

Action TRIO

Temps Réel et InterOpérabilité

Lorraine, Rhône-Alpes

THÈME 1B



*R*apport
*d'**A*ctivité

2001

Table des matières

1	Composition de l'équipe	3
2	Présentation et objectifs généraux	4
3	Fondements scientifiques	5
4	Domaines d'applications	8
5	Logiciels	8
5.1	XTIOSM	8
5.2	CAROSSE	9
5.3	DAMESI	9
5.4	Extensions de ERS	9
6	Résultats nouveaux	10
6.1	Mécanismes exécutifs et protocoles	10
6.1.1	Qualité de Service et Ordonnancement dans les Systèmes de Communication Temps Réel	10
6.1.2	Ordonnancement	10
6.1.3	Middleware	12
6.1.4	Optimisation dans les réseaux	12
6.1.5	Evaluation de la qualité de services de systèmes de communication	13
6.2	Procédés de modélisation	15
6.2.1	Modélisation d'applications de supervision dans le domaine manufacturier	15
6.2.2	Modélisation d'applications embarquées dans l'automobile	16
6.2.3	Interopérabilité de capteurs : spécification et validation	17
6.3	Formalismes et techniques de vérification	17
6.3.1	Vérification de propriétés temporelles	18
6.3.2	Analyse des réseaux de Petri temporisés	19
6.3.3	Contrôle dans les réseaux de Petri	19
6.3.4	Représentation minimale de systèmes à événements discrets	19
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	20
7.1	Contrat EASYPLUG	20
7.2	Contrat PSA	20
7.3	Projet "Architecture Electronique Embarquée"	20
8	Actions régionales, nationales et internationales	21
8.1	Actions régionales	21
8.1.1	Projet DIATELIC	21
8.2	Actions nationales	21
8.2.1	Action Maddes	21
8.2.2	Opération QSL : Garp	22

8.2.3	Projet TIISSAD	22
8.2.4	Projet DEPICS	22
8.3	Actions européennes	23
8.3.1	Projet européen ITEA - EAST EEA	23
8.3.2	Action Alapedes	23
8.4	Actions internationales	23
8.5	Visites, et invitations de chercheurs	24
9	Diffusion de résultats	24
9.1	Animation de la Communauté scientifique	24
9.2	Enseignement	25
10	Bibliographie	25

TRIO est un avant-projet du LORIA (UMR 7503) commun au CNRS, à l'INRIA, à l'Université Henri POINCARÉ Nancy 1, à l'Université Nancy 2 et à l'Institut National Polytechnique de Lorraine. Depuis octobre 2001, il est bilocalisé entre Nancy et l'ENS - Lyon.

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Françoise Simonot-Lion [Maître de Conférences à l'INPL-ENSEM]

Responsable permanent

Bruno Gaujal [Directeur de Recherche à l'INRIA à l'ENS - Lyon]

Secrétaire

Josette Contal [INPL]

Personnel Université

Gülgin Alpan-Gaujal [Maître de Conférences à l'INPL-EMN, en détachement à l'INRIA depuis septembre 2001]

Xavier Rebeuf [Maître de Conférences à l'INPL-ENSEM à partir du 1/09/2001]

Jean-Pierre Thomesse [Professeur à l'INPL-ENSEM]

YeQiong Song [Maître de Conférences à l'UHP Nancy I, en détachement à l'INRIA depuis octobre 2001]

Michel Dufner [Professeur certifié à l'INPL]

Personnel INRIA

Nicolas Navet [Chargé de Recherche]

Chercheur extérieur

François Simonot [Maître de Conférences à l'UHP Nancy I, IECN]

Chercheurs doctorants

Domenico Cavaliere [Boursier CIFRE convention PSA depuis le 01/02/99]

Emmanuel Hyon [Boursier INRIA depuis le 01/11/99]

Fabrice Jumel [Boursier MENESR depuis le 01/11/99]

Laurent Kaiser [Ingénieur dans l'industrie, membre de TRIO jusqu'au 01/06/01]

Anis Koubaa [Boursier MRET depuis 1/10/01]

Cedric Wilwert [Boursier CIFRE convention PSA depuis 01/10/01]

Chercheur post-doctorant

Wang Zhi [Boursier de l'Ambassade de France, Pekin]

Ingénieurs experts

Paolo Castelpietra

Jörn Migge

Tiziana Mastroti [jusqu'au 31/03/01]

Visiteurs

Gangyan Li [du 1/10/01 au 31/12/01]

Rahel Romadi [du 15/05/01 au 15/10/2001]

Stagiaires

Rachit Chowla [Stagiaire Indian Institute of Technology - Guwati du 01/05/2001 au 20/07/2001]

Olivier Doucet [Stagiaire ENSEM du 01/07/01 au 15/08/01]
Vishal Grover [Stagiaire Indian Institute of Technology - New Delhi du 01/05/01 au 20/07/01]
Jérôme Guermont [Stagiaire DEA informatique]
Pascal Gula [Stagiaire DEA informatique]
Orazio Gurrieri [Stagiaire Master of Science Université de la Sapienza (Rome) depuis le 01/11/01]
Anis Koubaa [Stagiaire DEA informatique]
Matthieu Ligier [Stagiaire ESIAL du 01/07/01 au 31/07/01]
Liping Lu [Stagiaire Master of Sciences Wuhan Technology University depuis 01/02/01]
Najib Said [Stagiaire DEA informatique]
Ricardo dos Santos-Marques [Stagiaire de Maitrise de l'Université de LISBOA (Portugal) jusqu'au 01/05/01]
Paolo Spagnoletti [Stagiaire Master Of Sciences Université de La Sapienza (Rome) jusqu'au 01/02/2001]

2 Présentation et objectifs généraux

L'objectif des travaux menés au sein de TRIO est de fournir un ensemble de techniques et de méthodes pour assister le concepteur d'architectures distribuées temps réel dans les tâches de construction, de validation et de dimensionnement de ces architectures.

Afin de prendre en compte la globalité des problèmes, nos travaux se décomposent en trois actions complémentaires :

- *la spécification de mécanismes exécutifs* qui permettent aux applications supportées de respecter les contraintes de temps du cahier des charges, ou de mettre en œuvre des algorithmes de tolérance aux fautes temporelles,
- *les procédés de construction de modèles d'application*, afin d'une part, de les exploiter pour la preuve de propriétés et, d'autre part, de construire et éventuellement engendrer le squelette de cette application,
- *les méthodes de vérification de propriétés temporelles* d'une architecture opérationnelle par exploitation de modèles de cette architecture.

Les membres de l'équipe TRIO participent à l'animation de la communauté scientifique relevant de la problématique du temps réel par leur implication dans les GDR ARP - STS et AMI Tropical ainsi que par les collaborations effectives qui sont établies avec plusieurs laboratoires ou universités : Universités de Rome (La Sapienza), de Catane, de Turin en Italie, de Tunis II en Tunisie, de Rosario en Argentine ou d'Aveiro au Portugal, de Wuhan, de Zhejiang et de Shenyang en Chine.

Les résultats de recherche de l'équipe sont diffusés notamment dans le contexte des systèmes embarqués dans l'automobile (projet AEE, projet européen ITEA - EAST EEA), dans celui des applications de pilotage-supervision d'une ligne manufacturière (PSA), dans l'évaluation de la qualité de service des systèmes de communication par courants porteurs (EASYPLUG) et dans les applications de télésurveillance médicale (projet DIATELIC-Télésurveillance de Dialysés à domicile et projet TIISSAD).

Enfin TRIO est à l'origine de l'équipe de recherche technologique (ERT) CARMELS (CARactérisation des Réseaux embarqués dans l'Automobile et Mécanismes En Ligne pour leur Sureté) créée fin 2001. Les partenaires de cette équipe sont, outre TRIO, l'équipe MODEL du LORIA et les services DPTA et DSIN de PSA. Le thème d'étude est l'évaluation de la sureté de fonctionnement des réseaux et architectures de communication dans les applications "X-by-wire" ((tout électronique) embarquées dans les automobiles. Un doctorant est entièrement affecté à cette équipe et trois permanents participent activement à ces travaux.

3 Fondements scientifiques

Les travaux de l'équipe TRIO se situent dans le cadre de la conception d'applications temps réel distribuées. Les applications considérées sont donc celles dont l'exécution doit respecter des contraintes de temps et dont la complexité et/ou les contraintes d'utilisation nécessitent leur répartition; il s'agit par exemple, de systèmes d'automatisation de la production, de systèmes de surveillance, de systèmes embarqués, d'applications multimédia. Ces applications sont constituées en majorité d'activités périodiques (tâches, transmission de messages). De plus, on les gère en prenant en considération les différents modes de fonctionnement ainsi que les erreurs et événements aléatoires. Enfin les caractéristiques fonctionnelles et les performances des matériels doivent être intégrées pour traiter le temps physique.

Aussi, le terme conception signifie, dans ce contexte, la spécification, la validation et le dimensionnement des architectures opérationnelles de ces applications, en prenant en compte à la fois, la spécification fonctionnelle de l'application, ses spécifications non fonctionnelles (en particulier, les contraintes de temps que l'application doit respecter) et les caractéristiques et performances des architectures informatiques supports. Sous le terme validation, nous entendons la vérification de propriétés temporelles sur des modèles de l'architecture et, sous celui de dimensionnement, la possibilité de comparer des architectures suivant des critères de performances. Les principaux défis scientifiques auxquels nous devons faire face sont de trois types :

- Maîtriser le compromis entre la fidélité des modèles proposés et leur exploitabilité; ceci passe par une identification des propriétés à prouver et des critères à optimiser, ainsi que par une "base de connaissance" des architectures étudiées. Un exemple type est la hiérarchie de niveau de service : selon les propriétés à vérifier, on fait des hypothèses plus ou moins fortes sur les niveaux inférieurs.
- Maîtriser l'identification et la représentation des défaillances d'ordre logiciel et/ou matériel lors de la modélisation et de l'exploitation de modèles; ceci passe par une bonne connaissance des supports informatiques dans les domaines applicatifs traités. On peut citer l'exemple générique d'un système électronique embarqué soumis à des perturbations électromagnétiques.
- Maîtriser les systèmes complexes contenant ou interférant avec des composants non contrôlables ou difficilement identifiables (au sens de l'automatique); c'est le cas par exemple pour des réseaux ouverts en télécommunication pour lesquels les processus exogènes sont nombreux et très variés.

