

*Projet TRIO**Temps Réel et InterOpérabilité**Lorraine - Rhône-Alpes*

THÈME 1C



*R*apport
d'Activité

2002

Table des matières

1. Composition de l'équipe	1
2. Présentation et objectifs généraux	2
3. Fondements scientifiques	2
4. Domaines d'application	5
5. Logiciels	5
5.1. XTIOSM	5
5.2. DAMESI	5
5.3. EAST-ADL	6
5.4. Diatélic	6
6. Résultats nouveaux	6
6.1. Mécanismes exécutifs et protocoles	6
6.1.1. Qualité de Service des Systèmes de Communication Temps Réel	6
6.1.1.1. Protocoles de communication sur courant porteur (PLC : power line communication)	6
6.1.1.2. Sûreté de fonctionnement d'architectures de communication embarquées dans l'automobile	7
6.1.2. Ordonnancement	8
6.1.3. Optimisation dans les réseaux	8
6.1.4. Gestion dynamique de la Qualité de Service temps réel	9
6.2. Procédés de modélisation	9
6.2.1. Interopérabilité de capteurs : spécification et validation	10
6.2.2. Modélisation d'applications de supervision dans le domaine manufacturier	10
6.2.3. Modélisation d'applications embarquées dans l'automobile	11
6.3. Formalismes et techniques de vérification	11
6.3.1. Vérification de propriétés temporelles	12
6.3.2. Analyse des réseaux de Petri	12
6.3.3. Contrôle dans les réseaux de Petri	12
6.3.4. Analyse de programmes fonctionnels	13
6.3.5. Evaluation de la qualité de service dans les systèmes de communication sans fil	13
6.3.6. Robustesse de fonctions redondées sur un réseau TDMA	13
6.3.7. Conception d'un middleware automobile	14
6.3.8. Evaluation de la fiabilité d'une architecture opérationnelle de contrôle-commande	14
6.3.9. Techniques d'évaluation de temps de réponse pour la garantie de la QoS temps réel	14
7. Contrats industriels	15
7.1. Contrat PSA - modélisation - validation des applications d'automatisation de lignes de production	15
7.2. Contrat PSA - Sûreté des Réseaux Embarqués	16
8. Actions régionales, nationales et internationales	16
8.1. Actions nationales	16
8.1.1. Projet DEPIC - DEtection Précoce d'Infection Cutanée	16
8.2. Actions européennes	16
8.2.1. Projet européen ITEA EAST-EEA	16
8.2.2. PROTEUS	16
8.3. Actions internationales	16
8.4. Visites, et invitations de chercheurs	17
9. Diffusion des résultats	18
9.1. Animation de la Communauté scientifique	18

9.2. Enseignement	18
10. Bibliographie	19

1. Composition de l'équipe

TRIO est un 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.

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

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

Michel Dufner [Professeur certifié à l'INPL]

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

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

Éric Thierry [ATER à l'ENS-Lyon]

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

Personnel INRIA

Nicolas Navet [Chargé de Recherche]

Chercheur extérieur

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

Chercheurs doctorants

Anne Bouillard [4ème année ENS depuis 1/09/02]

Domenico Cavaliere [Boursier CIFRE convention PSA jusqu'au 01/03/02]

Emmanuel Hyon [ATER à l'ENS - Lyon depuis 01/10/02]

Fabrice Jumel [Boursier MENESR jusqu'au 01/11/02]

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

Ricardo dos Santos-Marques [Boursier INRIA depuis le 01/10/02]

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

Chercheur post-doctorant

Wang Zhi [Boursier de l'Ambassade de France, Pekin jusqu'au 15/04/02]

Ingénieurs experts

Paolo Castelpietra

Orazio Gurrieri [depuis le 01/09/02]

Jörn Migge [jusqu'au 31/03/02]

Gerardo Satriano [depuis le 01/11/02]

Visiteurs

Alessandro Giua [Université de Gagliari, du 01/07/02 au 31/07/02]

Haisong Jin [Wuhan Technology University, du 01/02/02 au 30/04/02]

Sergio Junco [Université de Rosario - Argentine, du 01/06/02 au 31/07/02]

Anatoli Manita [Université d'État Lomonossov - Moscou, du 01/06/02 au 31/07/02]

Rahel Romadi [ENSIAS - Rabat, du 20/10/02 au 20/12/02]

Stagiaires

Youssef Cherif [Stagiaire de l'École SUPCOM (Tunis) du 01/02/02 au 30/06/02]

Philippe Deleval [Stagiaire DEA Algorithmique]

Haythem Elmir [Stagiaire de l'ENSI (Tunis) du 15/02/02 au 15/07/02]
Orazio Gurrieri [Stagiaire Master of Science Université de la Sapienza (Rome) jusqu'au 31/05/02]
Aref Jarraya [Stagiaire de l'École SUPCOM (Tunis) du 01/02/02 au 30/06/02]
Liping Lu [Stagiaire Master of Science Wuhan Technology University jusqu'au 01/02/02]
Enrico Poggi [Stagiaire Master of Science Université de la Sapienza (Rome) du 01/03/02 au 30/09/02]
Ricardo dos Santos-Marques [Stagiaire DEA informatique]
Gerardo Satriano [Stagiaire Master of Science Université de la Sapienza (Rome) jusqu'au 30/06/02]
Gabriele Vercelli [Stagiaire Master of Science Université de la Sapienza (Rome) du 01/02/02 au 30/09/02]

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 peuvent se lire selon trois points de vue 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 ou de détection et notification de telles fautes,
- *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 - STRQDS 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 en Chine ou de Moscou.

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 et dans les applications de télésurveillance médicale (projet DIATELIC-Télésurveillance de Dialysés à domicile et projet DEPIC) et de la télémaintenance (projet ITEA-PROTEUS).

