [56] consiste à élaborer des schémas de collaboration étroite entre experts et systèmes de PLI pour la découverte de connaissances afin de pallier la complexité de la méthode i) en permettant l'évaluation d'hypothèses parallèles et non seulement celle maximisant une certaine fonction heuristique ; ii) en proposant des tests et expériences permettant de choisir entre plusieurs hypothèses ; iii) en fournissant une justification non numérique des hypothèses, comme des croyances ou des exemples illustratifs ; iv) en consultant l'expert à propos d'anomalies dans les données.

Nos travaux se situent plus dans l'application pratique de la PLI que le développement ou l'amélioration des techniques. Toutefois, comme le soulignent Page et Srinivasan [56], les domaines d'application visés (analyse de signaux dans le domaine de la santé) peuvent bénéficier des aménagements de la méthode aux caractéristiques des données. Ainsi, nous avons commencé à étudier l'association de méthodes d'abstraction temporelle à l'apprentissage et à la reconnaissance de chroniques. Nous nous intéressons également à l'induction de clauses contraintes, en particulier pour gérer les aspects temporels. Dans cette approche, certaines variables participent à la représentation de phénomènes temporels et sont soumises à un système de contraintes [62] de façon à gérer efficacement les calculs associés (test de couverture des clauses, par exemple).

## 4. Domaines d'application

### 4.1. Panorama

**Mots clés :** *télécommunications, santé, environnement.*

Les applications sur lesquelles les travaux de l'équipe sont expérimentés sont les suivantes :

- la supervision de réseaux de télécommunications en vue d'assurer une bonne qualité de service ;
- le monitoring médical dans le domaine des troubles de l'activité cardiaque et à plus long terme la définition de prothèses cardiaques capables d'analyser un trouble arythmique et d'y réagir de manière personnalisée ;
- la surveillance dans le domaine de l'environnement et en particulier la gestion des risques de pollution liés au transfert de polluants tels que les pesticides et les nitrates.

Pour chacune de ces applications, des contacts et des collaborations avec les spécialistes du domaine ont été établis (voir contrats industriels). Ceci oblige à un investissement relativement important dans des domaines nouveaux pour nous, comme dans tout projet pluridisciplinaire mais ceci est indispensable si l'on veut pouvoir accéder à des données et valider les résultats de manière approfondie.

## 4.2. Surveillance de réseaux de télécommunications

Nous avons une bonne expérience dans la surveillance et le diagnostic de réseaux de télécommunications. Nous avons en particulier proposé et développé des algorithmes décentralisés pour le diagnostic en ligne de systèmes à événements discrets. Ils ont été expérimentés dans le cadre du projet MAGDA sur les réseaux de type SDH. Les projets MAGDA et MAGDA2 (projets RNRT / 98-03) portent sur la corrélation d'alarmes dans les réseaux de télécommunications ; les partenaires en sont France-Telecom R&D, Alcatel, Ilog, le LIPN et l'IRISA. Le projet MAGDA (Modélisation et Apprentissage pour une Gestion Distribuée des Alarmes) s'est terminé en décembre 2001. Le projet MAGDA2 (Modélisation et Apprentissage pour une Gestion Distribuée des Alarmes De bout En boUt) a débuté en décembre 2001. Il poursuit le projet MAGDA et rassemble les mêmes partenaires. Il a pour objectif de trouver des solutions avancées aux problématiques de la gestion des réseaux hétérogènes et de la prise en compte d'événements faisant intervenir l'interaction entre la couche réseau et la couche service. Nous sommes plus particulièrement concernés par i) l'étude et le développement d'algorithmes de diagnostic robustes et distribués, capables de supporter l'incomplétude des modèles, la perte d'alarmes et la reconfiguration en ligne du réseau ; ii) l'apprentissage de chroniques caractéristiques des pannes par analyse des fichiers de logs.

## 4.3. Surveillance médicale

La surveillance médicale de patients s'appuie, de manière générale, sur un système de monitoring qui enregistre un certain nombre de paramètres comme la pression sanguine, le rythme cardiaque, les caractéristiques de la respiration, l'activité électrique cardiaque ou encéphalographique, etc. L'analyse de ces paramètres permet de déceler des valeurs particulières indiquant un comportement anormal nécessitant une action thérapeutique. L'automatisation de la détection des situations alarmantes nécessite des algorithmes appropriés et efficaces. Nous étudions l'intégration d'approches mettant en œuvre des techniques de traitement de signal et de reconnaissance de motifs temporels symboliques pour la détection de situations alarmantes. Nous nous sommes principalement focalisés sur la surveillance de patients cardiaques en unité de soins intensifs, mais l'approche pourrait être transposée pour la surveillance à partir d'électroencéphalogrammes ou encore l'aide au pilotage de l'anesthésie en salle d'opération ou de réveil, etc.

Dans le cadre de l'Action Concertée Incitative *Télé médecine et Technologies pour la Santé* du MENRT, en collaboration avec le LTSI, le département de cardiologie du CHU de Rennes et la société Ela-Medical, nous avons défini l'architecture d'un système de détection et d'identification des arythmies cardiaques à partir de l'analyse des signaux électrocardiogrammes. Il s'agit d'analyser en ligne le signal provenant des différentes voies d'un système de monitoring cardiaque afin de détecter et de caractériser les arythmies cardiaques d'un patient sous surveillance. La première étape consiste à construire une description qualitative du signal par des algorithmes de traitement de signal mis en œuvre par nos collègues du LTSI. Cette description qualitative est ensuite analysée au vol afin d'y reconnaître des motifs caractéristiques ou chroniques représentant les différentes arythmies cardiaques. La reconnaissance de chroniques suppose l'existence d'une base de chroniques regroupant l'ensemble des motifs significatifs. La principale difficulté provient de l'acquisition de cette base ce qui nous a conduit à développer une approche de type apprentissage automatique sur des données provenant de simulations et de signaux réels. Nous utilisons un apprentissage de type PLI et nous montrons comment adapter cette technique au traitement de données temporelles.

Nous travaillons actuellement sur les sujets suivants :

- l'adaptation des techniques de reconnaissance de chroniques afin qu'elles prennent en compte les aspects multivoies et multicapteurs. Diverses méthodes de contrôle de la reconnaissance sont envisagées : reconnaissance globale de tous les événements, reconnaissance hiérarchique privilégiant l'une des voies, reconnaissance sur une voie et confirmation sur les autres voies, etc. Ces différentes méthodes sont actuellement à l'étude afin de les comparer et de déterminer les plus pertinentes.

- l'étude d'un couplage fort entre la phase de traitement du signal et la phase de reconnaissance des chroniques lorsque l'analyse en ligne se fait à partir de signaux continus, comme c'est le cas pour l'analyse des ECGs. Il s'agit par exemple d'exploiter les hypothèses émises par le reconnaiseur de chroniques afin de piloter avec plus de finesse et de pertinence les algorithmes de traitement de signal.
- la prise en compte du bruit sur les signaux ainsi que les erreurs provenant des mesures et du caractère incertain des données.

#### 4.4. Surveillance de systèmes naturels

Deux sujets sont actuellement étudiés dans ce domaine d'application :

1. la surveillance de parcelles agricoles à partir d'images.

Dans le cadre d'une collaboration avec l'Ensar, nous avons abordé le problème de la surveillance de parcelles agricoles à partir d'une série d'images aériennes et satellitaires avec pour objectif la maîtrise de la qualité de l'eau. Le site de l'étude est le bassin versant Chèze-Canut, d'une surface de 8000 hectares, qui alimente en eau la ville de Rennes. L'objectif du projet est de fournir, trois fois par an, une carte thématique qui résume les différentes occupations du sol (prairie, maïs, blé, etc.) des parcelles agricoles de cette région. La classification des images par des méthodes statistiques traditionnelles (maximum de vraisemblance, nuées dynamiques, analyse discriminante) donne des résultats globalement corrects mais comportant néanmoins des anomalies ou des incohérences apparaissant sur la carte thématique résultat. Les anomalies correspondent à la dispersion de pixels isolés d'une certaine culture dans une parcelle connue comme appartenant à une autre culture. Les incohérences, détectables si l'on compare plusieurs cartes résultats à des dates différentes, ont pour origine l'ambiguïté possible entre deux ou plusieurs cultures ayant des signatures spectrales proches.

Partant de ce constat, notre objectif est de proposer une méthode d'interprétation d'un territoire agricole par classification « intelligente » sur une séquence d'images [52]. Après une étape de classification de ces images (classification des parcelles), les résultats sont améliorés en tirant parti de modèles de l'évolution de la couverture de ces zones agricoles. Ces modèles d'évolution sont décrits dans le formalisme des automates temporels. La discrimination des occupations du sol consiste à comparer les observations, dérivées des images par la préclassification, à l'état attendu par la simulation de l'automate. Ce problème est abordé comme un problème de vérification et résolu à l'aide de techniques de model-checking [36]. Le principe de reconnaissance de l'occupation du sol sur une série d'images est spécifié en termes de propriétés d'atteignabilité. La mise en oeuvre de la méthode se fait dans le système NosyBe, faisant appel à l'outil de model-checking Kronos, développé à Verimag. L'expérimentation, réalisée sur une séquence de cinq images du site de l'étude, a donné des résultats encourageants. À la suite de ce travail, nous avons cherché à valider la méthode en l'expérimentant sur la région de Vittel, en collaboration avec l'INRA de Nancy.