Pour les aborder, on construit souvent un modèle discret (état-transition) et on utilise les

techniques de "model-checking" pour faire de la vérification de propriétés temporelles et de la génération de tests temporisés, mais aussi, lorsque cela est possible des méthodes d'analyses stochastiques et déterministes plus récentes qui ne nécessitent plus l'exploration de l'espace d'état : courbes de services, analyse trajectorielle, analyse idempotente.

Formalismes, techniques de vérification

La vérification de propriétés comportementales et temporelles, au sens du temps physique, d'une application distribuée se conduit par des techniques d'exploitation de modèles. Dans le cadre déterministe, on fait appel aux automates temporisés introduits par Alur, qui permettent de valider la dynamique du modèle sous des contraintes temporelles. Nous utilisons également les réseaux de Petri temporisés et temporels pour mieux rendre compte des phénomènes de synchronisation et de choix. Dans une volonté d'unification, nous cherchons à établir des équivalences entre automates temporisés et réseaux de Petri temporels par bisimulation [HKSLT00]. Il est bien connu que les approches de "model-checking" applicables sur ces modèles conduisent à l'explosion combinatoire de l'espace des états possibles du système. Pour pallier ce problème, nous travaillons sur des techniques dites "à la volée" que nous étendons pour prendre en compte les caractéristiques de temps physique. Ces techniques sont plus particulièrement étudiées afin de générer les tests d'interopérabilité temporelle. Par ailleurs, pour certaines classes de réseaux de Petri (les graphes d'événements), nous pouvons décrire leur évolution dans l'algèbre $(\max, +)$. Cela nous permet de faire des calculs explicites de temps de réponse [BGS99].

Quand les caractéristiques du système ne sont pas entièrement connues, nous faisons appel à des hypothèses probabilistes puis nous cherchons à calculer les distributions des fonctions intéressantes du système, comme les temps de réponse. Dans une volonté de traiter des modèles réalistes, nous nous sommes éloignés du cadre Markovien strict. Nous avons utilisé un modèle d'erreur de transmission semi-Markovien pour les réseaux embarqués [Nav99] ; nous avons étudié un trafic d'entrée indépendant et stationnaire pour faire des calculs de bornes sur les temps de réponse [Mig99] et nous avons développé des stratégies de contrôle d'admission sous des hypothèses de stationnarité, sans indépendance (en utilisant des méthodes de couplages trajectorielles) [AGH00].

Procédés de modélisation

La conception et la validation d'architectures distribuées temps réel impliquent d'en établir des modèles dont les objectifs peuvent être : la vérification a priori de propriétés, le test a posteriori ou la capitalisation. Ces objectifs s'appliquent à tout ou partie de l'architecture. Il s'agit donc de définir un support à la modélisation. Dans le domaine du génie logiciel,

-
- [HKSLT00] S. HAAR, L. KAISER, F. SIMONOT-LION, J. TOUSSAINT, « On Equivalence between Timed State Machines and Time Petri Nets », *Rapport de recherche*, INRIA, novembre 2000, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4049.html>.
 - [BGS99] F. BACCELLI, B. GAUJAL, D. SIMON, « Analysis of Preemptive Periodic Real Time Systems using the $(\max, +)$ Algebra with Applications in Robotics », *Rapport de recherche*, INRIA, Octobre 1999, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-3778.html>.
 - [Nav99] N. NAVET, *Evaluation de performances temporelles et optimisation de l'ordonnancement de tâches et de messages*, Thèse d'université inpl, Nancy, 1999.
 - [Mig99] J. MIGGE, *Scheduling of recurrent tasks on one processor : a trajectory based model*, Thèse d'université, Université de Nice, 1999.
 - [AGH00] E. ALTMAN, B. GAUJAL, A. HORIDJK, « Admission Control in Stochastic Event Graphs », *IEEE Transactions on Automatic Control* 45, 5, juillet 2000, p. 854–867.

ce problème est bien connu et de nombreux travaux sur les ADL (Architecture Description Language) apportent des éléments de solutions [Ves93]. Tous les ADL permettent la réutilisation par agrégation/composition de composants. La problématique de TRIO doit prendre en compte non seulement le temps réel mais aussi la tolérance aux fautes spécialement temporelles. Ceci passe obligatoirement par la description, d'une part, du comportement interne sous la forme d'une abstraction du code à exécuter, et de la sémantique comportementale des échanges (connecteur) entre composants et, d'autre part, de la prise en compte de la distribution et des performances de l'architecture informatique support.

Nos travaux sur la modélisation ont pour objectif de prendre en considération les types de propriétés à prouver ainsi que les techniques support de la vérification afin de proposer des formalismes et procédés spécifiques de modélisation utilisables par un architecte de systèmes et surtout, pertinents pour les activités de vérification. Le terme "pertinent" pouvant par exemple, signifier que les politiques d'ordonnancement et les protocoles de communication doivent être modélisés précisément (temps réel dur), ou qu'on peut en faire abstraction sous certaines hypothèses. Bien entendu, tout modèle d'architecture doit être "traduit" dans chaque formalisme nécessaire à sa validation (réseaux de Petri, graphe d'événements, réseaux de files d'attente, . . .) Ces mécanismes de traduction sont également un point d'études de TRIO. Enfin, notre expérience nous a conduit à aborder l'étude des procédés de modélisation, sous un angle "applicatif" ; c'est pourquoi, les travaux de recherche, dans cet axe, reposent essentiellement sur l'analyse de classes d'applications.

Mécanismes exécutifs temps réel

Dans certains cas, les services exécutifs existants sont insuffisants pour qu'une application donnée respecte les contraintes de temps qui lui sont imposées ou pour qu'elle puisse détecter des fautes temporelles et intégrer des mécanismes de tolérances à ces fautes. Une étude complémentaire et coordonnée à celles portant sur la modélisation et la vérification a priori de propriétés temporelles concerne la définition de mécanismes exécutifs assurant le respect des contraintes de temps pendant l'exécution de l'application ou optimisant le comportement du système relativement à des métriques de performances choisies. Ces deux objectifs sont étroitement liés. En effet, l'étape de validation a priori permet de mettre en évidence les insuffisances des solutions existantes en identifiant certains "goulots d'étranglement" qui amoindrissent les performances du système, ce qui nous amène à envisager de nouvelles solutions. Dans ce domaine, les recherches en informatique temps réel ont essentiellement porté sur des systèmes "statiques" (trafic parfaitement identifié, environnement prévisible . . .). Or l'environnement d'utilisation, par ses effets sur le comportement de certains composants du système (par exemple sur le médium de transmission), ne permet plus d'envisager une prévisibilité absolue. Il faut alors envisager des garanties probabilistes sur la qualité de service (ordonnancement, synchronisation d'horloges) et l'extension des mécanismes exécutifs existants leur permettant de s'adapter dynamiquement à une évolution de l'application ou de son environnement et de

[Ves93] S. VESTAL, « A Cursory Overview and Comparison of four Architectural Description Languages », *Technical report*, february 1993.

fournir une qualité de service constante [SBJ⁺96], [LL98].

4 Domaines d'applications

Les travaux présentés concernent tous les domaines où les applications sont distribuées et où des contraintes de temps doivent être respectées lors de leur exploitation. Par ailleurs, pour un intégrateur de systèmes, ils ont un intérêt supplémentaire pour maîtriser, spécifier et/ou vérifier l'interopérabilité comportementale et temporelle de composants réalisés séparément. Ces travaux s'appliquent notamment aux niveaux 0 (Réseaux et équipements de terrains) et 1 (Réseaux et équipements de cellules et/ou ateliers) des applications d'automatisation, pour lesquels une disponibilité du système est exigée. Ils s'utilisent également dans le contexte des applications embarquées dont, d'une part, les propriétés doivent être prouvées afin de garantir la sécurité des hommes, des machines et de l'environnement et dont, d'autre part, certains critères, comme la consommation d'énergie, le coût, la taille des composants matériels doivent être optimisés. Les trois thèmes de recherche de TRIO (modélisation, vérification et mécanismes exécutifs) se retrouvent dans les études menées dans le cadre des projets liés aux systèmes embarqués dans l'automobile (AEE, ITEA-EAST), aux applications de supervision d'une ligne manufacturière (contrat PSA), dans la définition et l'évaluation de la Qualité de Service temporelle dans les réseaux, ou aux applications de domotiques(contrat EASYPLUG) ou de télésurveillance médicale (DIATELIC, THISSAD). Signalons enfin que certains résultats ont été appliqués à l'optimisation de moteurs de recherche sur le WEB et que les principes développés dans TRIO ont été utilisés pour spécifier des mécanismes protocolaires dans les applications coopératives multimédia.

5 Logiciels

5.1 XTIOSM

Participants : Laurent Kaiser, Ricardo dos Santos-Marques, Vishal Grover.

XTIOSM est un outil, développé en Java, supportant la conception, la modification et la manipulation de TIOSM (Timed Input Output State Machine). Il permet de vérifier à la volée des propriétés temporelles et de générer des séquences de tests temporisés.

Il a été étendu par une interface graphique et la notion de projet. Il est en cours d'intégration dans la plate-forme QSL du LORIA.

[SBJ⁺96] J. STANKOVIC, K. BURNS, A. AND JEFFAY, M. JONES, G. KOOB, I. LEE, J. LEHOCZKY, J. LIU, A. MOK, K. RAMAMRITHAM, J. READY, L. SHA, A. O VAN TILBORG, « Strategic Directions in Real-Time and Embedded Systems », *ACM Computing Surveys* 28, 4, 1996.

[LL98] G. LE LANN, « Predictability in Critical Systems », *Formal Techniques in Real-Time and Fault-Tolerant Systems*, 1998.

5.2 CAROSSE

Participants : Paolo Castelpietra, Françoise Simonot-Lion, YeQiong Song.

Il s'agit d'un outil de modélisation et d'analyse d'architectures opérationnelles embarquées dans l'automobile. Il intègre une bibliothèque de modèles de réseaux, de contrôleurs de communication et d'ordonnanceurs. L'outil, livré à PSA en septembre 2000, est également utilisé au sein de l'équipe TRIO pour ses actions de recherche propres. Il a été complété cette année par un générateur automatique de modèles SES-Workbench (réseaux de files d'attente).

5.3 DAMESI

Participants : Domenico Cavaliere, Françoise Simonot, Yeqiong Song.