Enfin TRIO est à l'origine de l'Équipe de Recherche Technologique (ERT) CARAMELS (Caractérisation des Réseaux embarqués dans l'Automobile et Mécanismes En Ligne pour leur Sécurité) 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 sûreté 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. L'initiative CARAMELS a été distinguée par le prix de la Société Industrielle de l'Est dans la catégorie « Recherche ».

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, transmissions 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 tenir compte du 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.

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 [77].

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 [84] ; nous avons étudié un trafic d'entrée indépendant et stationnaire pour faire des calculs de

bornes sur les temps de réponse [83] et nous avons développé des stratégies de contrôle d'admission sous des hypothèses de stationnarité, sans indépendance (en utilisant des méthodes de couplages trajectorielles) [76].

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, ce problème est bien connu et de nombreux travaux sur les ADL (Architecture Description Language) apportent des éléments de solutions [88]. 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, etc.). 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, éventuellement, 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, etc.). 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 fournir une qualité de service constante [87], [81].

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 de manière déterministe, alors que les activités à contraintes souples sont généralement aperiodiques avec des échéances qui peuvent être occasionnellement dépassées sans conséquences majeures. Dans ce dernier cas, on impose que la probabilité de non respect des échéances soit inférieure à un taux donné. De plus en plus, certaines applications liées au domaine de l'Internet, du multimédia ou des télécommunications apportent d'autres types de contraintes temps réel liées aux besoins de qualité de service, par exemple, sur des flux. Or, garantir le respect des contraintes de temps strictes exige de considérer le pire cas. Ceci conduit souvent à un surdimensionnement coûteux des ressources.

De nombreuses études [85], [86], [79], [78] ont révélé que ces types d'applications, classées sous contraintes de temps strictes, peuvent encore tolérer certains dépassements des échéances à condition que la distribution de ces dépassements puisse être spécifiée. Néanmoins, une simple garantie probabiliste telle que celle utilisée pour les applications sous contraintes de temps souple n'est pas toujours suffisante. Aussi, nous proposons de travailler sur la notion de WHRT (Weakly-Hard Real-Time) [78] qui est une généralisation du concept de garantie $(m, k) - firm$ introduit par [80]. La stratégie dynamique $(m, k) - firm$ fournit une garantie du respect de m échéances parmi k activités consécutives.

4. Domaines d'application

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. Enfin, les applications reposant sur les services de télécommunication et/ou de l'Internet imposent de plus en plus de contraintes de synchronisation et de temps de réponse sur des flux multimédias. Elles forment un domaine supplémentaire d'application des techniques d'optimisation de flux, de contrôle d'admission et de gestion dynamique de la qualité de service. 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 (ITEA EAST-EEA, Équipe de Recherche Technologique CARAMELS), 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 ou de télésurveillance (Diatélic, DEPIC, ITEA-PROTEUS). Signalons enfin que certains résultats ont été appliqués dans le cadre des réseaux locaux sans fil avec des contraintes temps-réel dans le cadre de leur utilisation pour, par exemple, la diffusion vidéo.

5. Logiciels

5.1. XTIOSM

Participants : Youssef Cherif, Haythem Elmir, Xavier Rebeuf, Gerardo Satriano, Françoise Simonot-Lion.

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. En 2002, des fonctionnalités ont été ajoutées comme une machine d'exécution, un outil de trace et un algorithme de partitionnement d'automates.

Cet outil dispose d'une interface graphique et d'une gestion de projet. Il fait partie de la plate-forme QSL du LORIA.

5.2. DAMESI

Participants : Domenico Cavaliere, Françoise Simonot-Lion, 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 a été développé en partenariat entre PSA, l'équipe TRIO et la société TNI. Sa réalisation repose sur le profil DAMeSI [12].

5.3. EAST-ADL

Participants : Paolo Castelpietra, Orazio Gurieri, Olivier Barrière [IRCCyN, EC-Nantes].

Dans le cadre du projet ITEA EAST-EEA, un outil a été développé pour spécifier le langage EAST-ADL de description des architectures embarquées dans les automobiles. Cet outil repose sur le logiciel GME 2000 développé à l'Université Vanderbilt (USA). Pour l'instant, il implémente le méta-modèle permettant la description d'une architecture fonctionnelle détaillée. La réalisation du prototype est faite en coopération entre le projet TRIO et l'équipe Temps Réel de l'IRCCyN [63].

5.4. Diatélic

Participant : Jean-Pierre Thomesse.

Une grande partie de l'année 2002 a été consacrée au projet d'industrialisation de l'activité Diatélic. Cette industrialisation a consisté d'une part à ré-écrire, documenter et mettre au point un logiciel de qualité et d'autre part, à développer le cadre de déploiement du service aux malades. Un financement de l'expérimentation en Lorraine pour 150 malades a été obtenu pour trois ans. Le traitement et le service sont financés par moitié entre l'ARH et le FAQSV (URCAM) avec engagement de développer l'introduction des généralistes dans le système de suivi et d'alertes. Ce montage n'était pas simple pour de multiples raisons réglementaires de financement par les autorités de santé.

Une société anonyme a été créée, ainsi qu'une association préfigurant un GIE ou GIP pour déployer le service en Lorraine. L'association regroupe le CHU de Nancy financé par l'ARH, l'ALTIR financée par le FAQSV, avec comme objectif l'amélioration de la qualité de vie et des soins aux insuffisants rénaux.

6. Résultats nouveaux

6.1. Mécanismes exécutifs et protocoles

Dans cet axe, nous avons développé, d'une part, l'analyse de la qualité de service de supports exécutifs (réseaux et protocoles, essentiellement) pour des classes de propriétés requises par l'application (temps réel dur, temps réel souple « weakly hard real time ») et, d'autre part, sur des propositions de mécanismes d'ordonnancement, de contrôle d'admission et de gestion dynamique de la qualité de service.

6.1.1. *Qualité de Service des Systèmes de Communication Temps Réel*

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

Participants : Bruno Gaujal, Haisong Jin, Liping Lu, Nicolas Navet, Françoise Simonot-Lion, YeQiong Song, Jean-Pierre Thomesse, Gabriele Vercelli, Cédric Wilwert.