2. Le projet Sacadeau.

Le projet Sacadeau (Système d'Acquisition de Connaissances pour l'Aide à la Décision sur la qualité de l'Eau) est en phase de démarrage. Il a pour objectif le développement d'un outil d'aide à la gestion d'un territoire agricole dans le cadre du projet Bretagne-Eau Pure. Il doit aider le gestionnaire d'un bassin versant à émettre des recommandations d'actions sur les pratiques agricoles des exploitants agricoles du bassin versant, dans le but d'améliorer la qualité de l'eau à l'exutoire du bassin versant. Il s'agit en particulier de diminuer les taux de pesticides et de nitrates. L'étape préalable consiste à identifier les relations existant entre les pratiques agricoles (au niveau du bassin versant, de l'exploitant agricole et de la parcelle) et la qualité des eaux à l'exutoire et nous envisageons d'utiliser les techniques d'apprentissage automatique de type PLI à cet effet.

Ce projet est soutenu par le ministère (intitulé alors Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ou MATE) dans le cadre d'un projet « Pesticides » et par les départements « Environnement et Agronomie » (EA) et « Biométrie et Intelligence Artificielle » (BIA) de l'Inra dans le cadre d'une action transversale « Aide à la décision ». Il se fait en collaboration avec des chercheurs d'unités Inra de Rennes, Toulouse et Montpellier. Il s'agit d'apprendre les relations entre pratiques agricoles et qualité de l'eau par simulation d'un modèle qualitatif. La démarche proposée s'appuie sur l'idée d'une coopération entre un modèle biophysique de transfert de polluants dans le bassin versant et un modèle décisionnel. Le modèle biophysique permet de simuler différentes situations en modifiant les paramètres et les variables biophysiques. Le modèle décisionnel sert directement d'interface avec l'utilisateur et a en charge l'aspect décision.

## 5. Logiciels

### 5.1. Dyp, DDyp, DypGen, DypGenBDD et Modedit : logiciels de démonstration d'approches de diagnostic pour des systèmes à événements discrets

**Participants :** Yannick Pencolé, Laurence Rozé.

**Mots clés :** *télécommunications, diagnostic à base de modèle, systèmes à événements discrets, diagnostiqueur, diagnostiqueur décentralisé.*

#### 5.1.1. Dyp

Dans le cadre du réseau d'excellence européen MONET (Model-based systems and qualitative reasoning - <http://monet.aber.ac.uk>) et de son appel à logiciel, nous avons proposé un logiciel montrant le principe du diagnostic de systèmes à événements discrets à l'aide d'une extension de l'approche diagnostiqueur classique : DYP. À partir d'un modèle de comportement en cas de pannes d'un système, le logiciel présente la transformation de ce modèle en une structure diagnostiqueur adaptée pour l'analyse en continu d'un flot d'événements observés. DYP présente les trois étapes d'une telle approche :

- la construction du modèle du système par la composition de modèles élémentaires ;
- la construction du diagnostiqueur centralisé basé sur ce modèle ;
- l'analyse d'un flot d'observations et l'élaboration d'un diagnostic de pannes sur le système expliquant les observations.

Ce logiciel a été distribué sur CD-ROM aux partenaires du réseau MONET avec l'accord de l'INRIA et de l'université de Rennes 1.

#### 5.1.2. DDyp : plate-forme de diagnostic décentralisé pour la supervision de réseaux de télécommunications

La plate-forme DDyp<sup>3</sup> implante tous les aspects de l'approche décentralisée du diagnostic [58],[13]. À partir d'un modèle à base d'automates communicants, elle construit un ensemble de diagnostiqueurs locaux (phase hors ligne). Puis, étant en ligne, elle récupère les alarmes, produit des diagnostics locaux à l'aide des diagnostiqueurs, puis fusionne les diagnostics avec une stratégie adéquate pour obtenir efficacement le diagnostic final (voir figure 1). La plate-forme est développée en C++/Java et de manière distribuée par l'utilisation de la technologie CORBA.

Chaque tâche de diagnostic (acquisition d'alarmes, calcul d'un diagnostic local, coordination, fusions des diagnostics, interface graphique) est un processus séparé, ce qui permet de déployer la plate-forme en fonction des ressources informatiques disponibles et de la nature du réseau à superviser.

---

<sup>3</sup><http://www.irisa.fr/aida/Yannick.Pencole/DDyp>

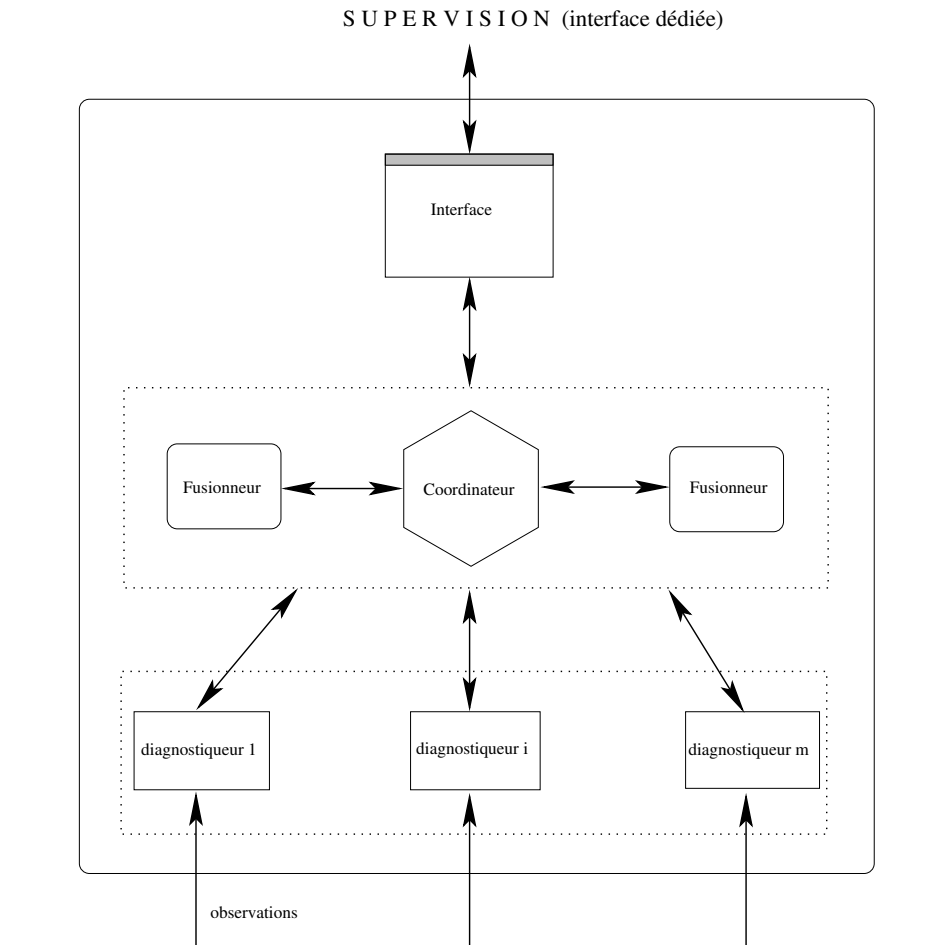


Figure 1. Déploiement de la plate-forme Ddyp.



Une première démonstration a été effectuée lors de la revue finale du projet RNRT-MAGDA où a été présentée la chaîne complète pour la supervision et le diagnostic d'un réseau. Dans cette démonstration, l'objectif de DDyp était de récupérer les alarmes de réseau accessibles grâce à un corrélateur d'alarmes (ALCATEL), de produire le diagnostic du réseau et d'envoyer le résultat sur une interface graphique (ILOG) adaptée pour l'exploitation du résultat par un opérateur de supervision.

### 5.1.3. *DypGen et DypGenBDD : diagnostiqueurs génériques et à base de BDD*

Ces deux logiciels mettent en oeuvre les algorithmes génériques d'utilisation d'un diagnostiqueur. Ils s'appliquent à des réseaux hiérarchiques et permettent de visualiser, au fur et à mesure de l'arrivée d'alarmes, les ensembles de branches ayant le même comportement. Le modèle et le diagnostiqueur sont construits à l'aide de la bibliothèque associée à Dyp. Dans DypGen les algorithmes génériques ont été construits en s'appuyant sur des structures de données de type ensemble tandis que dans DypGenBDD ils ont été construits avec des BDD.

### 5.1.4. *Modedit : édition de modèles à base d'automates communicants*

Ce logiciel est un outil permettant la saisie graphique de modèles hiérarchiques dont les feuilles sont décrites à l'aide d'automates communicants. Il permet d'obtenir en sortie un fichier texte décrivant le modèle et pouvant être directement utilisé par des logiciels tel que Dyp.