Dans le cadre de la thèse de Domenico Cavaliere, a été développé un profil UML, nommé profil DAMeSI (Description d'Architectures Manufacturières et de leur Système d'Informations). Le but est de fournir, un outil spécifique métier pour construire et exécuter des modèles OPNET afin de réaliser la simulation discrète de systèmes de contrôle des lignes manufacturières chez PSA. L'outil destiné aux architectes de systèmes d'informations chez PSA est en cours de développement en partenariat entre PSA, l'équipe TRIO et la société TNI. Sa réalisation repose sur le profil UML DAMeSI défini.

5.4 Extensions de ERS

Participants : Gülgün Alpan, Rachit Chawla, Bruno Gaujal, Alain Jean-Marie [LIRMM], Mathieu Ligier, Daniel Simon.

Depuis Mars 2001, le projet TRIO est impliqué dans une opération QSL : Génie Algorithmique pour les Réseaux de Petri (GARP). Cette opération (Qualité et Sureté des Logiciels), financée par le pôle Scientifique et Technologique "Intelligence Logicielle", a pour objet de mettre au point de nouveaux algorithmes d'analyse de réseaux de Petri. Ceci afin de les implanter dans la boîte logicielle ERS. L'équipe de réalisation de ERS regroupe Bruno Gaujal et Gülgün Alpan de TRIO ainsi que Alain Jean-Marie du LIRMM et Daniel Simon de l'INRIA Rhône-Alpes.

En Juin, Juillet et Août 2001, les outils suivants ont été ajoutés à ERS :

- logiciel de vérification de propriétés temps-réel,
- logiciel de contrôle de réseaux de Petri pour éviter les famines,
- logiciel de calcul de bornes sur le temps de couplage avec son régime stationnaire de réseaux (max,plus) linéaires qui repose sur des travaux théoriques de l'équipe : [18].

Les nouveaux algorithmes mis au point dernièrement et qui nécessitent toujours une implémentation sont :

- Une technique d'optimisation du débit de réseaux de Petri par programmation linéaire
- Un algorithme de calcul des marquage de blocage quand une transition est arrêtée.

Les résultats obtenus ont été présentés lors de la journée QSL du 27 Septembre 2001 au Loria et l'outil est disponible par internet.

6 Résultats nouveaux

6.1 Mécanismes exécutifs et protocoles

Résumé : *Dans les systèmes temps réel on distingue généralement deux types de contraintes : des contraintes strictes et des contraintes souples. Traditionnellement les activités (tâches/messages) à contraintes strictes sont supposées périodiques avec des échéances qui doivent être garanties, alors que les activités à contraintes souples sont généralement apériodiques avec des échéances qui peuvent être occasionnellement dépassées sans conséquences majeures. Nous proposons des mécanismes d'ordonnement de ces deux types d'activités avec pour chacune un objectif différent : (1) assurer le respect des contraintes de temps strictes, (2) minimiser le temps de réponse des activités à contraintes souples.*

6.1.1 Qualité de Service et Ordonnement dans les Systèmes de Communication Temps Réel

Mots clés : temps réel, Qualité de Service, réseaux de terrain, ordonnancement.

Participants : Najib Saïd, Jean-Pierre Thomesse.

Nous nous intéressons dans ce travail aux systèmes de communication temps réel à architectures réduites, c'est-à-dire sans couche réseau ni transport. La plupart de ces systèmes sont conçus pour respecter certaines contraintes de temps, essentiellement sur les échanges périodiques et parfois pour les échanges sporadiques.

Dans sa thèse, Miguel Angel León Chavez ^[LC00] a proposé une solution dynamique à la place des solutions statiques. Ces travaux ont été étendus lors du stage de DEA de Najib Saïd. En particulier il a développé un algorithme de calcul du temps de réponse des échanges sporadiques dans le réseaux définis par la norme IEC 61158.

6.1.2 Ordonnement

Mots clés : Qualité de Service, modes de marche, négociation, ordonnancement dynamique.

Participants : Victor Andritou [Stagiaire DEA - équipes MAIA/TRIO], François Charpillat [équipe MAIA], Bruno Gaujal, Jérôme Guermont, Fabrice Jumel, Nicolas Navet, Françoise Simonot-Lion.

Un cadre d'expression des études sur le "temps réel" est donné par des travaux sur l'évaluation de l'impact d'une configuration d'architecture logicielle et des performances d'une architecture matérielle support sur la qualité de la surveillance et/ou de la commande des systèmes. Dans le cas de la conception des applications de contrôle-commande, notre objectif est de maîtriser l'impact des choix effectués au niveau de l'architecture opérationnelle sur le

[LC00] M. LEON CHAVEZ, *Qualité de service et Ordonnement dans les systèmes de communications Temps Réel*, Thèse d'université inpl, Nancy, octobre 2000.

processus physique contrôlé. Les solutions usuelles reposent sur un sur-échantillonnage et une configuration statique périodique des tâches et des messages. Dans ces conditions, il est aisé de garantir hors-ligne le respect des contraintes temporelles par une analyse d'ordonnabilité. Par contre, cette solution présente l'inconvénient majeur de sur-dimensionner les architectures opérationnelles en créant une surcharge importante dans les trafics sur réseaux et l'occupation processeur. De plus, cette configuration statique peut s'avérer être une étape difficile de par la complexité des problèmes d'ordonnement à résoudre. C'est pourquoi nous étudions une approche dynamique, reposant sur la négociation en ligne d'une qualité de service qui sera spécifiée hors ligne.

Nous avons identifié les métriques de qualité de service pour les régulations industrielles et cherchons à dériver les critères de qualité de service correspondant en informatique (par exemple en termes d'ordonnement de tâches et de messages). Parallèlement à ce travail, nous étudions les mécanismes exécutifs en-ligne permettant de garantir le respect des propriétés identifiées. Ces mécanismes reposent sur des techniques de négociation de fenêtres temporelles pour la transmission des messages aussi bien que pour l'exécution des tâches. Ces techniques sont combinées à des stratégies d'ordonnement dynamique. Si la réservation de temps s'avère impossible, un événement de changement de mode de marche de l'application est signalé. Nous avons en particulier développé des stratégies de lissage de charge (CPU, réseau) qui utilisent des techniques d'optimisation comme le gradient et l'optimisation quadratique convexe. Ces stratégies de lissage se sont également révélées solutions à des problèmes d'ordonnement de tâches sous contrainte d'énergie.

Dans des études antérieures, nous avons montré que l'ordonnement selon la politique Dual-Priority (DP) se comporte toujours mieux (pour toutes les instances de tâches/messages) que la politique classique dite d'ordonnement en arrière plan (Background Scheduling - BS) sous une hypothèse FIFO sur la trafic à contraintes souples. De nouveaux résultats sur les temps de réponse moyens sous ces deux politiques ont été proposés dans [16] : dans le cas non-préemptif pour des tâches de taille identique, DP fait toujours mieux en moyenne que BS alors que dans le cas préemptif, pour tout trafic non-FIFO, il existe des configurations dans lesquelles BS est meilleur en moyenne.

Classiquement dans les applications temps réel, les contraintes de temps s'expriment sous forme d'échéances mais pour de nombreuses applications, il est plus réaliste de les exprimer sous forme d'une demande moyenne. Par exemple une application multimédia pourra demander l'affichage de 30 images par seconde plutôt que l'affiche d'une image toutes les 33 millisecondes. L'ordonnement basé sur un taux ("rate-based" scheduling) répond à ces besoins, récents dans la problématique temps réel, et un algorithme classique et efficace est l'algorithme de Stoica [SAWJ⁺96]. Dans le cadre du stage de DEA de J. Guermont [44], effectué au sein de la société OCE, nous avons proposé une version multi-processeur de l'algorithme de Stoica et l'avons implémenté sur une machine bi-processeur sous Windows2000 embarquée dans un photocopieur.

Enfin, nous avons commencé une collaboration informelle avec l'équipe MAIA. Un travail

[SAWJ⁺96] I. STOICA, H. ABDEL-WAHAB, K. JEFFAY, S. BARUAH, GEHRKE, G. PLAXTON, « A Proportional Share Resource Allocation Algorithm for Real-Time, Time-Share Systems », *in: Proceedings of 17th Real-Time Systems Symposium*, p. 288-299, 1996.

sur la modélisation de tâches flexibles à échéances (tâches "anytime", tâches pouvant conduire à plusieurs chemins d'exécution possibles) telles qu'on les trouve dans les applications de planification a été initiée lors du stage de DEA de Victor Andritoiu [37]. Cette modélisation introduit la notion de qualité de service associée à toute exécution possible d'une tâche. Une proposition d'ordonnancement de ce type de tâches fait actuellement l'objet d'une étude conduite par Fabrice Jumel. Elle intègre le critère suivant : toute tâche doit réaliser son chemin de coût minimal et l'optimisation des chemins doit se faire à partir des tâches les plus "importantes".

6.1.3 Middleware

Mots clés : middleware, consensus, systèmes embarqués.

Participants : Nicolas Navet, Pascal Gula, Paolo Castelpietra, Françoise Simonot-Lion.

Le consensus, c'est à dire la capacité d'un certain nombre de stations à s'accorder sur une valeur, est un problème crucial de l'algorithmique réparti. Dans le cadre du stage de DEA de Pascal Gula [45], nous avons étudié les performances d'un service de consensus basé sur le récent algorithme SEQ^[MR00] en présence d'éventuelles défaillances de processeurs. Nous avons déterminé des bornes sur le temps de réponse d'un consensus, son temps de réponse moyen ainsi que l'overhead induit par ce service en termes de pertes en ordonnancement du système.

Dans le cadre du projet ITEA-EAST, nous travaillons à la spécification et à la validation des services d'un middleware embarqué dans l'automobile. Les travaux actuels portent sur l'identification des services et leur organisation selon des profils définis en fonction des types d'application (multimédia, châssis, contrôle moteur, carrosserie, interface homme / système). Les études menées dans l'équipe sur l'ordonnancement de tâches et de messages seront étendues pour spécifier les mécanismes à réaliser pour implanter ces services.

6.1.4 Optimisation dans les réseaux

Mots clés : contrôle d'admission, multimodularité, mots de Sturm.

Participants : Eitan Altman [INRIA Sophia-Antipolis], Bruno Gaujal, Arie Hordijk [University of Leiden], Emmanuel Hyon, Dinard van der Laan [University of Leiden].