L'objectif de ce travail est de construire une typologie de la qualité de service offerte par les systèmes de communication temps réel et, ainsi, pour chaque classe de propriétés requises par une application, de disposer d'un moyen de sélection de l'architecture de communication appropriée. Ces travaux sont appliqués dans deux domaines : les protocoles de communication sur courant porteur et les réseaux embarqués dans l'automobile.

6.1.1.1. *Protocoles de communication sur courant porteur (PLC : power line communication)*

Dans le secteur de la boucle locale (last mile), face à la concurrence de la technologie sans fil (IEEE 802.11, HiperLAN, Bluetooth) et xDSL, la solution de transmission par courant porteur (Power Line Communication - PLC) doit fournir non seulement du haut débit mais aussi et surtout assurer la Qualité de Service (contraintes au niveau du réseau, par exemple, sur le débit, sur le temps de réponse de bout en bout, sur la gigue et contraintes au niveau de l'application, par exemple, sur la probabilité de respect d'échéance) pour les besoins des applications multimédia temps réel (audio, vidéo, téléphonie, données informatiques). De nos travaux

précédents portant sur les principaux protocoles actuellement proposés (Inari, Homeplug, Itran), nous avons constaté que les mécanismes pour la garantie de la Qualité de Service au niveau de la sous-couche MAC sont insuffisants. Par exemple, le protocole de contrôle d'accès au médium (Medium Access Control - MAC) de INARI ne permet de spécifier un ensemble de paramètres de Qualité de Service que pour un seul flux par noeud, ce qui rend impossible la gestion des flux multimédias par un ordinateur (où les flux vidéo, audio et données informatiques coexistent). Le protocole MAC de HomePlug ne fournit qu'un ensemble de priorités. On doit alors s'appuyer sur les protocoles SBM (Subnet Bandwidth Management) et RSVP (ReSerVation Protocol) pour garantir la Qualité de Service. Il reste, néanmoins que dans le contexte d'une architecture de communication PLC/IP/TCP, en raison du médium fortement bruité, un problème à résoudre pour assurer la garantie de temps de réponse qui est lié à la coordination entre l'estimation de temps d'aller / retour de TCP (RTT - Round Trip Time) et la retransmission automatique du protocole MAC. Les travaux de stage de Master de Liping Lu [65] ont apporté des éléments de solution à ce problème. Une relation entre le nombre maximal de retransmissions du protocole de la sous-couche MAC et la taille du temporisateur de retransmission du protocole TCP a pu être définie sur la base de simulation sous l'outil NS. Ces travaux vont être poursuivis dans le cadre du projet Européen REMPLI (début prévu au 1/3/2003) en étudiant, outre les garanties temps réel strict (HRT) et souple (SRT), la politique $(m, k) - firm$ qui permet de garantir les m flux les plus importants parmi un ensemble de k flux dans les intervalles où le médium de transmission est fortement perturbé.

6.1.1.2. Sûreté de fonctionnement d'architectures de communication embarquées dans l'automobile

L'implantation dans les automobiles de systèmes de direction et de freinage à transmission numérique (X-by-Wire) sans redondance mécanique pose le problème d'identifier l'impact d'une architecture de communication sur la sûreté de fonctionnement de l'application embarquée et donc de celle du véhicule. Dans le cadre de l'Equipe de Recherche Technologique CARAMELS et de la thèse de Cédric Wilwert (convention CIFRE - PSA), nous avons effectué une analyse des réseaux candidats à être utilisés dans les systèmes « X-by-Wire », à savoir TTP/C, FlexRay et TTCAN [74],[72]. Le résultat est une classification claire et équitable des fonctions et des mécanismes de Sûreté de Fonctionnement de ces protocoles reposant sur un modèle permettant de distinguer les mécanismes de Tolérance aux Fautes couche par couche au sens du modèle OSI de l'ISO. Cette classification permet de distinguer les mécanismes pertinents à chaque couche du modèle vis-à-vis des besoins de l'application. Parallèlement à ce travail, nous avons réalisé un état de l'art des modèles et techniques d'analyse de la Sûreté de Fonctionnement des architectures embarquées dans l'automobile, et montré leur complémentarité et le besoin de les intégrer dans un objectif de validation globale [73]. Les travaux en cours actuellement partent de la classification présentée ci-dessus et ont pour objectif la proposition de mécanismes supplémentaires de tolérances aux fautes. Nous montrons l'importance de la couverture des hypothèses de fautes (de conception, Byzantines, physiques, ...) et le besoin de décliner les exigences (disponibilité, sécurité et performance temps réel) sur trois niveaux (système - fonction/service - composant) lors de l'évaluation de la sûreté globale d'une architecture de communication. Une étude de cas qui porte sur une architecture de freinage (prototype en cours de développement dans le cadre du projet AXONE chez PSA), permet de prendre des mesures des paramètres (par exemple : temps de réponse maximal autorisé sur des chaînes critiques) et valider notre approche.

Le réseau CAN est un standard de fait dans l'industrie automobile. Nous avons analysé l'efficacité de ses mécanismes de confinement d'erreurs qui 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 identifié 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 passées, les erreurs de transmission sont par hypothèse non corrélées etc.). Nous avons proposé dans [19] 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 ». Ces mécanismes peuvent s'adapter en-ligne à une évolution du niveau de perturbation sur le bus. Une analyse

Markovienne 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.

6.1.2. Ordonnement

Mots clés : *Qualité de Service, Réservation.*

Participants : Bruno Gaujal, Fabrice Jumel, Nicolas Navet, Françoise Simonot-Lion.

Certaines applications, en particulier dans le domaine du multimédia, ont le besoin de garantie sur l'obtention d'une quantité totale de ressource avant une échéance (besoin temps réel classique), et en même temps, sur la répartition uniforme de la quantité de ressource dans le temps (besoin lié au multimédia). Nous étudions des politiques de réservation explicite en avance qui répondent à ce double besoin de capacité et d'uniformité.