## 5.2. **Calicot : plate-forme de reconnaissance d'arythmies cardiaques**

**Participant :** René Quiniou.

**Mots clés :** *santé, monitoring cardiaque, détection de l'onde P, détection de QRS, programmation logique inductive, reconnaissance de chroniques, raisonnement temporel.*

La plate-forme CALICOT (Cardiac Arrhythmias Learning for Intelligent Classification of On-line Tracks) intègre différents composants logiciels utilisés pour l'apprentissage et la reconnaissance d'arythmies cardiaques. Les modules de traitement de signal implantés en Matlab assurent la détection et la classification des ondes provenant d'un ECG pour produire un flot d'événements symboliques datés. Ce flot peut être placé en entrée du reconnaiseur de chroniques CRS <sup>4</sup> afin de procéder à la détection d'arythmies cardiaques par reconnaissance de chroniques. CRS, mis à notre disposition par France Telecom RD, se présente sous forme d'une bibliothèque de programmes C++ à partir desquels il est possible d'écrire des reconnaiseurs de chroniques adaptés au domaine d'application. Le flot d'événements symboliques peut également servir à constituer une base d'exemples à partir desquels les chroniques seront apprises. L'apprentissage est réalisé au moyen d'ICL <sup>5</sup>, un système d'apprentissage automatique utilisant la programmation logique inductive.

## 5.3. **NosyBe : amélioration de la classification de parcelles sur une série d'images**

**Participants :** Christine Largouët, Marie-Odile Cordier.

**Mots clés :** *environnement, surveillance, classification, model-checking.*

Le système NosyBe a pour vocation l'amélioration d'une classification d'une série d'images portant sur une région quelconque. Précisément, il concerne des images ayant subi au préalable une préclassification reposant sur les parcelles. L'utilisateur peut décrire le modèle d'évolution des occupations du sol de la région étudiée et choisir les images constituant la séquence d'étude. NosyBe implémente l'algorithme général d'amélioration de la classification d'une séquence d'images par model-checking décrit dans l'action "surveillance de parcelles agricoles" (cf. 6.6) et utilise le model-checker Kronos <sup>6</sup> développé par le laboratoire Verimag de Grenoble. NosyBe assure les fonctions suivantes :

- acquisition sous forme graphique du modèle d'évolution de la parcelle agricole,

<sup>4</sup><http://crs.elibel.tm.fr/>

<sup>5</sup><http://www.cs.kuleuven.ac.be/~wimv/ICL/>

<sup>6</sup><http://www-verimag.imag.fr/TEMPORISE/kronos/>

- exécution de la procédure de classification reposant sur Kronos et sur le modèle d'évolution , d'une série d'images sélectionnées par l'utilisateur,
- calcul des critères d'estimation de la classification (taux de non-ambiguïté des classes pour l'ensemble des parcelles et taux de reconnaissance).

Les logiciels présentés dans cette section ne sont pas déposés APP mais sont disponibles pour utilisation par toute personne intéressée qui prendrait contact avec les membres de l'équipe.

## 6. Résultats nouveaux

### 6.1. Diagnostiqueur symbolique

**Participants :** Marie-Odile Cordier, Yannick Pencolé, Laurence Rozé.

La méthode des automates diagnostiqueurs s'inspire des travaux de M. Sampath et al. [68][69] et s'applique aux systèmes à événements discrets. Partant d'un modèle de fonctionnement d'un système décrit en terme d'automates, elle consiste à construire directement un automate particulier appelé diagnostiqueur dont les transitions correspondent aux événements observables et les états décrivent les pannes du système. Diagnostiquer le système consiste à parcourir le diagnostiqueur au fur et à mesure de l'arrivée d'événements observables. Dans notre cas, le système modélisé est un réseau de télécommunications et le formalisme utilisé est celui des automates communicants temporels. L'approche diagnostiqueur a été adaptée afin de tenir compte de ce formalisme et des contraintes propres à l'application traitée, en particulier l'existence de contraintes temporelles.

Le problème essentiel, dès que l'on traite de systèmes de grande taille, est celui de la taille des diagnostiqueurs et une première idée étudiée a été celle d'un diagnostiqueur générique. Ceci a conduit à la réalisation d'un prototype DypGen dans lequel ne sont modélisées que les parties génériques du réseau (par exemple une branche dans le cadre d'un réseau hiérarchique) et dans lequel les composants ayant le même comportement sont traités de manière conjointe.

Nous étudions actuellement une autre approche qui est celle des diagnostiqueurs symboliques. Les automates utilisés jusqu'à présent étaient définis de façon explicite (états et transitions) et les algorithmes de construction étaient énumératifs. Or il existe des techniques symboliques, couramment utilisées dans les approches de type model checking, permettant d'utiliser des représentations implicites du modèle sous forme de relations. On étudie l'utilisation de ces techniques pour construire un diagnostiqueur symbolique et profiter ainsi de l'efficacité associée.

Dans ce cadre, un certain nombre de travaux ont été effectués :

- la réalisation d'un prototype DypGenBDD qui implémente les algorithmes génériques à l'aide de BDD,
- la réalisation d'un prototype DypBDD où les automates et le diagnostiqueur sont modélisés à l'aide de BDD,
- une première étude théorique de modélisation et de construction du diagnostiqueur en utilisant une représentation polynomiale des automates [21].

### 6.2. Approche décentralisée du diagnostic

**Participants :** Marie-Odile Cordier, Yannick Pencolé, Laurence Rozé.

Le problème considéré est la supervision de systèmes tels que les réseaux de télécommunications. Étant donnée la taille d'un tel système, une approche diagnostiqueur de type centralisé [66][70] n'est pas implantable car elle nécessite la mise en place d'un modèle global du système. Nous avons donc décrit un système de diagnostic non plus fondé sur un unique diagnostiqueur mais sur un ensemble de diagnostiqueurs. Contrairement aux approches proposées dans [38] et [72] qui nécessitent la construction du modèle global,

l'idée a été ici de construire des diagnostiqueurs fondés uniquement sur des modèles locaux du système [61]. Chaque diagnostiqueur est en mesure d'établir un diagnostic local au composant en fonction des alarmes liées à ce composant reçues par le superviseur. Une fois établi l'ensemble des diagnostics locaux, la seconde étape est la coordination des diagnostics locaux en vue de construire le diagnostic global du réseau supervisé.

Au cours de l'année 2002, nous avons principalement travaillé sur deux points de l'approche décentralisée. Le premier point concerne la coordination des diagnostics locaux en vue de construire le diagnostic global. Nous avons mis en place une stratégie de reconstruction du diagnostic global fondée sur les interactions possibles entre les diagnostics locaux [26][13]. Cette stratégie, établie en ligne, est une étape nécessaire afin d'optimiser le calcul de coordination et d'obtenir ainsi un diagnostic en un temps satisfaisant pour le superviseur. Le deuxième point étudié a été la mise en place d'une représentation de diagnostic la plus compacte possible. Cette représentation est fondée sur le principe de la réduction d'ordre partiel [57]. L'idée est de procéder en même temps que la coordination des diagnostics à une réduction de ceux-ci par la détection de l'occurrence d'événements diagnostiqués concurrents. L'avantage de cette réduction en ligne est l'augmentation de l'efficacité de la coordination des diagnostics. Ce travail a été entièrement développé dans le rapport de thèse de Y. Pencilé [9], thèse qui a été soutenue le 28 juin 2002.

Du point de vue de la mise en œuvre du système de diagnostic décentralisé, le prototype DDyp a été utilisé lors de la revue finale du projet RNRT Magda dans la chaîne de supervision constituée pour cette occasion (voir figure 2). Cette chaîne de supervision est constituée d'un corrélateur d'alarmes (produit d'Alcatel) recevant les alarmes du réseau et les fournissant à DDyp. DDyp produit alors le diagnostic du réseau qui est envoyé vers une interface graphique (produit par Ilog) qui affiche le résultat du diagnostic de façon ergonomique pour un opérateur de supervision.



Figure 2. Chaîne de supervision

Nous avons également étendu par la suite le prototype DDyp en mettant en place la représentation réduite du diagnostic du système. De plus, une batterie d'algorithmes pour le calcul de diagnostics locaux (algorithmes développés au cours de la thèse de Y. Pencilé) a été intégrée. Chaque algorithme peut être utilisé en fonction de ses caractéristiques propres (avantages et inconvénients) et du sous-système diagnostiqué (taille du sous-système, concurrence d'événements dans le sous-système, observabilité...). DDyp peut aussi changer en ligne l'algorithme de diagnostic local, ce qui est un premier pas vers la possibilité pour DDyp de diagnostiquer des systèmes reconfigurables de grande taille tels que les systèmes autonomes.

### 6.3. Etude des liens entre les approches pour le diagnostic de l'automatique et de l'IA

**Participante :** Marie-Odile Cordier.

Ce travail s'effectue dans le cadre du groupe Imalaia. Celui-ci regroupe des chercheurs de l'Automatique et de l'Intelligence Artificielle. Il bénéficie de l'acquis accumulé des groupes Alarme (PRC IA), Diagnostic (GDR Automatique) et MQD (PRC IA / GDR Automatique). Il est reconnu par les GDR I3 et Automatique et constitue un groupe S3 ainsi qu'un groupe Afia. L'objectif général de ce groupe d'une douzaine de personnes est d'explorer les points communs ou les liens et les complémentarités des modèles et méthodes des deux communautés pour le diagnostic.