Nous avons mis au point des méthodes de comparaison de politiques de routage. Ces comparaisons reposent sur différentes notions d'ordre (ordre de cône, ordre multimodulaire, dés-équilibre, ordre de graphe supérieur et ordre de graphe inférieur) qui s'appliquent sur des suites binaires. L'intérêt des ordres retenus est montré dans [42] et leurs relations sont données dans [13].

Ces travaux vont être présentés dans un livre que nous consacrons à ce sujet qui doit paraître en 2002 chez Springer-Verlag : "Discrete-event control of stochastic networks : multimodularity and regularity". Une bonne partie de cette présentation est aussi présentée dans l'Habilitation à Diriger des Recherches de Bruno Gaujal [25].

[MR00] A. MOSTEFAOUI, M. RAYNAL, « Consensus Based on Failure Detectors with Perpetual Accuracy Property », *in: Proceedings of the Int. Parallel and Distributed Processing Symposium (IPPS/SPDP)*, p. 514-519, 2000.

Quant au calcul effectif du contrôle d'admission, nous généralisons les résultats obtenus pour le routage de clients dans deux files d'attente déterministes parallèles [15]. Le cadre introduit précédemment nous a permis de calculer le routage qui minimise le temps de réponse moyen lorsque le nombre de files déterministes en parallèle est supérieur à deux, le nombre de services prenant lui uniquement deux valeurs. A partir de la formule explicite du temps de séjour, nous obtenons un algorithme de descente convexe discrète qui calcule la politique de routage optimale dans les files. Généralement cette politique est périodique. Dans [42], nous avons poursuivi nos recherches en étudiant les diverses propriétés de ces politiques : sensibilité, processus de sortie, nombre de clients maximum... . L'étude du processus de sortie nous a permis quant à elle de trouver les politiques optimales pour des réseaux de files d'attente en série. Ce travail est d'ailleurs en cours de finalisation.

Parallèlement nous tentons de prendre en compte des temps d'inter-arrivées et des temps de services stochastiques, plus particulièrement exponentiels. Les propriétés des processus de Poisson ne sont pas conservées lorsque la séquence d'admission est Sturmienne et cela donne lieu à des difficultés supplémentaires avec un mélange de concavité et convexité pour les courbes de temps d'attente moyen en fonction de la charge. Les techniques usuelles ne permettant pas de calculer la distribution du temps d'attente, nos efforts se portent actuellement sur l'application à nos problèmes des résultats concernant l'étude des trajectoires dans des treillis qui nous permettraient de mieux connaître le comportement de la file d'attente. Ces travaux ont fait l'objet d'une présentation au septième atelier d'évaluation de performances [24].

6.1.5 Evaluation de la qualité de services de systèmes de communication

Mots clés : Éthernet commuté, protocoles sur courant porteur, qualité de service, Réseaux embarqués, CAN.

Participants : Bruno Gaujal, Anis Koubaa, Liping Lu, Nicolas Navet, Françoise Simonot, YeQiong Song, Cedric Wilwert, Wang Zhi.

Ethernet commuté

Dans un système de communication pour des applications du type contrôle-commande, on introduit de plus en plus de réseaux en Ethernet commuté pour substituer en partie les traditionnels bus de terrain (WorldFIP, Profibus, FieldBus Foundation, etc...). Ceci pour bénéficier d'une part des facilités d'utilisation des piles de protocoles (IP/TCP-UDP/http, FTP, Telnet) implémentées en standard au dessus de Ethernet et d'autre part de l'excellent rapport performances/coût des composants Ethernet (Cartes réseaux et commutateurs).

Il s'agit d'abord de vérifier si Ethernet commuté peut satisfaire les contraintes du temps réel. Dans [46, 47] et [31], nous avons donné une analyse exhaustive des possibilités d'Ethernet commuté pour gérer du trafic temps réel (avec la norme IEEE802.1p/Q). Un modèle en files d'attente a été proposé. Pour le trafic périodique, le pire temps de réponse est calculé en appliquant le résultat obtenu sur la politique FPP (Fixed Preemptive Priority) de [LL73] qui fournit une garantie de temps réel stricte (HRT). Pour le trafic apériodique modélisé par un

[LL73] C. LIU, J. LAYLAND, « Scheduling algorithms for multiprogramming in hard real-time environment », *Journal of the ACM* 20, February 1973, p. 40–61.

flux poissonnien, la distribution de probabilité du temps d'attente est donnée ce qui permet la garantie temps réel souple (SRT). Pour des commutateurs avec un petit nombre de ports, une modélisation du trafic apériodique par une loi Binomiale à la place d'une loi de Poisson donne un modèle plus précis. Le temps moyen de réponse a été obtenu alors que l'analyse de la distribution est en cours d'étude.

Protocoles de communication sur courants porteur (PLC : power line communication)

Dans le secteur de la boucle locale (last mile), face à la concurrence de la technologie sans fil (IEEE802.11, HiperLAN, Bluetooth) et xDSL, la solution PLC doit fournir non seulement du haut débit mais aussi et surtout démontrer la capacité de garantir la Qualité de Service pour des applications multimédia temps réel (audio, vidéo, téléphonie, données informatiques). Depuis Juillet 2001 nous avons commencé une analyse quantitative et comparative des principaux protocoles actuellement proposés (Inari, Homeplug, Itran) dans le cadre du contrat LORIA-EASYPLUG. Nous avons conclu que les mécanismes pour la garantie de la Qualité de Service au niveau de la sous-couche Contrôle d'accès au medium sont insuffisants. Par exemple, le protocole Contrôle d'accès au medium de INARI ne permet de spécifier un ensemble de paramètres de Qualité de Service que pour un seul flux par nœud, ce qui rend impossible la gestion de multimédia par un PC (où les flux vidéo, audio et données informatiques coexistent). Le protocole Contrôle d'accès au medium de HomePlug ne fournit qu'un ensemble de priorités. On doit s'appuyer alors sur les protocoles SBM (Subnet Bandwith Management) et RSVP (ReSerVation Protocol) pour garantir la Qualité de Service [48]. Les travaux actuels portent sur l'étude d'évaluation de performances et de la garantie de qualité de Service des applications distribuées multimédias utilisant non seulement les technologies PLC mais également IP et les protocoles de Qualité de Service comme SBM, RSVP et Diffserv (Différentiation de services). Nous insistons sur ce choix d'IP par opposition aux protocoles propriétaires de ce niveau, car pour la plupart des applications, IP est de plus en plus considéré comme un point de convergence incontournable ("Tous sur IP et IP sur tous").

Nous allons poursuivre nos travaux en étudiant, outre les garanties temps réel strict (HRT) et souple (SRT), la politique " $(m, k) - firm$ " qui permet de garantir la date d'échéance de m messages parmi k messages consécutifs. Cette garantie est meilleure qu'une garantie probabiliste, de probabilité m/k , car jugée plus déterministe). Cette étude sera appliquée aux réseaux Ethernet multi-sauts ainsi qu'aux réseaux PLC.

Réseaux embarqués dans l'automobile Dans le cadre de l'Equipe de Recherche Technologique CARAMELS, nous avons commencé une analyse des réseaux candidats à être utilisés dans les systèmes dits "X-by-Wire", à savoir CAN, TTP (Time Trigger Protocol), FLEXRAY et les protocoles TT-CAN et FTT-CAN. Les points étudiés sont la sûreté des réseaux et leur qualité de service (temps de réponse, gigue,...).

L'étape ultérieure consistera à proposer des mécanismes permettant de garantir les qualités de service requise par une application, pour des architectures de communication de référence (domaine moteur, domaine châssis, domaine carrosserie, domaine multimédia). Dans cette perspective, nos travaux sur la validation analytique d'applications distribuées autour du réseau du CAN [17], nous ont conduit à analyser l'efficacité des mécanismes de confinement d'erreurs de ce réseau. Ces mécanismes visent à empêcher une station défectueuse de perturber l'ensemble du réseau en déconnectant (état bus-off) une station défectueuse ou en réduisant certaines de

ses prérogatives comme le signalement d'erreurs (état erreur-passive). Nous avons proposé une analyse Markovienne des temps d'atteinte des états bus-off et erreur-passive et avons indentifié un certain nombre de problèmes avec les mécanismes existants (temps d'atteinte d'états bus-off trop court, trop de mémoire des erreurs de transmission passée, les erreurs de transmission sont par hypothèse non corrélées etc.). Nous avons proposé dans [26] de nouveaux mécanismes qui utilisent la quantité d'information apportée par le résultat de la dernière transmission pour décider de l'éloignement ou de la progression vers les états bus-off et erreur-passive. Une analyse Markovienne de ces mécanismes a montré de bien meilleures performances que les mécanismes existants en termes de temps de détection d'une station défectueuse comme de probabilité de détection d'une station non-défectueuse.

6.2 Procédés de modélisation

Résumé : *Construire le modèle d'applications distribuées dans un des formalismes présentés ci-dessus n'est pas une chose facile. Cette activité requiert de fortes compétences dans la technique de modélisation utilisée, associée à une grande connaissance de l'application et de ses propriétés. Généralement, ce ne sont pas les mêmes personnes qui appréhendent ces deux aspects. Aussi, il est nécessaire, pour réunir les savoir-faire des deux communautés, de fournir :*

- *d'une part, un formalisme d'expression de l'application distribuée accessible à un concepteur de telles applications avec une sémantique non ambiguë.*
- *et, d'autre part un procédé de "traduction" du modèle exprimé dans ce formalisme vers un formalisme exploitable pour faire des preuves et éventuellement vers un générateur de squelette de code.*

6.2.1 Modélisation d'applications de supervision dans le domaine manufacturier

Mots clés : Profil UML, évaluation de performances, optimisation, génération de modèles.

Participants : Domenico Cavaliere, Françoise Simonot-Lion, Yeqiong Song.