La politique « à taux constant » (TC), qui est utilisée généralement dans les systèmes nécessitant une répartition uniforme dans l'exécution de certaines de leurs activités, a en pratique pour inconvénient majeur de refuser un pourcentage important de requêtes soumises et donc de ne pas utiliser la ressource au maximum atteignable du taux de charge. En acceptant le principe d'une dégradation dans la répartition uniforme de la charge, nous avons défini dans [21] trois politiques de réservation qui offrent des compromis différents entre utilisation de la ressource et uniformité des activités s'exécutant sur cette ressource. Les stratégies proposées reposent sur l'utilisation de techniques de lissage appliquées au placement des réservations. Dans un cas, le lissage répartit le plus uniformément possible la requête en fonction des ressources déjà réservées et dans les autres, nous plaçons la requête de manière à lisser l'ensemble de la charge réservée sur la ressource. Leurs performances, qui se sont révélées très intéressantes, ont été évaluées par simulation relativement au taux de rejet des requêtes et à l'uniformité de la répartition de la charge en définissant deux métriques de performance qui sont l'écart absolu à l'uniformité et la dispersion de la charge mal-répartie.

6.1.3. Optimisation dans les réseaux

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

Participants : Bruno Gaujal, Emmanuel Hyon, Alain Jean-Marie [LIRMM].

Notre objectif est de minimiser des fonctions de coût liées au temps de séjour moyen de clients dans des réseaux en parallèle, modélisés par des files d'attente. Le contrôle des clients se fait en boucle ouverte ce qui signifie que le contrôleur ne connaît pas l'état des files au moment du routage, mais uniquement les paramètres du système. Ce type de contrôle trouve de nombreuses applications dans les réseaux généralement lorsque le temps de traitement du client est beaucoup plus court que l'acheminement de l'information. Ceci se produit notamment dans des réseaux longues distances, ou des réseaux à fibres optiques. La minimisation du temps de séjour se fait peu ou prou par un contrôle d'admission qui permet d'équilibrer les charges et ainsi d'utiliser au mieux les ressources offertes par le réseau.

L'approche suivie consiste en la détermination mathématique des politiques optimales. Si la classe des politiques optimales est connue : il s'agit de l'ensemble des mots de Sturm. La détermination, pour des paramètres donnés, de la politique optimale parmi cette classe est l'objet de nos recherches.

Cette année nos recherches ont été effectuées suivant deux axes principaux : Dans l'un, les paramètres (inter-arrivées, services) restent déterministes mais les réseaux considérés sont composés de files d'attente en tandem. Les propriétés du temps d'attente moyen nous permettent d'utiliser l'algorithme de descente convexe discrète précédemment étudié. Ainsi, nous pouvons calculer la politique optimale, celle-ci est, une fois encore, périodique et fractale [30][62]. Nous poursuivons nos travaux en vue de généraliser ces résultats à l'admission dans des réseaux (max, +) en parallèle.

D'autre part, pour des réseaux composés d'une seule file, nous tentons de prendre en compte des temps d'inter-arrivées et des temps de services stochastiques (exponentiels). Si le temps d'attente moyen se comporte fractalement en fonction de la proportion de clients admis, le temps moyen d'attente pondéré, lui, étant convexe, nous pouvons appliquer un algorithme de recherche planifiée qui permet de connaître la politique optimale [31]. Tous ces travaux de recherche effective de la politique optimale ont fait l'objet de la thèse de Emmanuel Hyon [13].

6.1.4. Gestion dynamique de la Qualité de Service temps réel

Mots clés : Ordonnancement dynamique, qualité de service, Éthernet commuté, protocole de réservation.

Participants : Aref Jarraya, Anis Koubâa, Enrico Poggi, YeQiong Song, Zhi Wang.

La stratégie $(m, k) - firm$ offre un cadre général élégant pour inclure à la fois le temps réel dur (quand $m = k$) et le temps réel souple (avec la garantie probabiliste $p = m/k$ quand m et k tendent vers l'infini). De plus, l'implémentation en-ligne de stratégies de type $(m, k) - firm$ permet de concevoir des systèmes auto-adaptatifs (flexibles et extensibles). Nous avons réalisé un état de l'art exhaustif sur (m, k) -firm dans le contexte des applications « Weakly Hard Real Time » [56]. Cette approche ouvre des perspectives intéressantes pour la gestion dynamique de certains paramètres de la qualité de service temps réel. L'un des premiers algorithmes d'ordonnancement proposés dans ce domaine est DBP (Distance Based Priority) [80]. Initialement défini pour gérer des flux vidéo, DBP affecte dynamiquement une priorité à chaque paquet selon la distance à l'état d'échec de la source. Si ce protocole est efficace pour des sources de caractéristiques voisines (comme les sources vidéo), nous avons montré [69] que, dans un contexte plus général (Modèle MIQSS : Multiple Input Queue Single Server), il s'avère insuffisant car il ne considère pas les priorités relatives inter flux, ni les autres paramètres temporels attachés à un flux comme le temps de transmission d'un paquet, sa période de génération et son échéance. Nous avons alors proposé une modification appelée Matrix-DBP afin de pallier cette insuffisance.

Des travaux en cours portent sur l'implémentation des mécanismes de gestion dynamique de la Qualité de Service dans un réseau Ethernet industriel. Dans [37] nous avons étudié le moyen de garantir la Qualité de Service en utilisant le protocole SBM (Subnet Bandwidth Management) associé à RSVP (ReSerVation Protocol). De plus, nous avons également montré par simulation que l'ordonnancement des messages par WFQ (Weighted Fair Queuing) dans un commutateur Ethernet ne fournit pas de solution efficace pour des flux arrivant en rafales. En effet, la borne sur les temps de réponse fournie par la politique WFQ étant liée à la taille maximale de la rafale, la garantie du respect des échéances nécessite d'augmenter la bande passante largement au-delà du débit moyen du réseau. Des travaux en cours dans le cadre de la thèse d'Anis Koubâa ont pour objectif d'apporter une amélioration au protocole WFQ par la prise en compte de priorités et pour la garantie de type $(m, k) - firm$ sur les temps de réponse.