Sur un travail de fond consistant à faire l'inventaire des modèles et méthodes proposés de part et d'autre et leurs motivations, le groupe mène des travaux plus techniques. Nous avons ainsi effectué une analyse comparative de l'approche dite des résidus structurés et de la théorie logique du diagnostic. Celle-ci a donné lieu cette année à la soumission d'un article pour un numéro spécial de la revue IEEE Transactions on Systems,

Man and Cybernetics sur le thème « Diagnosis of Complex Systems : Bridging the methodologies of the FDI and DX Communities ». Des réflexions sont en cours concernant les aspects temporels du diagnostic, la prise en compte des incertitudes, les systèmes hybrides.

## 6.4. Monitoring en cardiologie

**Participants :** Marie-Odile Cordier, Élisabeth Fromont, François Portet, René Quiniou, Sophie Robin.

Nous étudions, en collaboration avec le LTSI (unité INSERM, université de Rennes 1), l'application en cardiologie de la surveillance par reconnaissance de chroniques. Il s'agit d'analyser le signal provenant des différentes voies d'un monitoring cardiaque afin d'y détecter et de caractériser les arythmies cardiaques d'un patient sous surveillance. La nature, les caractéristiques et la fréquence des arythmies détectées permettent ensuite de proposer une attitude thérapeutique adaptée, par exemple un traitement médicamenteux ou la pose d'un pacemaker.

Cette année nous avons continué à étudier l'apprentissage et la reconnaissance d'arythmies cardiaques à partir de la voie principale de l'ECG dont les signaux sont préalablement transformés en séquence d'événements symboliques datés [16]. Nous nous sommes particulièrement préoccupés de l'évaluation des performances des différents composants de la plate-forme de reconnaissance : les modules de traitement de signal, d'apprentissage, de reconnaissance de chroniques et de la chaîne de reconnaissance complète. Ce travail est réalisé en partie par Feng Wang doctorant du LTSI que nous co-encadrons. Il a reçu le soutien de l'Action Concertée Incitative *Télé médecine et Technologies pour la Santé* du MENRT (cf. 7.3).

De plus, nous examinons l'adaptation des techniques d'apprentissage et de reconnaissance de chroniques afin qu'elles prennent en compte les aspects multivoies. Diverses méthodes de contrôle de la reconnaissance sont envisagées : reconnaissance globale de tous les événements, reconnaissance hiérarchique privilégiant l'une des voies, reconnaissance sur une voie et confirmation sur les autres voies, etc. Ce travail fait l'objet de la thèse d'Élisabeth Fromont qui a débuté en novembre 2002 et qui est financée par le contrat RNTS Cepica (cf. 7.4).

Par ailleurs, nous étudions les moyens à mettre en œuvre pour assurer une collaboration étroite entre traitement de signal et reconnaissance de chroniques. L'objectif est de faire coopérer les algorithmes assurant la perception et l'interprétation des signaux afin de choisir les algorithmes adaptés au contexte de la reconnaissance : niveau de bruit, arythmie soupçonnée, matériel utilisé (prothèse cardiaque, holter ou système de monitoring). Ce travail fait l'objet de la thèse de François Portet qui a débuté en octobre 2002.

## 6.5. Analyse et fouille de données temporelles et spatiales

**Participants :** Marie-Odile Cordier, René Quiniou.

Les connaissances temporelles présentent des propriétés particulières qui sont exploitées par des mécanismes de raisonnement appropriés pouvant être considérés comme des spécialisations des approches générales : la logique temporelle est, par exemple, une spécialisation de la logique modale. La propagation de contraintes temporelles tire parti des caractéristiques spécifiques des connaissances temporelles pour rendre plus efficaces les techniques de propagation de contraintes.

Nous cherchons à déterminer si les caractéristiques spécifiques des données temporelles (ou spatiales) ne pourraient être exploitées pour améliorer l'analyse ou la fouille mettant en jeu de telles données. Précisément, nous voulons savoir si les opérations classiques dans le domaine de l'analyse ou de la fouille de données (nettoyage et préparation des données, sélection, transformation, fouille, révision et consolidation) peuvent avoir une expression particulière dès lors que les données sont de type temporel et spatial.

Un atelier organisé lors de la conférence ECAI 2002 [17] a regroupé des chercheurs provenant d'une vingtaine de laboratoires internationaux, démontrant ainsi l'intérêt de cette préoccupation. Il est encore trop tôt pour répondre aux questions précédentes. Nous participons, pour l'instant, à la mise en place d'un centre

de ressources commun <sup>7</sup> qui recense les articles nouvellement parus sur le sujet et qui propose un forum de discussion pour débattre de ces préoccupations .

## 6.6. Surveillance de parcelles agricoles

**Participant**es : Marie-Odile Cordier, Christine Largouët.

Dans le cadre d'une collaboration avec l'Ensar, nous avons abordé le problème de la surveillance de parcelles agricoles à partir d'une série d'images aériennes et satellitaires avec pour objectif la maîtrise de la qualité de l'eau. Notre objectif a été de proposer une méthode d'interprétation d'un territoire agricole par classification « intelligente » sur une séquence d'images [52]. Nous orientons notre démarche selon deux axes : une préclassification sur la parcelle et non plus sur le pixel et la discrimination des occupations du sol à l'aide d'un modèle d'évolution de la parcelle. La préclassification a pour objectif de fournir les occupations du sol possibles pour chaque parcelle. Cette préclassification est ensuite améliorée en tirant parti des connaissances sur les cycles culturaux et de l'historique des observations. La démarche consiste à confronter une suite d'observations, issues des images, avec une suite d'états, obtenus par la simulation du système dynamique, dans le but de restreindre le nombre d'états susceptibles de représenter l'occupation du sol. Les automates temporisés sont utilisés pour représenter les contraintes temporelles et les cycles caractéristiques de l'évolution de la parcelle agricole. La comparaison entre les observations, résultant de la préclassification des images, et les états attendus est traitée comme un problème de vérification et résolue à l'aide de techniques de model-checking (vérification de propriétés d'atteignabilité). La mise en oeuvre de la méthode se fait dans le système NosyBe, faisant appel à l'outil de model-checking Kronos, développé à Verimag. L'expérimentation a été réalisée sur une séquence de cinq images provenant du site de l'étude et les résultats ont été évalués positivement.

À la suite de ce travail, pour lequel un article de synthèse a été publié dans [20], l'année 2002 a été consacré à la validation de la méthode en l'expérimentant sur une autre région. En collaboration avec l'INRA de Nancy (F. Le Ber et J. Bachacou), nous avons obtenu une série d'images de télédétection sur la région de Vittel et les connaissances agronomiques nécessaires à la construction du modèle d'évolution des cultures. La méthode a montré une légère amélioration de la classification par rapport aux résultats de la préclassification. Cependant cette expérimentation a également soulevé de nouvelles questions concernant i) le découpage a priori du parcellaire et ii) l'utilisation de la vérité terrain pour les étapes de préclassification et de validation des résultats. Actuellement, le découpage parcellaire est fixé pour toutes les images. Lors du travail sur les images de Vittel, nous avons pu constater que le parcellaire évoluait d'une image à l'autre. Une perspective intéressante de la méthode de classification serait de tenir compte de l'évolution spatiale du découpage parcellaire au cours du temps. Ce point est crucial pour la diffusion d'une méthode dite « automatique » auprès d'agronomes. Il reste cependant un réel problème de recherche.

La préclassification repose actuellement sur des méthodes supervisées dont la qualité du résultat dépend de la vérité terrain. Une évolution consisterait à appliquer une méthode non supervisée, plus souple puisque ne nécessitant pas de relevés de terrain. Il serait alors nécessaire de faire une mise en correspondance entre l'évolution des classes issues de la classification non supervisée et le modèle d'évolution des cultures.

## 6.7. Diagnostic et Model-checking

**Participant**s : Marie-Odile Cordier, Alban Grastien, Christine Largouët, Laurence Rozé.

Afin d'améliorer l'efficacité des algorithmes de diagnostic, nous avons proposé de tirer parti des outils de model-checking initialement développés pour la vérification de systèmes temps réel de grande taille. Y. Pencolé a ainsi utilisé des techniques de réduction d'ordre partiel pour représenter de manière efficace l'ensemble des trajectoires candidates à être des diagnostics. L. Rozé a proposé l'utilisation des BDDs pour représenter de manière économique les diagnostiqueurs [21]. Cette orientation se retrouve aussi dans la communauté de planification où de nombreux articles récents ont montré l'amélioration qui pouvait être

---

<sup>7</sup><http://tasda.elibel.tm.fr/>

obtenue pour le calcul de plans conformants ou à observabilité partielle [33]. Dans le domaine du diagnostic, les seuls travaux actuels sont ceux de Console et al. [35] qui ont proposé d'utiliser les *process algebras* pour le diagnostic mais surtout les tests de diagnosticabilité. Ces travaux sont à l'heure actuelle restés théoriques.

Nous avons entrepris une réflexion plus générale sur l'utilisation des techniques de model-checking pour le diagnostic des systèmes à événements discrets. Dans ce contexte, le système observé est représenté par un automate temporisé et le diagnostic est considéré comme un ensemble de trajectoires expliquant les observations. Dans ce travail, un système dynamique est décrit de manière modulaire et chaque composant est représenté par un automate temporisé. Les trajectoires obtenues doivent satisfaire les observations, éventuellement incertaines, et les contraintes temporelles. Le diagnostic est obtenu en vérifiant des propriétés d'atteignabilité sur le modèle. L'implémentation a été réalisée à l'aide du model-checker Kronos qui vérifie des propriétés exprimées à l'aide de la logique temporelle quantitative TCTL. L'intérêt de la méthode proposée est l'aspect incrémental de l'algorithme qui permet l'analyse en ligne d'une séquence d'observations. Sa particularité est également de pouvoir tenir compte de contraintes temporelles quantitatives. Ce travail a été publié dans [36].