Ce travail est réalisé dans le cadre d'un contrat avec la société PSA (convention Cifre - thèse de Domenico Cavaliere). A partir de l'identification des objets pertinents pour le dimensionnement et la validation de l'architecture opérationnelle des applications de pilotage de lignes manufacturières, nous avons réalisé et validé un méta-modèle UML qui permet de décrire les classes à l'aide desquelles un modèle d'application de supervision pourra être construit [20]. Cette première étude s'est achevée cette année par la réalisation du profil UML : DAMeSI [39]. Ce profil intègre les notions de module (composants interconnectés et réutilisables dans leur ensemble), de style architectural (ensemble de contraintes guidant et contraignant le concepteur d'un modèle d'architectures) et de vue (point de vue spécifique sur l'architecture étudiée). La structure du modèle d'application repose sur la spécification formelle de classes et des relations entre classes. Le profil DAMeSI est actuellement le point d'entrée pour la réalisation d'un outil d'édition de modèles d'architecture (outil développé par la société TNI en partenariat avec TRIO et PSA). Enfin, des modèles OPNET (automates temporisés) de composants de

base ont été écrits. Un générateur automatique de modèles d'architectures opérationnelles qui intègre les composants DAMeSI précédents a été réalisé. L'analyse des résultats de simulation est guidée grâce à la spécification d'indicateurs et la mise en œuvre de filtres.

6.2.2 Modélisation d'applications embarquées dans l'automobile

Mots clés : Langage de description d'architectures embarquées, validation temporelle, modularité, évaluation de performances.

Participants : Paolo Castelpietra, Olivier Doucet, Tiziana Mastrotti, Jörn Migge, Françoise Simonot-Lion, Paolo Spagnoletti, YeQiong Song.

Dans le contexte des systèmes embarqués dans l'automobile, à la suite du projet CAROSSE (programme PREDIT 2) qui s'est terminée en novembre 2000, nous avons exploité les techniques de modélisation modulaire proposées pour construire un générateur automatique de modèles dans le formalisme de l'outil de simulation SES-Workbench (réseaux de files d'attente). La technique de modélisation que nous avons développée repose sur une séparation entre le modèle du support d'exécution (machines munies de systèmes d'exploitation et connectées sur des réseaux munis de protocoles) et le modèle du comportement de l'application (tâches et messages de l'architecture logicielle, d'une part, et, environnement, d'autre part). L'intérêt d'une telle séparation est la possibilité de modéliser le comportement de l'application sous différents niveaux d'abstraction. Il suffit de développer, pour chaque niveau d'abstraction désiré, un langage de description de l'architecture logicielle et de l'environnement, et un module intégré au modèle de l'architecture support, dont le rôle, au cours de la simulation, est l'interprétation des descriptions fournies [19]. Nous avons proposé un premier langage fournissant une abstraction, suffisante dans l'état actuel des applications embarquées, du comportement des tâches et des messages. L'interprète correspondant a été réalisé [38].

La deuxième action prend place dans le cadre du projet Architecture Electronique Embarquée (AEE, financée par le Ministère de l'Industrie, <http://aee.inria.fr>). Les principaux résultats du projet pour lesquels il y a eu une participation forte de TRIO résident dans la définition d'un langage de description d'architecture embarquée, AIL (Architecture Implementation Language) et dans la réalisation d'un constructeur de modèles d'architectures embarquées exploitables par le logiciel OPNET. Le langage AIL doit permettre à tout acteur du domaine automobile de concevoir, valider, évaluer, documenter une architecture embarquée à tout niveau de la phase de conception de celle-ci ainsi que d'échanger des informations entre partenaires dans un processus de conception constructeurs / équipementiers / sous-traitants. Les travaux menés en 2001 ont, pour une part, porté sur l'enrichissement du langage AIL et sur une définition formelle des relations entre classes. Les modes de fonctionnement analysés depuis la spécification des exigences jusqu'à la conception des architectures embarquées ont été modélisés en AIL de même qu'ont été formalisés les liens entre les classes manipulées à différents niveaux d'abstraction (niveaux projet, spécification fonctionnelle, conception du support d'exécution, conception de l'architecture logicielle, conception de l'architecture opérationnelle embarquée). Les classes et leurs relations sont spécifiées en UML [41, 40, 50]. De plus, un important travail de prototypage d'un outil exploitant des descriptions AIL (AIL ToolKit) a été réalisé. Il permet la génération automatique, d'une part, de la spécification des services

d'interface entre un repository d'objets conformes à AIL et des outils exploitant ces objets et, d'autre part, des supports assurant la cohérence d'un "repository" AIL (tables de bases de données, DTD XML, ...). Enfin, les classes définies en AIL sont automatiquement générées en Java à des fins de développement cohérent d'outils exploitant des données AIL ([49]). L'ensemble des développements fait l'objet de démonstration lors du forum de présentation des résultats du projet AEE (12 décembre 2001).

Les travaux menés dans le projet AEE servent actuellement de base au projet européen ITEA - EAST EEA. Le langage AIL est en cours d'analyse par les partenaires allemands, suédois et italiens tandis que les partenaires français font une étude comparative de AIL et de l'outil de description d'architectures embarquées TITUS développé par Bosch et ETAS. Les travaux menés par TRIO dans le cadre de ce projet porteront sur la spécification du langage de modélisation d'architecture issu de ces deux expériences ainsi que sur celle des propriétés qui caractérisent l'interopérabilité temporelle de composants réalisés indépendamment (tests d'interopérabilité temporelle, tests de conformité temporelle, méthode de validation et vérification de propriétés temporelles). Pour ceci, nous identifierons les classes, relations et / ou attributs indispensables à introduire dans le langage de modélisation. Nous étendrons également nos travaux sur la modélisation en vue de vérification formelle de propriétés de performances.

6.2.3 Interopérabilité de capteurs : spécification et validation

Mots clés : Interopérabilité, SDL, XML.

Participants : Orazio Gurieri, Xavier Rebeuf, Jean-Pierre Thomesse.

Le but principal de ce travail est d'étudier la vérification a priori de l'interopérabilité des équipements qui composent un système automatisé autour de réseaux de terrain. Nous avons cherché à définir un modèle de ces équipements qui se focalise sur les aspects temporels dans des travaux antérieurs [Mas00]. Nous avons considéré le modèle client-serveur comme support de la coopération entre équipements, et l'avons appliqué dans le cadre des applications DIATELIC et TISSAD. Par ailleurs, nous sommes partenaires de la proposition de projet européen PROTEUS qui a reçu le label ITEA en octobre 2001. Ce projet, en cours d'expertise au ministère de l'industrie, verra un démarrage éventuel en 2002. Le thème de PROTEUS concerne la maintenance et la supervision d'équipements de terrain via Internet. Nos travaux précédents fournissent une base solide pour notre activité dans ce projet. .

6.3 Formalismes et techniques de vérification

Résumé : *La nécessité de garantir que des applications distribuées temps réel respecteront, tout au long de leur exploitation, les contraintes de sûreté de fonctionnement spécifiées dans leur cahier des charges, impose de disposer de modèles de ces applications. Dans TRIO, nous nous intéressons à leurs propriétés temps réel. Les formalismes utilisés relèvent généralement des automates étendus par des attributs*

[Mas00] T. MASTROTI, « Interoperabilità tra dispositivi elettronici: specifica e validazione. », *Master*, Università degli Studi di Roma La Sapienza, juillet 2000.

temporels ou des réseaux de file d'attente. Dans un cas, comme dans l'autre, nous avons développé des techniques d'analyse de ces modèles.

6.3.1 Vérification de propriétés temporelles

Mots clés : TIOSM, automates temporisés, vérification, tests de conformité.

Participants : Bruno Gaujal, Vishal Grover, Laurent Kaiser, Xavier Rebeuf, Ricardo dos Santos-Marques, Françoise Simonot-Lion.

Les travaux ont fait l'objet de la thèse de Laurent Kaiser [14]. En particulier, nous avons développé une technique de génération formelle de séquences de tests temporisés reposant sur le formalisme des *Timed Input Output Machine (TIOSM)* sous-classe des automates temporisés. Cette technique calcule à la volée une, plusieurs ou toutes les trajectoires du système sur lesquelles la propriété doit être vérifiée puis, pour chaque trajectoire obtenue, génère le scénario de test correspondant. Les campagnes de tests étant longues et coûteuses, nous avons développé une méthode de test adaptatif qui permet de réduire le nombre de cas non-concluants. Pour ceci, le testeur dispose de moyens de calcul (résolution de systèmes d'inéquations linéaires) et de spécification des chiens de garde lui permettant d'exploiter un scénario de test, muni à chaque état, de l'ensemble des inéquations linéaires représentant l'espace des horloges contraignant le tir des transitions futures [30]. Les algorithmes sont implantés dans l'outil XTIOSM.

Par ailleurs, nous avons proposé deux contributions pour la validation de systèmes complexes. Dans un premier temps, nous avons proposé une méthode de validation hybride qui combine une technique de simulation à une technique d'analyse exhaustive confinées aux parties critiques. Le processus consiste à extraire les parties critiques dans le modèle TIOSM d'un système, puis après validation de ces parties, à en construire des abstractions qui sont intégrées au modèle du système complet. Le résultat est appelé "système dérivé". La dernière partie consiste à simuler le modèle dérivé. Une perspective intéressante de ce travail est la modélisation de composants développés séparément et devant interopérer au sein d'un système complexe [27]. Une deuxième solution permettant de maîtriser la complexité d'analyse de systèmes complexes repose sur une utilisation conjointe de deux formalismes, TIOSM, d'une part et SDL, d'autre part. Dans ce cas, la spécification initiale du système est faite en TIOSM. Ce modèle est utilisé pour valider la spécification, vérifier des propriétés temporelles ou générer des séquences de tests temporisés. Par contre, il n'est pas utilisable pour spécifier des comportements conditionnés à des valeurs de variables, ni pour générer le code de l'application. Aussi, nous proposons une traduction du modèle TIOSM en SDL. Cette traduction dégrade le modèle initial dans le sens où le temps manipulé en TIOSM est un temps dense, alors qu'il est discret en SDL. Les règles de traduction ont été formellement spécifiées. Le découpage en blocs SDL suit le découpage en automates TIOSM du modèle initial. Pour chaque bloc, deux processus sont spécifiés : le premier traduit strictement le comportement logique du TIOSM initial tandis que le deuxième traduit la gestion du temps (initialisation des horloges, expression des contraintes sur les tirs de transition). Les modèles SDL peuvent ensuite être raffinés en vérifiant, à chaque niveau de raffinement, la validation du résultat par rapport à la spécification initiale.

Ces travaux se poursuivent en ce moment en intégrant les approches symboliques d'exploration d'automates ainsi que les techniques développées par Xavier Rebeuf au LIFO d'Orléans

[Reb00].

6.3.2 Analyse des réseaux de Petri temporisés

Mots clés : réseaux de Petri, blocage.