6.2. Procédés de modélisation

Construire le modèle d'applications distribuées dans un des formalismes usuels et, en particulier dans un de ceux utilisés dans l'axe « techniques de vérification » présenté ci-après, 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.

Pour apporter des solutions à ces problèmes, les travaux de TRIO, en 2002, ont porté, d'une part sur la définition de langages de modélisation pour des domaines applicatifs où le temps réel est prépondérant et, d'autre part à initier une approche de conception à partir de composants et garantissant l'interopérabilité temporelle.

6.2.1. Interopérabilité de capteurs : spécification et validation

Mots clés : *Blocs fonctionnels, validation, interopérabilité temporelle.*

Participants : Orazio Gurrieri, Xavier Rebeuf, Françoise Simonot-Lion, 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 distribué. Afin de garantir l'efficacité et la sûreté du système, il est nécessaire de construire un modèle pouvant décrire la structure de chaque composant, ses fonctionnalités ainsi que son comportement dans le temps.

L'approche que nous avons développée repose sur le modèle des blocs fonctionnels (« Function Blocks »), dont l'utilisation est largement répandue dans le monde de l'industrie. Ce modèle offre un cadre pour la spécification de composants, chacun correspondant à un bloc fonctionnel. Le système peut alors être modélisé lui-même sous forme d'un réseau de blocs. Une telle spécification assure une bonne abstraction des aspects statiques du composant. Cependant, le comportement temporel n'est pas pris en compte, ce qui empêche une validation complète de l'interopérabilité de l'ensemble. Nous proposons donc d'enrichir cette approche par un modèle de comportement basé sur cette architecture. Le comportement de chaque bloc est décrit au travers d'un automate. Ces automates communiquent entre eux par échange de messages [40]. Il est alors possible soit de simuler le système dans son ensemble [32] au travers d'un outil comme OPNET, soit de prouver la correction du système par « model checking ».

Ces travaux se poursuivent actuellement par l'adaptation de la méthode hybride de validation, développée dans sa thèse par Laurent Kaiser dans le cadre des TIOSM. Cette méthode combine une analyse exhaustive des parties critiques avec une simulation de l'ensemble.

Par ailleurs, nous sommes partenaires du projet européen ITEA-PROTEUS. Le thème de PROTEUS concerne la maintenance et la supervision d'équipements de terrain (dans le contexte des systèmes de production ou de transport). Nos travaux précédents fournissent une base solide pour notre activité dans ce projet.

6.2.2. 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 a été réalisé dans le cadre d'un contrat avec la société PSA (convention Cifre - thèse de Domenico Cavaliere). L'augmentation de la complexité des architectures de systèmes de contrôle (ou système d'information) de lignes de production, se produit parallèlement à un accroissement du nombre de projets de conception et rénovation. Ceci nécessite la mise en œuvre de méthodes et outils qui permettent d'assister l'architecte industriel dans la validation de ces architectures lors de phases préliminaires à l'implantation. Pour répondre à ces besoins, les travaux présentés proposent une méthode de modélisation efficace et applicable en milieu industriel supportant les concepts de modularité (modélisation d'architectures distribuées) et composant réutilisable (optimisation de l'implémentation de modèles). L'exploitation des modèles, permettant de valider et comparer les architectures de Systèmes d'information, est réalisée par des techniques de simulation. DAMeSI (Description d'Architectures Manufacturières et de Systèmes d'Information) est le profil UML qui formalise la méthodologie proposée. Ce profil supporte non seulement le concept de modularité et composant réutilisable mais encore les activités de validation lors de la conception et la construction de modèles. L'originalité de DAMeSI est d'identifier clairement deux classes d'utilisateur : l'architecte ou concepteur et l'ingénieur expert de modélisation. Cette distinction permet d'identifier toujours la meilleure abstraction ou synthèse des modèles et, en conséquence, de mieux répondre à la contrainte d'applicabilité en milieu industriel. DAMeSI est également le nom de l'environnement logiciel supportant le profil proposé. Les informations collectées lors du processus de modélisation sont mises à disposition dans le format XML avec la possibilité de répondre à différents objectifs d'exploitation, ce qui fait de DAMeSI un environnement de modélisation ouvert et permettant l'extension de ses fonctionnalités actuelles. Une passerelle vers l'outil de simulation Opnet (de Opnet Technologies) complète enfin notre proposition [12].

6.2.3. Modélisation d'applications embarquées dans l'automobile

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

Participants : Paolo Castelpietra, Orazio Gurrieri, Jörn Migge, Gerardo Satriano, Françoise Simonot-Lion.

Dans le contexte des systèmes embarqués dans l'automobile, les résultats du projet AEE [23][43][68], terminé en décembre 2001, sont actuellement un des principaux points d'entrée du projet européen ITEA EAST-EEA. Dans ce contexte, nous participons à la définition d'un langage de description d'architectures embarquées EAST-ADL qui 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). Les premiers niveaux de modélisation portent sur l'expression des besoins ainsi que les architectures fonctionnelles générales et détaillées. De plus, la modélisation prend en compte la diversité des systèmes relevant d'une même étude.

Pour ce projet, nous participons à la définition d'un outil qui a vocation à valider les concepts développés. Cet outil repose sur le logiciel GME 2000 développé à l'Université Vanderbilt (USA) et implémente, à l'heure actuelle, le méta-modèle permettant la description des artefacts actuellement définis ainsi que des liens entre eux [63], [71], [60].

Ce travail se poursuivra en 2003 par l'initialisation des activités relevant de la validation / vérification. En particulier, nous interviendrons pour enrichir les artefacts déjà spécifiés par des modèles du comportement des différentes fonctions. Des premiers travaux ont commencé sur l'intégration de plusieurs modèles (discrets, échantillonnés) dans un même processus de validation. Enfin, nous étudierons les problèmes spécifiques de la génération de tests temporisés à intégrer dans un processus de développement coopératif « constructeurs / équipementiers ».