Suite aux travaux présentés ci-dessus, Alban Grastien a réalisé son stage de DEA en 2002 sur ce sujet. Il a établi le lien entre les problèmes de planification et de diagnostic lorsque ceux-ci sont représentés par des systèmes à événements discrets décrits à l'aide d'automates. Il a également proposé des méthodes de résolution de problème de diagnostic et de planification (en particulier la planification conformante) par des techniques de model-checking. La poursuite de ces travaux fait partie du sujet de thèse d'A. Grastien, doctorant depuis octobre 2002.

## 6.8. Tuteur Intelligent pour le diagnostic médical en cardiologie

**Participant :** Dominique Py.

Dans le cadre d'une collaboration avec la société Integrative Bio Computing (IBC) et le Laboratoire d'Informatique Médicale (LIM) de Rennes, nous nous intéressons aux tuteurs intelligents pour l'enseignement du diagnostic médical. Depuis quelques années, la formation médicale initiale s'appuie sur une méthode pédagogique, l'Apprentissage au Raisonnement Clinique (ARC), dans laquelle les étudiants mettent en pratique leurs connaissances théoriques sur des cas cliniques. Notre objectif est de concevoir un environnement qui permette à l'apprenant d'acquérir des compétences en diagnostic en s'entraînant sur des cas réalistes. Le diagnostic est considéré ici comme un raisonnement hypothético-déductif, au cours duquel le praticien alterne, de manière itérative, des phases de recherche de symptômes et des phases d'élaboration et de raffinement des hypothèses émises. Le tuteur intelligent s'appuie sur un simulateur du fonctionnement cardiaque et un expert diagnostiqueur développés par IBC.

Cette année, nous avons étudié le cadre général de l'interaction, qui s'inscrit dans le paradigme du "coaching". Il s'agit de spécifier une interaction tutorielle, d'initiative mixte, dans laquelle le tuteur s'efface progressivement au fur et à mesure que l'apprenant progresse. Le principe retenu est celui du contrôle mutuel : l'élève et l'expert résolvent la tâche séparément mais l'expert intervient pour rectifier uniquement si l'écart qu'il constate entre les deux solutions est trop important. La tâche consiste à produire un diagnostic médical, c'est-à-dire un ensemble de pathologies caractérisées par leur degré de certitude, en fonction des symptômes observés chez le patient. Le tuteur compare le diagnostic produit par l'étudiant et celui produit automatiquement par l'expert afin de mettre en évidence les erreurs commises par l'étudiant. Une hiérarchie des différences a été établie. Elle permet au tuteur de repérer l'erreur la plus grave, d'interroger l'étudiant sur les relations symptôme-pathologie en lien avec l'erreur commise et de l'amener à corriger son diagnostic.

Une maquette comprenant le tuteur et une version simplifiée de l'expert a été réalisée en Sicstus Prolog, elle est en cours d'expérimentation.

## 6.9. Inférence préférentielle et langage de description d'actions

**Participant :** Yves Moinard.

Nos précédents travaux sur la notion d'inférence préférentielle ont fait l'objet d'une première publication [12]. Afin de nous faire comprendre, nous nous permettons de rappeler ici les principales définitions. L'inférence préférentielle consiste à se donner une représentation des données, lesquelles sont des formules logiques classiques. La représentation associe un ensemble d'"états" à chaque ensemble de données. Ces "états" peuvent être les modèles en terme de sémantique classique, ou des copies de modèles, ou des ensembles de modèles, voire des copies d'ensembles de modèles. La relation binaire décrit quels états doivent être préférés : on ne garde que les états associés aux données du domaine qui sont minimaux pour la relation.

La publication citée ci-dessus comporte essentiellement le résultat suivant : une caractérisation, en termes de propriétés de raisonnement ayant, lorsque cela est possible, une interprétation intuitive simple de la notion d'inférence préférentielle associée à chacune des définitions d'"état" possible. Cela donne donc trois résultats de caractérisations, allant des états les plus simples (modèles classiques en propositionnel, ou théories complètes en logique du premier ordre) aux plus complexes (copies d'ensembles de modèles, que ce soit en propositionnel ou en premier ordre). Rappelons que l'on n'obtient que trois notions différentes et non pas quatre, car les copies d'ensembles de modèles peuvent se ramener à des ensembles de modèles. Les résultats sont donnés pour le cas propositionnel, et pour la logique des prédicats du premier ordre, cas beaucoup plus rarement abordé dans la littérature même si l'"ancêtre historique" de la notion d'inférence préférentielle, la circonscription, a originalement été définie dans sa version du premier ordre.

Lors de la mise au point définitive de ce texte, nous avons été amenés à approfondir, dans [23][22], un point technique concernant la relation entre l'inférence préférentielle définie comme ci-dessus, et une définition encore plus générale, due à Makinson [55], où la notion d'état est définie comme un "modèle" (ou une "interprétation") simple mais dans une logique très appauvrie par rapport à la logique classique. Cette logique, qui ne sert qu'à définir les "états" sur lesquels portent la relation de préférence, cohabite avec la logique classique, qui est utilisée pour la notion de déduction classique de base. Nous avons donné une condition très naturelle qui décrit les cas où la notion de Makinson correspond exactement à la notion la plus générale décrite ci-dessus. Il est alors facile d'ajouter les conditions de réductions aux deux autres notions plus "simples". Cette condition naturelle, si elle est violée, donne naissance à une notion d'inférence qui a un comportement qui semble inapproprié, du moins si on garde la logique classique comme base du raisonnement. Nous avons ainsi en quelque sorte démontré comment cette définition alternative fournit finalement la même notion d'inférence préférentielle que la définition habituelle.

En ce qui concerne nos autres travaux, nous avons essayé, suite à des travaux français récents sur le sujet, d'étendre des langages de description d'actions comme le calcul situationnel, en introduisant des notions comme la notion "d'action en cours".

D'autre part, et également dans le but d'obtenir des méthodes de calcul effectivement utilisables, nous avons commencé à examiner des méthodes de "compilation de connaissances". Ces méthodes consistent à introduire un formalisme ou un langage annexe, qui n'est plus nécessairement facilement compréhensible par l'utilisateur. Les connaissances sont traduites, en totalité ou en partie, dans ce formalisme "technique", et cela "hors ligne", d'où le terme de "compilation". Une fois la traduction effectuée, le calcul "en ligne" des déductions utiles se trouve accéléré. Nous avons commencé à examiner la possibilité d'utiliser ce genre de méthode grâce à une notion récemment introduite, par Friedman et Halpern [49], appelée inférence par plausibilité. Une formule "A" entraîne une autre formule "B" si la plausibilité de la formule "A et B" est supérieure à celle de "A et non B". La plausibilité peut être une probabilité, ou plus généralement un nombre, ou plus généralement un élément d'un ensemble partiellement ordonné. Il s'avère que cela permet de traduire d'une façon totalement différente ce que les inférences préférentielles permettaient de traduire, et aussi des notions plus générales. Si la plausibilité peut être un nombre, alors il devrait être possible de calculer une partie suffisante hors ligne, la déduction ne nécessitant plus alors que le calcul d'une négation et de deux conjonctions, suivi d'une simple comparaison numérique des deux nombres qui leur sont associés.

## 7. Contrats industriels

### 7.1. Modélisation, diagnostic et supervision de réseaux de télécommunication

**Participants :** Marie-Odile Cordier, Yannick Pencolé, Laurence Rozé.

La convention CTI avec le CNET concernant la surveillance de réseaux de télécommunications s'est terminée en 1998. Le projet RNRT Magda (Modélisation et Apprentissage pour une Gestion Distribuée des Alarmes) démarré en septembre 1998, s'est terminé en décembre 2001. Il s'est effectué en collaboration avec Alcatel, le Cnet et Ilog côté industriels, et côté universitaires avec le LIPN/Université Paris-Nord et au sein de l'Irisa avec les projets ou ex-projets Pampa, Sigma2 et Aïda. Ce projet avait pour objectif l'étude d'une chaîne complète de supervision d'un réseau de télécommunications. Il s'agissait de développer et d'expérimenter de nouvelles méthodes de gestion des alarmes et, plus précisément, de permettre une meilleure identification des défaillances ou des pannes. Après modélisation du réseau, il s'agissait de reconnaître en ligne des situations à risques en utilisant des outils de corrélation d'alarmes et de diagnostic. L'équipe DREAM a été plus particulièrement concerné par le développement des outils de diagnostic. L'approche *diagnostiqueur* a été étudiée dans ce contexte et une approche de type diagnostiqueurs décentralisés [59] a été développée pour traiter cette application (voir section 6.2 et [13]).