Participants : Gülgün Alpan-Gaujal, Bruno Gaujal, Alessandro Giua [Université de Cagliari], Stefan Haar [Irisa], Jean Mairesse [CNRS, LIAFA].

Les travaux sur le blocage des réseaux de Petri s'est poursuivi [43]. Nous avons trouvé la classe topologique maximale de réseaux de Petri pour laquelle on peut établir des propriétés de convergence vers un régime stationnaire sous des hypothèses d'indépendance des lois de tirs des transitions : il s'agit des réseaux routés qui ont une extension choix-libre vivante et bornée. L'appartenance à cette classe peut être testée en temps polynomial. De même, le calcul du marquage de blocage (qui est le point de régénération du système temporisé) peut être calculé en temps polynomial.

Par ailleurs, nous avons découvert que le contrôle par routage qui nous permettait jusqu'alors d'éviter les situations de famine peut être utilisé plus efficacement, non seulement pour éviter le blocage mais aussi pour optimiser le fonctionnement du réseau, comme par exemple pour maximiser son débit global [23].

6.3.3 Contrôle dans les réseaux de Petri

Mots clés : contrôle superviseur, routage, programmation linéaire.

Participants : Gülgün Alpan, Bruno Gaujal.

Dans le domaine de la synthèse de commande et la conception et l'analyse de contrôleur superviseur dans des systèmes à événement discrets [AG00], la plupart des outils existants de modélisation et d'analyse de contrôleur ne concernent que le côté fonctionnel du système. Or dans les systèmes kanban comme dans les réseaux embarqués ou les applications multimédia, il est primordial de ne pas seulement prendre des décisions correctes et dans le bon ordre mais aussi de les prendre en temps réel. Dans le contexte de spécifications temporelles, on voudrait élargir les résultats obtenus dans [AG00] et développer des méthodes hybrides générales qui nous permettront de décrire des spécifications temporelles et d'analyser et optimiser les performances de systèmes sous contrôle.

6.3.4 Représentation minimale de systèmes à événements discrets

Mots clés : systèmes à événements discrets, représentation minimale, registres, équation

-
- [Reb00] X. REBEUF, *Un modèle de coût symbolique pour les programmes parallèles asynchrones à dépendances structurées*, thèse de doctorat, Université d'Orléans, Orléans, France, 2000.
- [AG00] G. ALPAN, B. GAUJAL, « Supervisory Control of Petri Nets Using Routing Functions : Starvation Avoidance Issues », *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part B: Cybernetics* 30, 5, Oct. 2000, p. 684–696.

récurrentes uniformes.

Participants : Bruno Gaujal, Jean Mairesse [CNRS, LIAFA], Alessandro Guida.

Les travaux sur la minimisation de nombre de registres dans les circuits digitaux qui avaient été mise au point l'année dernière pour les circuits recyclés ont été généralisés au cas de circuits arbitraires [22]. Les techniques de preuves sont radicalement différentes que dans le cas recyclés et font appel à la notion de fragments de graphes infinis qui a été peu utilisée jusqu'à présent.

7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 Contrat EASYPLUG

Participants : Liping Lu, YeQiong Song.

Depuis Juillet 2001 nous avons commencé une analyse quantitative et comparative des principaux protocoles actuellement proposés (Inari, Homeplug, Itran) dans le cadre du contrat LORIA-EASYPLUG.

Les mécanismes permettant de contrôler la qualité de service sont analysés. Nous avons conclu que les mécanismes pour la garantie de la Qualité de Service au niveau de la sous-couche Contrôle d'accès au médium sont insuffisants. Il faut donc s'appuyer ensuite sur les protocoles SBM (Subnet Bandwith Management) et RSVP (ReSerVation Protocol) pour garantir la Qualité de Service [48].

7.2 Contrat PSA

Participants : Domenico Cavaliere, Françoise Simonot-Lion, YeQiong Song.

Depuis février 1999, a démarré une thèse (Domenico Cavaliere) dans le cadre d'une convention CIFRE avec la société PSA. Il s'agit de proposer une méthode de modélisation - validation des applications distribuées d'automatisation des lignes de production. Le travail consiste à définir, pour ce type d'applications, d'une part, la notion de composant réutilisable et leurs caractéristiques, leur composition au sein de l'application et la génération de modèles simulables à l'aide du logiciel OPNET. Ce travail a donné lieu à la définition du profil UML DAMeSI sur lequel repose un outil de conception de modèles d'architectures développé en partenariat par TNI, PSA et l'équipe TRIO.

7.3 Projet "Architecture Electronique Embarquée"

Participants : Paolo Castelpietra, Olivier Doucet, Tiziana Mastroti, Jörn Migge, Françoise Simonot-Lion, Paolo Spagnoletti.

Ce projet rassemble, jusqu'en décembre 2001, des représentants des équipementiers automobiles français (Sagem, Siemens Automotive SA., Valeo), des constructeurs automobiles (PSA et Renault), EADS-Launch Vehicule et des laboratoires de recherche (INRIA, IRCCyN

et LORIA). L'objectif du programme est d'assurer dans les architectures embarquées l'indépendance du logiciel et du matériel afin de favoriser la flexibilité des développements, la réutilisabilité d'éléments applicatifs tout en garantissant la sûreté de fonctionnement exigée. Françoise Simonot-Lion en assure la responsabilité du projet pour le LORIA. TRIO est impliqué dans plusieurs lots de ce projet : en particulier, nous participons à la spécification du langage AIL, à la caractérisation des composants réutilisables dans une application embarquée, à la spécification du procédé de validation (propriétés de comportement - propriétés temporelles) et à la réalisation des traducteurs de modèles AIL en modèles exécutables ou analysables(<http://aee.inria.fr>). Un forum présente les résultats du projet le 12 décembre 2001.

8 Actions régionales, nationales et internationales

8.1 Actions régionales

8.1.1 Projet DIATELIC

Participants : Jean-Pierre Thomesse, Tiziana Mastrotti.

Les travaux dans le cadre de Diatélic [32] ont conduit à une spécification en ré-ingénierie de l'architecture du système et au développement d'une nouvelle version du système, version commercialisable. L'intégration des machines de dialyse de la société Gambro a été réalisée avec succès, permettant ainsi d'étendre l'usage du service aux dialysés par dialyse péritonéale automatisée. D'un point de vue technique, l'ensemble des services du système relève des modèles client-serveur et client-multi serveur étudiés depuis quelques années (voir par exemple [21, 52] ^[LC00]). Ces services ont été spécifiés et testés dans le cadre de l'équipe "Diatélic" sise à l'incubateur Lorrain. Tous ces documents sont strictement confidentiels car ils contiennent tout le savoir faire de la future société. Cette structure devrait être déclarée comme Société Anonyme au début 2002.

8.2 Actions nationales

8.2.1 Action Maddes

Participants : Marianne Akian [INRIA Rocquencourt], Eitan Altman [INRIA Sophia-Antipolis], Stéphane Gaubert [INRIA Rocquencourt], Bruno Gaujal, Jean-Pierre Quadrat [INRIA Rocquencourt].

Bruno Gaujal est responsable de l'action de recherche coopérative Maddes (les détails de ces activités sont disponibles sur le site <http://www.loria.fr/~gaujal/Maddes/presentation.html>).

Durant cette dernière année d'activité, l'action Maddes a comporté des actions de recherche sur le trafic routier à Rocquencourt et des activités autour des réseaux de Petri à Nancy. On peut citer les visites de travail de Stefan Haar, Jean Mairesse, et de Alain Jean-Marie.

[LC00] M. LEON CHAVEZ, *Qualité de service et Ordonnancement dans les systèmes de communications Temps Réel*, Thèse d'université inpl, Nancy, octobre 2000.

8.2.2 Opération QSL : Garp

Participants : Gülgün Alpan, Bruno Gaujal, Alain Jean-Marie [LIRMM], Daniel Simon [INRIA Rhône-Alpes].

Bruno Gaujal est le responsable de l'opération QSL GARP (Génie Algorithmique des Réseaux de Petri) (<http://www.loria.fr/~gaujal/Garp/homepage.html>). Cette action, financée dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région Lorraine 2000-2006 (PST "Intelligence Logicielle"), a pour but sur deux ans (2001-2002) de développer et d'implémenter sous la forme de logiciels exploitables et distribuables des nouvelles techniques d'analyse de réseaux de Petri.

8.2.3 Projet TISSAD

Participant : Jean-Pierre Thomesse.

Le projet TISSAD a démarré en novembre 1999 et se termine en novembre 2001. Ce projet regroupait les partenaires suivants sous la direction de J.P. Thomesse : l'ALTIR (Association Lorraine du Traitement de l'Insuffisance Rénale) à Nancy, la société GAMBRO SA (produits de Dialyse), l'INSERM ERM 107 (Hôpital cardiologique de Lyon), l'INSERM Unité 558 (Toulouse), l'IUP ville et santé de l'Université Paris 13, le LAAS (Laboratoire d'Architecture et d'Analyse des Systèmes) de l'Université Paul Sabatier à Toulouse, le LGPSP (Laboratoire de Génie de la Prévention Sanitaire des Populations) de l'Université Joseph Fourier à Grenoble, le LISI (Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes d'Information) de l'INSA-Lyon, le LORIA (laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications) à Nancy et le TIMC (Techniques de l'Imagerie, de la Modélisation et de la Cognition) de l'IMAG à Grenoble.

Les travaux de recherche [32, 29] concernaient des aspects génériques des systèmes de télémédecine (génériques au sens de l'indépendance des pathologies), cela concerne du point de vue informatique, les architectures de système, les catégories de données, la spécification des aspects temporels, les systèmes intelligents ; des applications de ces travaux à des actions particulières : insuffisance rénale à Nancy, insuffisance cardiaque à Lyon, maladie d'Alzheimer à Toulouse et Grenoble.

Les résultats des travaux de ce projet sont présentés lors de la journée Bilan du 21 novembre au LORIA [36, 34, 33, 11].

8.2.4 Projet DEPICS

Participant : Jean-Pierre Thomesse.

Des travaux intéressants de recherche démarrent en novembre 2001 pour améliorer le système dans le cadre d'un contrat du RNTS. Il s'agit du contrat DEPIC : Détection précoce d'infection cutanée menée dans le cadre d'une collaboration avec l'équipe "micro capteurs et micro systèmes biomédicaux" du laboratoire LPM de l'INSA de Lyon. Des partenaires médicaux sont associés à ce projet : CHUs de Nancy-Brabois et de Lyon Sud, associations de dialyses ALTIR à Nancy et Calydia à Lyon. Une entreprise Captec est associée pour la fabrication des capteurs et la société Diatélic le sera ultérieurement pour la commercialisation du système.