Un « design pattern » est une solution éprouvée à un problème récurrent. Dans le cadre de la conception des applications temps réel, l'utilisation de « design pattern » ne peut faire abstraction de sa qualité de service : performances en particulier temporelles et plus globalement liées à la sûreté de fonctionnement. Notre conviction est que, sous réserve de considérer les contraintes de temps et de SdF et leurs implications sur la dynamique du système, les patterns de conception peuvent favoriser, également dans le domaine du temps réel, la réutilisabilité de « bonnes » solutions (qu'elles se situent au niveau architectural ou au niveau des mécanismes exécutifs d'implantation) et ainsi réduire les temps de développement et augmenter la qualité de la solution délivrée. Nos travaux sur le sujet, débutés dans le cadre de la thèse de Ricardo dos Santos-Marques, comportent deux volets. Il s'agit d'abord d'identifier les « design pattern » existants qui sont pertinents pour les applications ciblées et de les enrichir d'une caractérisation en termes de contraintes non-fonctionnelles (contraintes de temps et de sûreté de fonctionnement). Ensuite, nous proposerons de nouveaux « design pattern ». Pour démontrer l'applicabilité de la démarche proposée, nous placerons ces recherches dans le cadre de la conception d'une couche logicielle "middleware" spécifique aux applications embarquées dans les véhicules.

6.3. Formalismes et techniques de vérification

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 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. Ces travaux concernent en 2002 des techniques d'analyse de modèles décrits dans ces formalismes pour des classes de propriétés temporelles à vérifier ainsi que l'application de techniques particulières dans le cas de problèmes spécifiques (configuration de messageries pour des classes de protocoles, analyse de fiabilité pour des applications de contrôle / commande, etc.)

6.3.1. Vérification de propriétés temporelles

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

Participants : Stefan Haar [IRISA], Xavier Rebeuf, Ricardo dos Santos-Marques, Gerardo Satriano, Françoise Simonot-Lion.

Dans sa thèse, Laurent Kaiser a développé une méthode de validation hybride qui combine une technique de simulation à une technique d'analyse exhaustive confinées aux parties critiques [44]. Le formalisme utilisé est une sous-classe des automates temporisés d'Alur et Dill dont nous avons montré l'équivalence faible avec les réseaux de Petri temporels [33]. 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, appelées boîtes noires, qui sont intégrées au modèle du système complet. Le résultat est appelé « système dérivé ». La dernière partie consiste à simuler le modèle dérivé.

Un point critique dans cette approche réside dans l'identification des parties critiques, chaque partie devant satisfaire les critères de création d'une boîte noire. Nous proposons une méthode incrémentale d'identification de ces parties. Nous avons développé un algorithme de partitionnement automatique de l'automate. Chaque sous-graphe résultant correspond au plus petit ensemble satisfaisant les critères de boîte noire. L'analyse exhaustive de chaque partie étant indépendante, cette approche permet de maximiser le parallélisme de la première phase. De plus, il est possible de composer ces parties « minimales » afin d'obtenir des parties critiques plus significatives. La boîte noire résultante est alors une composition des boîtes des sous-parties. Une bibliothèque de ces sous-graphes minimaux et des boîtes noires correspondantes est en cours de construction. Une telle bibliothèque permettrait la réutilisation de composants dans la construction d'automates autorisant ainsi la réutilisation des boîtes noires associées [41]. L'algorithme de partitionnement a été développé et intégré à l'outil XTIOSM.

Nous avons également proposé une contribution pour la validation de systèmes complexes qui 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 [36].

6.3.2. Analyse des réseaux de Petri

Mots clés : *réseaux de Petri, blocage.*

Participants : Bruno Gaujal, Stefan Haar [IRISA], Jean Mairesse [CNRS, LIAFA].

Dans une étude commencée l'année dernière, nous avons soulevé la question suivante : que se passe-t-il quand on décide de bloquer une transition dans un système *a priori* sans inter-blocage ? Il est intéressant de constater que la réponse à cette question donne en réalité des informations sur le comportement temporisé du système sans le blocage. Nous avons ainsi montré qu'un réseau de Petri vivant et borné admet un unique état de blocage quand une de ses transitions est bloquée. Cela montre l'existence d'un unique régime stationnaire pour ce type de systèmes discrets. De plus, nous avons montré récemment comment on peut calculer cet état bloqué en temps polynomial en la taille du système [17].

6.3.3. Contrôle dans les réseaux de Petri

Mots clés : *contrôle superviseur, routage, programmation linéaire, langages formels, synthèse des réseaux de Petri.*

Participants : Gülgün Alpan, Bruno Gaujal, Alessandro Giua [Université de Cagliari, Italie], Mohsen A. Jafari [Université de Rutgers, USA].

Réseaux de Petri continus temporisés et routés

L'année dernière, nous avons mis en place une technique de contrôle de réseaux de Petri par fonctions de routage. Cette année, cette technique a été utilisée pour étudier les réseaux de Petri continus temporisés et routés (RPCTR). Dans un premier temps, nous avons établi les programmes linéaires qui permettent de calculer la vitesse stationnaire des RPCTR avec des hypothèses de structure minimales (on suppose juste l'existence d'un régime stationnaire) [29][61]. Ensuite, nous avons utilisé une nouvelle version de ce programme linéaire pour calculer les fonctions de routage optimale (qui donne les vitesses stationnaires les plus élevées).

Dans une deuxième étape nous avons appliqué cette technique pour résoudre un problème concret d'ordonnancement optimal de bus de ville sous contrainte de ressources et avec des synchronisations [28].