Ce travail se poursuit depuis novembre 2001 sous la forme d'un projet RNRT Magda2 (Modélisation et Apprentissage pour une Gestion Distribuée des Alarmes De bout En boUt). L'objectif du projet Magda2 est de trouver des solutions avancées aux problématiques de la gestion des réseaux hétérogènes et de la prise en compte d'événements faisant intervenir l'interaction entre la couche réseau et la couche service. L'équipe DREAM est plus particulièrement concerné par l'étude et le développement d'algorithmes robustes de corrélation et de diagnostic pour les réseaux de télécommunication, d'une part, ainsi que par l'utilisation des outils de l'apprentissage automatique pour l'acquisition des connaissances et modèles nécessaires.

### 7.2. Sacadeau : Système d'Acquisition de Connaissances pour l'Aide à la Décision sur la qualité de l'eau

**Participants :** Marie-Odile Cordier, Véronique Masson.

Le projet Sacadeau est financé par l'Inra dans le cadre de l'action transversale « Aide à la décision : comment articuler connaissances et actions en agriculture, agroalimentaire et dans l'espace rural ». Le projet Sacadeau a pour objectif le développement d'un outil d'aide à la gestion d'un bassin versant par apprentissage des relations entre pratiques agricoles et qualité de l'eau par simulation d'un modèle qualitatif. Les partenaires de ce projet sont l'équipe SOL-EAU de l'UMR SAS (Unité Mixte de Recherche Sol Agronomie Spatialisation de Rennes Quimper), l'unité BIA de l'Inra Toulouse et l'unité LASB de l'Inra Montpellier, ainsi qu'un certain nombre de partenaires locaux tels que le SRPV (Service Régional de la Protection des Végétaux), la chambre d'agriculture du Morbihan (CA56) et la chambre d'agriculture d'Ille et Vilaine (CA35).

### 7.3. Conception et contrôle de stimulateurs-défibrillateurs cardiaques intégrés

**Participants :** Marie-Odile Cordier, René Quiniou.

L'Action Concertée Incitative 8899 *Télémedecine et Technologies pour la Santé* du MENRT, d'une durée de 2 ans (prolongée jusqu'en mai 2002), réunit le département de Cardiologie du CHU de Rennes, Ela-Recherche, le LTSI de l'université de Rennes 1 et l'Irisa. Son objectif est l'amélioration des prothèses cardiaques notamment en leur apportant des capacités multisites (contrôle à partir plusieurs sondes) et multifonctions (capacité à gérer des problèmes hémodynamiques et rythmiques). L'équipe Dream y était chargé d'affiner la classification des arythmies en utilisant des nouveaux électrogrammes issus d'implantation



multisites de sondes et la conception de nouveaux algorithmes de contrôle basés sur la technique de reconnaissance de scénarios. Nous avons particulièrement travaillé cette année sur l'apprentissage et la reconnaissance d'électrocardiogrammes multivoies.

## 7.4. Cepica : Conception et Évaluation d'une Prothèse Implantable Cardiaque

**Participants :** Marie-Odile Cordier, Éliisa Fromont, François Portet, René Quiniou.

Ce projet RNTS (Réseau National Technologies pour la Santé) d'une durée de 3 ans a pour partenaires ELA-Medical, le service de cardiologie du CHU de Rennes, le LTSI de l'université de Rennes 1 et l'IRISA. Il concerne la conception de nouvelles prothèses cardiaques dont l'étude a débuté dans le cadre de l'action concertée incitative (ACI) PISE. D'une durée de trois ans, il vise à : 1) proposer et évaluer de nouveaux capteurs capables d'apprécier la répercussion hémodynamique d'une stimulation ; 2) développer des méthodes de traitement de signal adaptées aux signaux mesurés et affiner par apprentissage et reconnaissance de chroniques la classification des séquences à risque pour un patient particulier ; 3) étudier différents scénarios de stimulation en tenant compte des contraintes imposées par la prothèse ; 4) valider ces concepts en situation clinique.

## 8. Actions régionales, nationales et internationales

### 8.1. Actions nationales

- M.-O. Cordier est co-responsable avec L. Travé-Massuyès et F. Lévy du groupe Imalaia (groupe de travail du GdR Automatique, du GdR- PRC I3 et groupe Afia) qui regroupe chercheurs de l'automatique et de l'intelligence artificielle sur le thème de la surveillance de systèmes dynamiques.
- Participation du projet au RTP « information et intelligence : raisonner et décider » du département STIC du CNRS, et membre du comité de pilotage de ce réseau (M.-O. Cordier).
- Participation au groupe IHMC du GdR-PRC I3 (D. Py).
- Collaboration avec le LTSI (Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image) de Rennes 1 sur le thème de la surveillance d'électrocardiogrammes.
- Collaboration avec l'Ensar (G. Douaire) sur le thème de l'aide à la télédétection pour l'identification de parcelles agricoles. Collaboration avec l'Inra/USARQ (Sciences et Agronomie Rennes-Quimper).

### 8.2. Réseaux et groupes de travail internationaux

- Participation au réseau européen Monet2 (Model-based and Qualitative reasoning) et en particulier au groupe de travail Bridge sur le thème du rapprochement entre les méthodes de l'IA et de l'automatique pour la supervision et le diagnostic.

### 8.3. Relations bilatérales internationales

- Projet PROCOPE no 99027 « Fondations pour le traitement de contradictions dans les systèmes d'information intelligents » entre l'université de Potsdam et l'IRISA (Ph. Besnard, M.-O. Cordier)

## 9. Diffusion des résultats

### 9.1. Animation de la communauté scientifique

#### 9.1.1. Comité éditorial de journaux

- M.-O. Cordier est membre du comité de rédaction de la revue internationale AAI (*Applied Artificial Intelligence*), du comité éditorial de AICOMs (revue européenne en Intelligence Artificielle), du comité éditorial de la revue I3 (Information, Interaction, Intelligence) ainsi que de la revue électronique JEDAI (Journal électronique d'IA).
- D. Py est membre du comité de lecture de la revue Sciences et Techniques Educatives chez Hermès.

#### 9.1.2. Comité de programme et organisation de conférences

- M.-O. Cordier a été membre des comités de programme de DX'02, RFIA'02, ECAI'02 et KR'02.
- M.-O. Cordier est membre de l'*advisory committee* et à ce titre participe à l'organisation de la conférence internationale ICJAI'03.
- R. Quiniou a co-organisé le *workshop* « Temporal And Spatio/temporal Data Analysis » à ECAI 2002, Lyon, 22 juillet 2002. Il a été membre du comité de programme des *workshops* ECAI IDAMAP 2002 et TASDA 2002.
- D. Py est membre du comité de programme de EIAH'2003 (Environnements Interactifs d'Apprentissage Humain) à Strasbourg, en avril 2003.
- C. Largouët a co-organisé le *workshop* Model-Checking and Artificial Intelligence (MoChArt'02). M.-O. Cordier et C. Largouët ont été membres du comité de programme de ce *workshop*.

### 9.2. Enseignement universitaire

L'action DREAM comprend de nombreux enseignant-chercheurs et à ce titre participe largement à l'enseignement de l'informatique à l'Ifsic, à l'INSA et à l'ENSAR. Nous ne signalons ici que les enseignements ayant un lien direct avec les axes de recherche.

- Module du tronc commun du DEA d'informatique : *module RATS : raisonnement temporel et spatial* (M.-O. Cordier, Y. Moinard, R. Quiniou).
- Option du DEA d'informatique : *module DIAG : diagnostic* (M.-O. Cordier, Y. Pencolé, S. Robin).
- Cours en DIIC3 IFSIC : *Introduction à l'intelligence artificielle* (M.-O. Cordier).
- Option en maîtrise d'informatique IFSIC : *Introduction à l'intelligence artificielle* (D. Py).

## 10. Bibliographie

### Bibliographie de référence

- [1] G. CARRAULT, M.-O. CORDIER, R. QUINIOU, M. GARREAU, J.-J. BELLANGER, A. BARDOU. *A model-based approach for learning to identify cardiac arrhythmias*. in « AIMDM'99 : Artificial Intelligence in Medicine and Medical Decision Making », série Lecture Notes in Artificial Intelligence, volume 1620, Springer Verlag, éditeurs W. HORN, Y. SHAHAR, G. LINDBERG, S. ANDREASSEN, J. WYATT., pages 165-174, Aalborg, Denmark, 1999, <http://www.irisa.fr/aida/aida-new/dataFiles/quiniou/iam.pdf>.
- [2] C. LARGOUËT, M.-O. CORDIER. *Improving the Landcover Classification using Domain Knowledge*. in « AI Communication special issue on Environmental Sciences and Artificial Intelligence », numéro 1, volume 14, 2001, pages 35-43.

- [3] Y. MOINARD. *Note about cardinality-based circumscription*. in « Artificial Intelligence », numéro 1-2, volume 119, May, 2000, pages 259-273, <http://www.elsevier.nl:80/inca/publications/store/5/0/5/6/0/1/>.
- [4] Y. MOINARD, R. ROLLAND. *Characterizations of Preferential Entailments*. in « Logic Journal of the IGPL », numéro 3, volume 10, 2002, pages 243-270, <http://www3.oup.co.uk/igpl/>.
- [5] Y. PENCOLÉ, M.-O. CORDIER, L. ROZÉ. *A decentralized model-based diagnostic tool for complex systems..* in « International Journal on Artificial Intelligence Tools », numéro 3, volume 11, 2002, pages 327-346.
- [6] D. PY. éditeurs H. J., *La démonstration dans les EIAO de géométrie*. Ellipses, 2001.
- [7] L. ROZÉ, M.-O. CORDIER. *Diagnosing discrete-event systems : extending the « diagnoser approach » to deal with telecommunication networks*. in « Journal on Discrete-Event Dynamic Systems : Theory and Applications (JDEDS) », numéro 1, volume 12, 2002, pages 43-81, <http://www.irisa.fr/aida/aida-new/dataFiles/cordier/jeds.pdf>.
- [8] S. THIÉBAUX, M.-O. CORDIER, O. JEHL, J.-P. KRIVINE. *Supply Restoration in Power Distribution Systems - A Case Study in Integrating Model-Based Diagnosis and Repair Planning*. in « Actes de UAI-96 », pages 525-532, 1996.