8.3 Actions européennes

8.3.1 Projet européen ITEA - EAST EEA

Participants : Paolo Castelpietra, Nicolas Navet, Françoise Simonot-Lion.

Le projet européen EAST-EEA rassemble, à partir du 1 juillet 2001 et pour 30 mois, les principaux acteurs des systèmes embarqués dans l'automobile en Europe. Les laboratoires de recherche français, impliqués dans le projet AEE (INRIA, IRCCyN et LORIA), sont également partenaires de ce projet. Sur le plan technique, ce contrat doit compléter les concepts introduits dans AEE et les enrichir par la confrontation des solutions apportées par les nouveaux acteurs européens. L'accent sera également mis sur l'intégration d'éditeurs de logiciels pour le développement et la diffusion d'outils professionnels mettant en œuvre les résultats du projet.

8.3.2 Action Alapedes

Participants : Bruno Gaujal, Emmanuel Hyon.

l'Action ALAPEDES (ALgebraic Approach to Performance Evaluation of Discret Events System) a pour but d'étudier les systèmes à événements discrets à l'aide d'algèbres spécifiques notamment les algèbres $(\max, +)$, $(\min, \max, +)$. A la dernière réunion scientifique de ce contrat TMR européen qui s'est tenue à Prague (2001), Bruno Gaujal a présenté ses travaux sur la minimisation du nombre de registres dans les circuits digitaux.

8.4 Actions internationales

Nous avons établi des coopérations avec le Professeur Oracio Mirabella de l'Université de Catania (Italie) et le professeur Claudio Demartini du Politecnico di Torino (Torino, Italie). Nous travaillons sur la spécification de couches application dans les réseaux de terrain. Cette coopération doit se concrétiser par des échanges de chercheurs sous forme de stages courts et longs à partir de décembre 1999.

Depuis 1994, nous collaborons avec le Professeur José Alberto Fonseca de l'Université d'Aveiro (Portugal) dans le contexte d'un projet bilatéral. Cette collaboration se concrétisera par des thèses en co-tutelle dans le domaine des réseaux temps réel, ainsi que par l'organisation du prochain colloque FET à Aveiro en 2002.

Depuis février 1998, nous collaborons avec le Professeur Alessandro De Carli et le Docteur Francesco delli Priscoli de l'Université La Sapienza (Roma). Les thèmes scientifiques de cette coopération sont la modélisation, l'évaluation de performances dans les réseaux temps réel et les réseaux mobiles. Dans ce contexte, TRIO accueille un certain nombre de stagiaires (stages de Master).

Nous avons aussi une collaboration avec l'université de Rosario (Argentine) qui s'est traduite en 2001 par la visite du professeur Sergio Junco et d'Ernesto Kofman.

Des projets de collaboration avec l'université de Puebla (Mexique) et l'université de Buenos Aires (Argentine) sont en cours de développement et devraient déboucher sur la mise en place de stages ou de thèses en co-tutelle.

Nous collaborons avec l'Université de Technologie de Wuhan dans le cadre du projet Franco-Chinois PRA SI99-04 (2000-2001) sur la problématique des systèmes embarqués dans l'automobile [28]. Liping Lu, chercheur de Wuhan, effectue son stage de Master dans l'équipe TRIO (février 2001 - février 2002). Son travail porte sur l'analyse de la qualité de service dans des protocoles de communication par courants porteurs.

Conjointement avec I. Karaesmen de l'Université de Carnegie Mellon, Gülgün Alpan a obtenu une bourse du Carnegie Bosch Institute pour l'année 2001 pour un projet de recherche concernant la gestion des stocks dans des chaînes internationales d'approvisionnements avec une application dans le secteur automobile. La bourse couvre les frais de fonctionnement, d'assistance, de voyages et les conférences de deux participants. Cette bourse est prolongée en 2002.

Dans le cadre des opérations STIC, nous travaillons avec Rahel Romadi, enseignant chercheur de l'ENSIAS de Rabat, sur la distribution de code synchrone dans le contexte des applications de pilotage de lignes manufacturières. Rahel Romadi a fait un séjour de longue durée dans l'équipe TRIO (mai-septembre 2001).

Enfin, Trio est partenaire d'une coopération du LORIA avec l'Université de Tunis II. Cette coopération s'est concrétisée par un séminaire à Tunis en juin 2001 [51] et un séjour de courte durée d'un doctorants de l'université de Tunis.

8.5 Visites, et invitations de chercheurs

Le Professeur Sergio Junco de l'université de Rosario (Argentine), le professeur Alain Jean-Marie (LIRMM, Montpellier) et le Professeur Alessandro Giua (Université de Cagliari, Italie) ont effectué des séjours de deux semaines dans l'équipe TRIO.

Le Professeur Gangyan Li de l'Université Technologique de Wuhan, et le chercheur post doctorant Wang Zhi sont invités pour un séjour de longue durée afin de travailler sur les architectures de communication embarquées dans l'automobile et l'évaluation de la qualité de service de Ethernet commuté. Ils animent des séminaires de l'équipe.

9 Diffusion de résultats

9.1 Animation de la Communauté scientifique

- Plusieurs membres de TRIO participent de façon active au GDR ARP STS, Ordo ainsi qu'à "Réseaux Grand Est".
- Françoise Simonot-Lion est coresponsable avec François Vernadat (LAAS Toulouse) du thème "qualité de service et ordonnancement des Systèmes temps réel" du GDR ARP (à partir de Janvier 2002).
- Les permanents de l'équipe TRIO ont organisé la 4^e conférence IFAC FET'2001 à Nancy, 80 personnes de 15 pays ont participé à cette conférence, nombre record depuis sa création. C'était aussi la première fois que cette conférence était sponsorisée par l'IFAC (International Federation on Automatic Control).
- Le prochain congrès HealthCom 2002 est organisé à Nancy en juin 2002 à la suite du dernier à l'Aquila en Italie.

- Organisation d'une session " Fieldbus and Fielbus based systems " Congrès Mondial IFAC Barcelone 2002 par Jean-Pierre Thomesse.
- Participation de Jean-Pierre Thomesse au salon EDUFRANCE , du 14 au 20 octobre à Buenos Aires Argentine, Jean-Pierre Thomesse représentait l'INPL auprès des universités argentines, rapport de mission confidentiel à l'Université.
- YeQiong Song est membre du Comité de programme du numéro spécial « évaluation de performances » du journal CPRSR.
- Françoise Simonot-Lion et Jean-Pierre Thomesse sont membres du comité de programme de RTS'2000, RTS'2001, MSR'2001, EFTA'2001,CFIP, CESA.
- Françoise Simonot-Lion et Jean-Pierre Thomesse sont relecteurs de la revue TSI.
- YeQiong Song est relecteur de IEEE Transactions on Industrial Electronics, Computer communications.
- Bruno Gaujal est rapporteur pour Journal of Discrete Event Dynamic Systems.
- Nicolas Navet est relecteur pour les revues IEEE Transactions on Computers et IEE Proceedings Software.
- Françoise Simonot-Lion est membre du comité des projets INRIA-Lorraine.
- Jean-Pierre Thomesse est membre du comité d'orientation scientifique du LORIA.
- Emmanuel Hyon et membre du conseil de laboratoire
- Les enseignants-chercheurs permanents de TRIO sont membres des commissions de spécialistes 27ième et ou 61ième section de leur établissement. Françoise Simonot-Lion est membre du CNU 61ième section.

9.2 Enseignement

- Les permanents enseignants-chercheurs de l'équipe effectuent leur service à l'INPL ou à l'Université Henri Poincaré Nancy 1 et interviennent dans le DEA d'Informatique de Lorraine. Ils participent également à la formation continue.
- YeQiong Song est responsable de la maîtrise IUP-GEII, spécialité RNC (Réseaux Numériques de Communication) à l'UHP NANCY 1
- Françoise Simonot-Lion est co-responsable de la filière ISA (Ingénierie des systèmes automatisés) de l'ENSEM-INPL.
- Bruno Gaujal participe au cours de DEA d'Informatique de Lorraine, au DEA informatique de l'ENS-Lyon et au DEA Algorithmique de l'Université Paris VI.
- Nicolas Navet donne des cours d'ordonnancement temps réel dans le DEA Informatique de l'UHP Nancy 1, il intervient également à l'ENSEM et à l'ESIAL.

10 Bibliographie

Ouvrages et articles de référence de l'équipe

- [1] E. ALTMAN, B. GAUJAL, A. HORDIJK, « Multimodularity, Convexity and Optimization Properties », *Mathematics of Operations Research* 25, 2, 2000, p. 324–347.
- [2] F. BACCELLI, S. FOSS, B. GAUJAL, « Free Choice Nets, An algebraic Approach », *IEEE Transaction on Automatic Control* 41, 12, 1996, p. 1751–1778.

- [3] M. COURRIER, F. SIMONOT-LION, Y. SONG, « Microscopic modeling of support system for in-vehicle embedded systems », in : *Distributed and parallel embedded systems, IFIP*, Kluwer Academic Publishers, 1999, ch. 4, p. 139–148, <http://www.wkap.nl>.
- [4] J. MIGGE, *Scheduling of recurrent tasks on one processor : a trajectory based model*, Thèse d'université, Université de Nice, 1999.
- [5] N. NAVET, *Évaluation de performances temporelles et optimisation de l'ordonnancement de tâches et messages*, Thèse d'université, Nancy (Institut National Polytechnique de Lorraine), novembre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-T-188/99-T-188.ps>.
- [6] F. SIMONOT, Y.-Q. SONG, J.-P. THOMESSE, « Message Sojourn Time for TDM Schemes with Any Buffer Capacity », *IEEE Transactions on Communications* 43, 2/3/4, avril 1995, p. 1013–1021.
- [7] F. SIMONOT-LION, Y.-Q. SONG, J. RAYMOND, « Validating real-time applications distributed over CAN : an interoperability verification », in : *4th international CAN Conference - ICC'97, Berlin, Germany*, p. 0709–0718, octobre 1997, <http://www.loria.fr/publications/1997/97-R-127/97-R-127.ps>.
- [8] J.-P. THOMESSE, « Les réseaux temps réel », in : *Réseaux de communication et conception de protocoles, Parallélisme, réseaux et répartition*, Hermès, 1995, p. 141–169.
- [9] J. TOUSSAINT, *Modélisation d'applications temps réel réparties pour la validation de propriétés temporelles Méthodologie de construction de modèles et algorithmes de validation*, Thèse d'université, INPL, 1997.
- [10] L. VEGA, J.-P. THOMESSE, « Temporal Properties in Distributed Real-Time Applications - Cooperation Models and Communication Types », in : *Proceedings 13th IFAC Workshop on Distributed Computer Control Systems, Toulouse*, p. 91–96, septembre 1995.