Réseaux de Petri et langage formels

Le but principal de ce travail est de considérer les problèmes pratiques liés à la conception d'un contrôleur et de proposer un modèle pour le système sous contrôle. Dans [14], nous avons proposé un modèle hybride où le modèle du système à contrôler est un réseau de Petri et celui du contrôleur-superviseur repose sur la théorie de Ramadge et Wonham qui utilise les langages formels. Nous donnons un algorithme pour fusionner ces deux modèles dans lequel le modèle résultant qui donne le comportement sous contrôle du système de production est un réseau de Petri. Ce modèle peut être utilisé pour des analyses fonctionnelles et celles de la performance du système sous contrôle ainsi que pour la vérification du contrôleur.

6.3.4. Analyse de programmes fonctionnels

Mots clés : *calcul de fonctions, problème de la halte, taille mémoire.*

Participants : Bruno Gaujal, Jean-Yves Marion [Calligramme], Jean-Yves Moyen [Calligramme].

Nous avons découvert récemment que l'on pouvait utiliser les réseaux de Petri pour modéliser le calcul d'une fonction récursive et ainsi mettre au point des techniques d'évaluation de la quantité de mémoire nécessaire pour mener les calculs.

6.3.5. Evaluation de la qualité de service dans les systèmes de communication sans fil

Mots clés : *réseaux sans fil, qualité de service, processus semi-Markovien.*

Participants : Claude Chaudet [INRIA-INSA Lyon], Bruno Gaujal, Isabelle Guérin [INRIA-INSA Lyon], Eric Thierry [ENS-Lyon].

Dans le cadre de notre implication dans le consortium AIR&D, nous avons étudié un système asymétrique (avec stations cachées) de trois stations en série qui communiquent entre elles via un réseaux sans fil suivant le protocole 802.11b. Cette étude montre que l'asymétrie entre les écoutes en réception et les interférences en émission crée un phénomène de quasi-famine pour la station du milieu. Une modélisation avec un processus semi-Markovien confirme les simulations qui montrent une accession au medium de la station centrale dans seulement 1% des cas. La technique de modélisation semi-Markovienne n'a pas encore été utilisée pour l'évaluation générale de 802.11b et nous sommes en train de la mettre en œuvre pour établir une technique générale rigoureuse d'évaluation dans le cas symétrique (sans station cachée) et aussi dans le cas asymétrique, avec des stations connectées en arbre.

6.3.6. Robustesse de fonctions redondées sur un réseau TDMA

Mots clés : *Tolérance aux Fautes, TDMA, Station Redondante, Réseau Embarqué, X-by-Wire, TTP/C.*

Participants : Bruno Gaujal, Nicolas Navet.

Une unité tolérante aux fautes (Fault-Tolerant Units - FTU) est un ensemble de stations réalisant la même fonction. Dans [20][30], nous avons étudié comment utiliser de façon optimale des FTU pour se prémunir contre des perturbations en rafales sur un réseau de type TDMA. Deux objectifs différents correspondant à des situations bien identifiées en sûreté de fonctionnement sont considérés. Si l'on veut minimiser la probabilité de perdre toutes les répliques d'un même message, la politique optimale est de répartir la transmission des

répliques dans le temps. La preuve utilise des propriétés de convexité de la probabilité de perte. Ce résultat est valable lorsque le nombre de cardinalités des FTU (la cardinalité d'une FTU est le nombre de stations redondantes qui la compose) prend au plus deux valeurs différentes ou lorsque les cardinalités sont toutes des puissances de 2. Dans les autres cas, nous avons proposé une heuristique de faible complexité qui s'est révélée très efficace sur nos expérimentations. L'autre objectif qui peut être recherché est de minimiser la probabilité de perdre une réplique ou plus ; la solution optimale est alors de transmettre les répliques regroupées dans le temps. La preuve est basée sur une technique de majoration. Finalement, nous avons adapté ces résultats au cas particulier du protocole TTP/C.

6.3.7. Conception d'un middleware automobile

Mots clés : *Middleware, Ordonnancement, Multiplexage Véhicule, Heuristique.*

Participants : Paolo Castelpietra, Nicolas Navet, Ricardo dos Santos-Marques, Françoise Simonot-Lion.

Dans le cadre du projet ITEA EAST-EEA, 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 utilisées pour spécifier les mécanismes implémentant ces services.

La messagerie d'une application embarquée dans un véhicule doit respecter deux contraintes principales : elle doit d'abord être faisable d'un point de vue ordonnancement et elle doit minimiser, dans la mesure du possible, la consommation de bande passante. Ce dernier point est important pour permettre l'emploi de composants électroniques à faible coût et favoriser une conception incrémentale des applications. Ce problème de construction de messagerie s'apparente à un problème de « bin-packing » et est NP-complet. Nous avons proposé dans [42][70] deux heuristiques pour apporter une solution à ce problème et en avons évalué la complexité et les performances. Les stratégies proposées sont complémentaires, la première est utilisable sur des problèmes de grande taille (dans le contexte du multiplexage véhicule), la seconde, plus efficace sur nos tests, ne peut être appliquée que sur des problèmes de taille restreinte (moins de 12 signaux par ECU). Nos propositions se sont révélées plus performantes que des stratégies directement issues du bin-packing (*Best-Fit decreasing* et *First-fit decreasing*).

6.3.8. Evaluation de la fiabilité d'une architecture opérationnelle de contrôle-commande

Mots clés : *Fiabilité, Sûreté de fonctionnement, Systèmes Distribués de Contrôle, Architecture Tolérante aux Fautes.*

Participants : Fabrice Jumel, Nicolas Navet, Françoise Simonot-Lion, Cedric Wilwert.

Notre objectif est d'évaluer l'impact des choix de conception sur la sûreté de fonctionnement d'applications de contrôle-commande. Dans [34], nous montrons sur l'exemple de la régulation d'une cuve d'eau comment lier la probabilité d'apparition d'une erreur de contrôle avec la probabilité de défaillance du système en connaissant la dynamique du système régulé et les algorithmes de contrôle. Précisément, nous avons calculé, sous certaines hypothèses de pire cas, les deux métriques de fiabilité que sont le temps moyen entre deux défaillances du système et la probabilité de défaillance en une heure de fonctionnement.