## Thèses et habilitations à diriger des recherche

- [9] Y. PENCOLÉ. *Diagnostic décentralisé de systèmes à événements discrets : application aux réseaux de télécommunications*. thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 2002, <http://www.irisa.fr/aida/aida-new/dataFiles/ypencole/these.pdf>.

## Articles et chapitres de livre

- [10] P. DURAND, C. GASCUEL, M.-O. CORDIER. *Parametrization of hydrological models : a review and lessons learned from studies of an agricultural catchment (Naizin, France)*. in « Agronomie », volume 22, 2002, pages 217-228.
- [11] J. LAGRANGE, D. PY. *Développer un environnement d'apprentissage utilisant le calcul formel. Hypothèses, méthodes, première réalisation*. in « Sciences et Techniques éducatives », numéro 1-2, volume 9, 2002.
- [12] Y. MOINARD, R. ROLLAND. *Characterizations of Preferential Entailments*. in « Logic Journal of the IGPL », numéro 3, volume 10, 2002, pages 243-270, <http://www3.oup.co.uk/igpl/>.
- [13] Y. PENCOLÉ, M.-O. CORDIER, L. ROZÉ. *A decentralized model-based diagnostic tool for complex systems..* in « International Journal on Artificial Intelligence Tools », numéro 3, volume 11, 2002, pages 327-346.
- [14] L. ROZÉ, M.-O. CORDIER. *Diagnosing discrete-event systems : extending the « diagnoser approach » to deal with telecommunication networks*. in « Journal on Discrete-Event Dynamic Systems : Theory and Applications (JDEDS) », numéro 1, volume 12, 2002, pages 43-81, <http://www.irisa.fr/aida/aida-new/dataFiles/cordier/jeds.pdf>.

## Communications à des congrès, colloques, etc.

- [15] A. AGHASARYAN, C. DOUSSON, E. FABRE, A. OSMANI, Y. PENCOLÉ. *Modeling Fault Propagation in Telecommunications Networks for Diagnosis Purposes*. in « WTC'02 (World Telecommunications Congress) », Paris, France, 2002.
- [16] M.-O. CORDIER, G. CARRAULT, R. QUINIOU, F. WANG. *Intelligent data analysis for diagnosing and monitoring*. in « IDAMAP 2002 : Intelligent Data Analysis in Medicine and Pharmacology - workshop at ECAI'2002 », éditeurs P. LUCAS, L. ASKER, S. MIKSCH., pages 19-23, 2002, <http://idamap.org/idamap2002>.
- [17] M.-O. CORDIER, G. CARRAULT, R. QUINIOU, F. WANG. *Intelligent multichannel data analysis for diagnosing and monitoring*. in « TASDA'2002 : Knowledge Discovery from Temporal and Spatial Data - workshop at ECAI'2002 », éditeurs C. DOUSSON, F. HÖPPNER, R. QUINIOU., pages 10-16, 2002, <http://tasda.elibel.tm.fr/>.
- [18] M.-O. CORDIER, C. LARGOUËT. *Using model-checking techniques for diagnosing discrete-event systems*. in « Workshop on Model-Checking and Artificial Intelligence (MoChArt-2002) », Lyon, France, 2002.
- [19] P.-Y. GLORENNEC, A. GRASTIEN. *Application d'arbres de régression flous*. in « Journées de Statistique (JDS'02) », Marc Hallin, pages 233-234, Bruxelles et Louvain-la-Neuve, 2002.
- [20] C. LARGOUËT, M.-O. CORDIER. *Interprétation d'une image à l'aide d'un modèle d'évolution du système observé. Application à la reconnaissance de l'occupation du sol*. in « 6ème Colloque Africain sur la Recherche en Informatique (CARI'02) », INRIA, pages 85-92, Yaoundé, Cameroun, 2002.
- [21] H. MARCHAND, L. ROZÉ. *Diagnostic de pannes sur des systèmes à évènements discrets : une approche à base de modèles symboliques*. in « 13ème Congrès Francophone AFRIF-AFIA de Reconnaissance de Formes et d'Intelligence Artificielle (RFIA02) », pages 191-200, Angers, France, 2002.
- [22] Y. MOINARD. *Linking Makinson and Kraus-Lehmann-Magidor preferential entailments*. in « ECAI'2002 (European Conference on Artificial Intelligence) », IOS Press, Amsterdam, éditeurs F. VAN HARMELEN., pages 531-535, Lyon, 2002.
- [23] Y. MOINARD. *Linking Makinson and Kraus-Lehmann-Magidor preferential entailments*. in « NMR'2002 (Int. Workshop on Non-Monotonic Reasoning) », IRIT, Toulouse, éditeurs S. BENFERHAT, E. GIUNCHIGLIA., pages 15-24, 2002.
- [24] A. MONSIFROT, F. BODIN, R. QUINIOU. *A Machine Learning Approach to Automatic Production of Compiler Heuristics*. in « AIMSA'2002. Artificial Intelligence : Methodology, Systems, and Applications », série LNAI, volume 2443, Springer, éditeurs D. SCOTT., 2002.
- [25] Y. PENCOLÉ, M.-O. CORDIER, L. ROZÉ. *Incremental decentralized diagnosis approach for the supervision of a telecommunication network..* in « CDC'02 (IEEE Conference on Decision and Control) », pages to appear, Las Vegas, Nevada, USA, 2002.
- [26] Y. PENCOLÉ, M.-O. CORDIER, L. ROZÉ. *Une stratégie efficace pour une approche décentralisée du*

*diagnostic de systèmes complexes*. in « RFIA'02 (Congrès francophone Afrif-Afia de reconnaissance des formes et d'intelligence artificielle) », pages 259-268, Angers, France, 2002.

## Divers

- [27] M.-O. CORDIER, I. GROSCLAUDE, R. QUINIOU, S. ROBIN. *Étude du pronostic pour la maintenance conditionnelle*. 2002, Rapport de fin de contrat EDF 101C0002.
- [28] P. MABO, M. LIMOUSIN, G. CARRAULT, R. QUINIOU, M.-O. CORDIER. *Conception et contrôle des stimulateurs et défibrillateurs cardiaques*. 2002, Rapport de fin de contrat ACI 99 B 0455.

## Bibliographie générale

- [29] A. AGHASARYAN, E. FABRE, A. BENVENISTE, R. BOUBOUR, C. JARD. *Fault detection and diagnosis in distributed systems : an approach by partially stochastic Petri nets*. in « Discrete Event Dynamic Systems », numéro 2, volume 8, Juin, 1998, pages 203-231, Special issue on Hybrid Systems.
- [30] P. BARONI, G. LAMPERTI, P. POGLIANO, M. ZANELLA. *Diagnosis of a Class of Distributed Discrete-Event Systems*. in « IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics », numéro 6, volume 30, Novembre, 2000, pages 731-752.
- [31] P. BARONI, G. LAMPERTI, P. POGLIANO, M. ZANELLA. *Diagnosis of large active systems*. in « Artificial Intelligence », volume 110, 1999, pages 135-183.
- [32] M. BASSEVILLE, M.-O. CORDIER. *Surveillance et diagnostic de systèmes dynamiques : approches complémentaires du traitement de signal et de l'intelligence artificielle*. rapport technique, numéro 1004, Irisa, 1996.
- [33] P. BERTOLI, A. CIMATTI, M. ROVERI, P. TRAVERSO. *Planning in Nondeterministic Domains Under Partial Observability via Symbolic Model Checking*. in « Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-2001) », pages 467-472, Seattle, Washington, USA, Août, 2001.
- [34] I. BRATKO, I. MOZETIC, N. LAVRAČ. *Kardio : A Study in Deep and Qualitative Knowledge for Expert Systems*. MIT Press, 1989.
- [35] L. CONSOLE, C. PICARDI, M. RIBAUDO. *Diagnosis and diagnosibility analysis using PEPA*. in « Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'2000) », pages 131-135, Berlin, 2000.
- [36] M.-O. CORDIER, C. LARGOUËT. *Using model-checking techniques for diagnosing discrete-event systems*. in « Proceedings of the Twelve International Workshop on Principles of diagnosis (DX'01) », pages 39-46, 2001, [http://www.irisa.fr/dream/dataFiles/clargoue/dx\\_final.ps](http://www.irisa.fr/dream/dataFiles/clargoue/dx_final.ps).
- [37] A. CORNUÉJOLS, L. MICLET. *Apprentissage artificiel : concepts et algorithmes*. Eyrolles, 2002.
- [38] R. DEBOUK, S. LAFORTUNE, D. TENEKETZIS. *Coordinated Decentralized Protocols for Failure Diagnosis of Discrete Event Systems*. in « Discrete Event Dynamic Systems », numéro 1-2, volume 10, 2000, pages

33-86.