Livres et monographies

- [11] THISSAD, *Integrated information technologies for patients remote follow-up and homecare*, juin 2001.
- [12] J.-P. THOMESSE, *Les réseaux de terrain*, septembre 2001.

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [13] B. GAUJAL, *Convexité discrète et régularité ; application au contrôle des systèmes à événements discrets*, Habilitation à diriger des recherches, INPL, janvier 2001.
- [14] L. KAISER, *Contribution à l'analyse des TIOSMs pour la vérification de propriétés temporelles de systèmes complexes*, Thèse d'université, Nancy, mars 2001.

Articles et chapitres de livre

- [15] B. GAUJAL, E. HYON, « Optimal Routing Policy in Two Deterministic Queues », *Réseaux et systèmes répartis - Calculateurs Parallèles (RSR-CP)*, décembre 2001, p. 603–635, Numéro spécial intitulé : Performances des réseaux et systèmes.
- [16] B. GAUJAL, N. NAVET, J. MIGGE, « Dual-Priority versus Background Scheduling : a Path-wise Comparison », *Real-Time Systems*, accepté pour publication 2001.
- [17] N. NAVET, Y.-Q. SONG, « Validation of In-Vehicle Real-Time Applications », *Computers in Industry* 42, 2, 2001, p. 107–122.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [18] A. BOUILLARD, B. GAUJAL, « Coupling Time of a (Max,Plus) Matrix », *in : Ifac Workshop on Max-Plus Algebras, Prague, Czechoslovakia*, août 2001.
- [19] P. CASTELPIETRA, Y.-Q. SONG, F. SIMONOT-LION, M. ATTIA, « Carosse-Perf : A Modular Approach For Simulation Of In-Vehicle Embedded Architectures », *in : ESM'2001, Prague, Czech Republic*, SCS, p. 453–460, juin 2001.
- [20] D. CAVALIERE, O. HEMBERT, « DAMESI, Un outil pour la simulation et l'évaluation du système d'information de l'atelier de production PSA », *in : 2eme Conférence Annuelle d'Ingénierie Système, Toulouse, France*, AFIS, juin 2001.
- [21] P.-Y. DURAND, J. CHANLIAU, A. MARIOT, M. KESSLER, J.-P. THOMESSE, L. ROMARY, F. CHARPILLET, R. HERVY, « Telemedicine and dialysis », *in : 3rd International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Health care Industry - HealthCom'2001, L'Aquila, Italy*, juin 2001.
- [22] B. GAUJAL, A. GIUA, « Optimal routing of continuous timed Petri nets », *in : 15th Ifac World Congress*, novembre 2001.
- [23] B. GAUJAL, S. HAAR, J. MAIRESSE, « Blocking a transition in a Free Choice net and what it tells about its throughput », *in : Inform Conference on Applied Probability, New York, USA*, juillet 2001.
- [24] B. GAUJAL, E. HYON, A. JEAN-MARIE, « Etude d'une file G/M/1 avec un échantillonnage déterministe d'un processus de Poisson en entrée », *in : VIIème Atelier d'évaluation de performances, Ecole Normale supérieure Paris*, mai 2001.
- [25] B. GAUJAL, E. HYON, « Routage optimal dans des réseaux de files d'attente déterministes », *in : Colloque Francophone sur la Modélisation des Systèmes Réactifs, Toulouse, France*, Hermes (éditeur), LAAS, p. 133–148, octobre 2001.
- [26] B. GAUJAL, N. NAVET, « Fault confinement mechanisms on CAN : analysis and improvements », *in : 4th IFAC International Conference on Fieldbus Systems and their Applications - FeT'2001, Nancy, France*, LORIA-CRAN-SEE, novembre 2001.
- [27] L. KAISER, F. SIMONOT-LION, « An Hybrid Method for the Validation of Real-Time Systems », *in : 4th IFAC conference Fieldbus Technology - FET'2001, Nancy, France*, novembre 2001.
- [28] G. LI, Y. SONG, P. XIAO, H. JIN, « Monitoring System of Car Information Central Control System », *in : 4th IFAC International Conference on Fieldbus Systems and their Applications - FeT'2001, Nancy, France*, IFAC (éditeur), LORIA et SEE, Elsevier Scientific, novembre 2001.
- [29] V. RIALLE, N. NOURY, J. FAYN, M. CHAN, E. CAMPO, L. BAJOLLE, J. P. THOMESSE, « Health "smart" home information systems : concepts and illustrations », *in : 3rd International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Health Care Industry - Healthcom 2001, L'Aquila, Italie*, novembre 2001.
- [30] F. SIMONOT-LION, L. KAISER, R. DOS SANTOS MARQUES, « Méthode formelle de génération de séquences de tests temporisés », *in : Modélisation et système Réactifs 2001, Toulouse, France*, G. J. et R. Valette (éditeur), Hermes, p. 291–305, octobre 2001.
- [31] Y. SONG, « Time Constrained Communication Over Switched Ethernet », *in : 4th IFAC International Conference on Fieldbus Systems and their Applications - FeT'2001, Nancy, France*, IFAC (éditeur), LORIA et SEE, Elsevier Scientific, novembre 2001.
- [32] J.-P. THOMESSE, D. BELLOT, A. BOYER, E. CAMPO, M. CHAN, F. CHARPILLET, J. FAYN, C. LESCHI, N. NOURY, V. RIALLE, L. ROMARY, P. RUBEL, N. SELMAOUI, F. STEENKESTE, G. VIRONE, « Integrated Information Technologies for patients remote follow-up and homecare », *in : HealthCom 2001, L'Aquila, Italie*, juillet 2001.

- [33] J. P. THOMESSE, « « Télé assistance, informatique et soins à domicile », *in : Journée d'études du GIRPS (Groupement Interuniversitaire de Réflexion sur la Philosophie des Sciences), 26 Avril 2001, Nancy., Nancy, France, avril 2001.*
- [34] J. P. THOMESSE, « Présentation du Bilan du projet TIISSAD », *in : Journée Bilan, LORIA, , novembre 2001.*
- [35] J. P. THOMESSE, « Quelques problématiques de l'Automatique en Télécommunications », *in : Journées "Automatique et Télécommunications" ENSEIRB, Bordeaux, France, Club EEA, la SEE, le Ministère de la Recherche, mars 2001.*
- [36] J. P. THOMESSE, « TIISSAD, Technologies de l'information intégrées aux services des soins à domicile », *in : conférence Journées AIM ?Télémédecines et technologies de Santé?, La Pitié Salpétrière, , La Pitié Salpétrière, France, juin 2001.*

Rapports de recherche et publications internes

- [37] V. ANDRITOIU, « Stratégies d'ordonnancement temps-reel pour des applications IA », *Stage de dea, LORIA, septembre 2001.*
- [38] P. CASTELPIETRA, Y.-Q. SONG, F. SIMONOT-LION, M. ATTIA, « Analysis and simulation methods for performance evaluation of a multiple networked embedded architecture », *Rapport de recherche, novembre 2001, Soumis à "IEEE Transactions on Industrial Electronics".*
- [39] R. CAVALIERE, F. SIMONOT-LION, Y. SONG, O. HEMBERT, « A component based approach for modeling and validation of an automated manufacturing system », *Rapport de recherche, novembre 2001.*
- [40] J. P. ELLOY, J. MIGGE, B. ROUCOUSE, F. SIMONOT-LION, Y. TRINQUET, « AIL V2 - User Manual », *Rapport intermédiaire, janvier 2001.*
- [41] J.-P. ELLOY, F. SIMONOT-LION, « An Architecture Description Language For In-Vehicle Embedded System Development », *Rapport de recherche, novembre 2001.*
- [42] B. GAUJAL, A. HORDIJK, D. VAN DER LAAN, « Orders and bounds for response times », *Rapport de recherche, Department of Mathematics, Leiden University, novembre 2001.*
- [43] B. GAUJAL, J. MAIRESSE, « Cuts and Flows in Infinite Periodic Graphs ; Application to the Minimization of Circuit Registers », *Rapport de recherche, INRIA, mars 2001, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4144.html>.*
- [44] J. GUERMONT, « Réalisation d'un Ordonnancement pour le Contrôleur d'un Copieur Numérique », *Stage de dea, septembre 2001.*
- [45] P. GULA, « Analyse, Validation et Simulation d'un Nouvel Algorithme de Consensus », *Stage de dea, septembre 2001.*
- [46] A. KOUBAA, Y. Q. SONG, « Ethernet commuté et QoS pour les applications temps réel », *Rapport de recherche, juillet 2001.*
- [47] A. KOUBAA, Y. Q. SONG, « Evaluation de performance d'Ethernet commuté », *Rapport de recherche, novembre 2001.*
- [48] L. LU, Y. SONG, « Etude de la QoS des systèmes de communication sur courants porteurs (PLC : Power Line Communication) », *Rapport de fin de contrat, Loria-Easyplug, novembre 2001.*
- [49] J. MIGGE, F. SIMONOT-LION, « AIL toolkit », *Rapport intermédiaire, janvier 2001.*
- [50] F. SIMONOT-LION, M. ATTIA, A. BOUALI, J. BOUCHERON, O. CAYROL, S. BOUTIN, DELTORT, F. GASNIER, T. GAUTIER, P. LEMAIRE, J. MIGGE, P. PALMIERI, B. ROUCOUSE, Y. TRINQUET, « AIL V2 - Reference Manual », *Rapport intermédiaire, janvier 2001.*
- [51] F. SIMONOT-LION, M. COURRIER, P. CASTELPIETRA, Y. Q. SONG, « Projet CAROSSE », *Rapport de recherche, novembre 2001.*

Divers

- [52] J. P. THOMESSE, F. CHARPILLET, «?System for the remote monitoring of kidney disease patients? », mars 2001.