- [39] R. DEBOUK, S. LAFORTUNE, D. TENEKETZIS. *A coordinated decentralized protocol for failure diagnosis of discrete event systems*. in « Proceedings of the Workshop on Discrete Event Systems (WODES'98) », pages 138-143, Cagliari, Italy, 1998.
- [40] J. DE KLEER, A. MACKWORTH, R. REITER. *Characterizing diagnoses and systems*. in « Artificial Intelligence », numéro 2-3, volume 56, 1992 (repris dans *Readings in Model-Based Diagnosis*, W. Hamscher, L. Console, J. de Kleer (dir.), Morgan Kaufmann, p. 54-65, 1992), pages 197-222.
- [41] C. DOUSSON. *Extending and unifying chronicle representation with event counters*. in « Proc. of ECAI 2002 », IOS Press, éditeurs F. VAN HARMELEN., 2002.
- [42] C. DOUSSON. *Suivi d'évolutions et reconnaissance de chroniques*. thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, LAAS-CNRS, Toulouse, 1994.
- [43] C. DOUSSON, P. GABORIT, M. GHALLAB. *Situation recognition : representation and algorithms*. in « Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI) », pages 166-172, Chambéry, France, 1993.
- [44] éditeurs B. DUBUISSON., *Diagnostic, intelligence artificielle et reconnaissance des formes*. série Traité IC2 : Information - Commande - Communication, Hermes, 2001.
- [45] *Relational Data Mining*. éditeurs S. DZEROSKI, N. LAVRAČ., Springer, Berlin, 2001.
- [46] S. DZEROSKI, L. TODOROVSKI. *Discovering dynamics : from inductive logic programming to machine discovery*. in « Journal of Intelligent Information Systems », volume 4, 1995, pages 89-108.
- [47] E. FABRE, A. BENVENISTE, C. JARD, L. RICKER, M. SMITH. *Distributed State Reconstruction for Discrete Event Systems..* in « Proc. of the 2000 IEEE Control and Decision Conference (CDC) », Sydney, Australie, 2000.
- [48] P. FLACH, N. LAVRAČ. *Learning in Clausal Logic : A Perspective on Inductive Logic Programming*. in « Computational Logic : Logic Programming and Beyond », série LNAI, volume 2407, Springer, éditeurs A. KAKAS, F. SADRI., 2002.
- [49] N. FRIEDMAN, J. Y. HALPERN. *Plausibility measures and default reasoning*. in « Journal of the ACM », numéro 4, volume 48, juillet, 2001, pages 648-685.
- [50] éditeurs W. HAMSCHER, L. CONSOLE, J. DE KLEER., *Readings in Model-Based Diagnosis*. Morgan Kaufmann, San Meteo, CA, Etats-Unis, 1992.
- [51] D. T. HAU, E. W. COIERA. *Learning qualitative models of dynamic systems*. in « Machine Learning », volume 26, 1997, pages 177-211.
- [52] C. LARGOUËT, M.-O. CORDIER. *Improving the Landcover Classification using Domain Knowledge*. in « AI

Communication special issue on Environmental Sciences and Artificial Intelligence », numéro 1, volume 14, 2001, pages 35-43.

- [53] N. LAVRAČ, I. KONONENKO, E. KERAVNOU, M. KUKAR, B. ZUPAN. *Intelligent Data Analysis for Medical Diagnosis : Using Machine Learning and Temporal Abstraction*. in « AI Communications », numéro 3-4, volume 11, 1998, pages 191-218.
- [54] N. LAVRAČ. *Machine learning for data mining in medicine*. in « Proc. of AIMDM'99 », série LNAI, vol. 1620, Springer Verlag, pages 47-62, 1999.
- [55] D. MAKINSON. *General patterns in nonmonotonic reasoning*. éditeurs D. M. GABBAY, C. HOGGER, J. ROBINSON., in « Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming, Volume 3 : Non-Monotonic and Uncertainty Reasoning », Oxford University Press, 1994, pages 35-110.
- [56] D. PAGE. *ILP : Just Do It*. in « Proceedings of ILP'2000 », série LNAI, volume 1866, Springer, éditeurs J. CUSSENS, A. FRISCH., pages 3-18, 2000.
- [57] D. PELED. *All from One, One for All : on Model Checking Using Representatives*. in « Proceedings of the 5th International Conference on Computer Aided Verification (CAV'93) », série Lecture Notes in Computer Science, numéro 697, Springer-Verlag, pages 409-423, 1993.
- [58] Y. PENCOLÉ, M.-O. CORDIER, L. ROZÉ. *A decentralized model-based diagnostic tool for complex systems*. in « ICTAI'01 (IEEE international conference on tools with artificial intelligence) », IEEE computer society, pages 95-102, 2001.
- [59] Y. PENCOLÉ, M.-O. CORDIER, L. ROZÉ. *Incremental decentralized diagnosis approach for the supervision of a telecommunication network*. in « Proceedings of the International Workshop on Principles of Diagnosis (DX'01) », pages 151-158, Sansicario, Italy, 2001.
- [60] Y. PENCOLÉ, M.-O. CORDIER, L. ROZÉ. *Incremental decentralized diagnosis approach for the supervision of a telecommunication network*. in « DX'01 (International Workshop on Principles of Diagnosis) », Sansicario, Italy, 2001, <http://www.irisa.fr/dream/dataFiles/ypencole/DX01.pdf>.
- [61] Y. PENCOLÉ. *Decentralized diagnoser approach : application to telecommunication networks*. in « DX'00 (International Workshop on Principles of Diagnosis) », pages 185-192, 2000, <http://www.irisa.fr/dream/dataFiles/ypencole/DX00.pdf>.
- [62] R. QUINIOU, M.-O. CORDIER, G. CARRAULT, F. WANG. *Application of ILP to cardiac arrhythmia characterization for chronicle recognition*. in « ILP'2001 », série LNAI, volume 2157, Springer-Verlag, éditeurs C. ROUVEIROL, M. SEBAG., pages 220-227, 2001, <http://www.irisa.fr/dream/dataFiles/quiniou/ilp01.pdf>.
- [63] N. RAMAUX, M. DOJAT, D. FONTAINE. *Temporal scenario recognition for intelligent patient monitoring*. in « Proc. of the 6th Conference on Artificial Intelligence in Medecine Europe (AIME'97) », 1997.
- [64] R. REITER. *A theory of diagnosis from first principles*. in « Artificial Intelligence », numéro 1, volume 32, 1987 (repris dans *Readings in Nonmonotonic Reasoning*, M. L. Ginsberg (dir.), Morgan Kaufmann, 1987 ; aussi dans *Readings in Model-Based Diagnosis*, W. Hamscher, L. Console, J. de Kleer (dir.), Morgan Kaufmann,p.

29-48, 1992), pages 57-96.

- [65] L. ROZÉ, M.-O. CORDIER. *Diagnosing Discrete Event Systems : An experiment in Telecommunication Networks*. in « WODES98, Fourth Workshop on Discrete Event Systems », pages 130-137, Cagliari, Italy, 1998.
- [66] L. ROZÉ. *Supervision of telecommunication network : a diagnoser approach*. in « Proceedings of the International Workshop on Principles of Diagnosis (DX'97) », pages 103-111, Mont St Michel, France, 1997.
- [67] L. ROZÉ. *Supervision de réseaux de télécommunication : une approche à base de modèles*. thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 1997.
- [68] M. SAMPATH, R. SENGUPTA, S. LAFORTUNE, K. SINNAMOHIDEEN, D. TENEKETZIS. *A discrete event systems approach to failure diagnosis*. in « Proceedings of the Fifth international workshop on principles of diagnosis (DX'94) », pages 269-277, 1994.
- [69] M. SAMPATH, R. SENGUPTA, S. LAFORTUNE, K. SINNAMOHIDEEN, D. TENEKETZIS. *Diagnosability of discrete event systems*. in « Proceedings of the International Conference on Analysis and Optimization of Systems », volume 40, pages 1555-1575, 1995.
- [70] M. SAMPATH, R. SENGUPTA, S. LAFORTUNE, K. SINNAMOHIDEEN, D. TENEKETZIS. *Active Diagnosis of Discrete-Event Systems*. in « IEEE Transactions on Automatic Control », numéro 7, volume 43, 1998, pages 908-929.
- [71] M. SEBAG, C. ROUVEIROL. *Constraint Inductive Logic Programming*. éditeurs L. DE RAEDT., in « Advances in Inductive Logic Programming », IOS Press, 1996, pages 277-294, <http://citeseer.nj.nec.com/sebag96constraint.html>.
- [72] R. SENGUPTA. *Diagnosis and communication in distributed systems*. in « Proceedings of the Workshop on Discrete Event Systems (WODES'98) », pages 144-151, Cagliari, Italy, 1998.
- [73] GROUPE ALARME. *Monitoring and alarm interpretation in industrial environments*. in « AI Communications », volume 11, 3-4, 1998, pages 139-173, S. Cauvin, M.-O. Cordier, C. Dousson, P. Laborie, F. Lévy, J. Montmain, M. Porcheron, I. Servet, L. Travé-Massuyès.