L'évaluation de la fiabilité de l'architecture informatique embarquée est devenue critique dans l'automobile en raison des nouveaux problèmes posés par le X-by-Wire (contrôle des différentes fonctions comme le freinage sans liaison mécanique). Aussi, les travaux précédents seront généralisés dans le cadre de la thèse de Cédric Wilwert (Equipe de Recherche Technologique CARAMELS)

6.3.9. Techniques d'évaluation de temps de réponse pour la garantie de la QoS temps réel

Mots clés : *Ethernet commuté, évaluation de délai, Processus de Markov, Network Calculus.*

Participants : Anis Koubâa, Liping Lu, Anatoli Manita [Université d'État Lomonossov - Moscou], François Simonot [IECN - Nancy], YeQiong Song, Zhi Wang.

Le réseau « Ethernet commuté » est de plus en plus utilisé pour substituer en partie les traditionnels bus de terrain (WorldFIP, Profibus, FieldBus Foundation, etc.) afin de 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).

Grâce à la commutation et à la transmission « full-duplex », en s'affranchissant ainsi des occurrences de collision, Ethernet n'est plus un réseau local non-déterministe. Actuellement, des groupes d'utilisateurs et d'équipementiers réseaux se sont fédérés autour d'associations (IAONA, IEA,...) pour promouvoir le déploiement du réseau Ethernet et l'utilisation de la technologie Internet dans des environnements industriels temps-réel. Notre objectif de recherche dans ce contexte est d'évaluer les temps de réponse pour fournir la garantie de la Qualité de Service temps réel.

Dans [45], nous avons analysé comment un commutateur Ethernet peut fournir une garantie du respect des contraintes de temps strictes et souples. Pour le trafic périodique, la formule pour l'évaluation du pire temps de réponse est donnée en étendant les résultats de [82] dans le cas multi-sources par priorité et échéance quelconque. Pour le trafic aperiodique, la prise en compte de la contrainte sur l'intervalle minimal d'interarrivée des trames Ethernet rend difficile la caractérisation du flux par un processus de Markov ; aussi, dans un premier temps, nous l'avons approché par un flux Poissonnien pour la borne supérieure et un flux Binomial pour la borne inférieure. La distribution de probabilité du temps d'attente est donnée pour les deux flux. Le fait qu'un flux Poissonnien borne supérieurement le vrai trafic nous a permis de l'utiliser pour étudier le cas avec priorité [38].

En collaboration avec Anatoli Manita (Université d'État Lomonossov) et François Simonot (UHP - IECN), nous avons réussi par la suite à décrire ce flux par un processus Markovien multidimensionnel. Ce modèle est ensuite résolu par une approche asymptotique pour fournir la distribution de probabilité du temps d'attente dans un commutateur Ethernet. La comparaison numérique avec le cas de Binomial montre l'excellente qualité de cette approche [66].

L'évaluation des performances d'une architecture où Ethernet et Bus de terrain co-existent relève de travaux réalisés dans le cadre de la collaboration avec le National Laboratory of Industrial Control Technology de l'Université de Zhejiang (Chine) dans le cadre du programme de recherches avancées Franco-Chinois (PRA SI01-04). En considérant un système de contrôle distribué et les contraintes temporelles des équipements de terrain (temps de réponse, giges et synchronisation), une méthode analytique pour l'évaluation du pire temps de réponse de la messagerie aperiodique de WorldFIP [57] et une analyse des méthodes d'ordonnancement de la table de scrutation de Fieldbus Foundation [58] ont été réalisées. L'utilisation de Ethernet dans ce contexte a également été évaluée [55]. Ces premiers résultats contribuent à la résolution du problème de l'évaluation d'architectures de communication industrielles complexes.

7. Contrats industriels

7.1. Contrat PSA - modélisation - validation des applications d'automatisation de lignes de production

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

De février 1999 à janvier 2002, la thèse de Domenico Cavaliere s'est déroulée dans le cadre d'une convention CIFRE avec la société PSA. L'objectif était de proposer une méthode de modélisation - validation des applications distribuées d'automatisation des lignes de production. Le résultat a été la définition de la notion de composant réutilisable et de leurs caractéristiques, de leur composition au sein de l'application et de 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 [12].

7.2. Contrat PSA - Sûreté des Réseaux Embarqués

Participants : Fabrice Jumel, Nicolas Navet, Françoise Simonot-Lion, YeQiong Song, Cédric Wilwert.

Ce contrat passé avec la Société PSA se situe dans le contexte de l'Équipe de Recherche Technologique CAMELS et de la thèse de Cédric Wilwert. L'objectif a été de réaliser, dans un premier temps, une analyse des systèmes de communication des architectures matérielles informatiques embarquées une synthèse comparative des systèmes étudiés [74]. Il s'agit, ensuite de spécifier une méthodologie qui permet à l'architecture de communication de garantir les propriétés de sûreté requise par les applications embarquées.

8. Actions régionales, nationales et internationales

8.1. Actions nationales

8.1.1. *Projet DEPIC - Détection Précoce d'Infection Cutanée*

Participant : Jean-Pierre Thomesse.

Ce projet financé dans le cadre du RNTS consiste à développer un système intelligent d'acquisition de données pour détecter au plus tôt les risques de péritonite chez les insuffisants rénaux soignés par dialyse péritonéale. L'intérêt de ce projet pour l'équipe réside dans la définition et la formalisation de protocoles médicaux autour des technologies Internet. Les publications ne sont pas à l'ordre du jour car une stratégie de propriété industrielle et de dépôt de brevet est actuellement préconisée par les partenaires.

8.2. Actions européennes

8.2.1. *Projet européen ITEA EAST-EEA*

Participants : Paolo Castelpietra, Orazio Gurrieri, Nicolas Navet, Gerardo Satriano, Françoise Simonot-Lion.

Le projet EAST-EEA est un projet ITEA européen. Ce projet, a démarré en juillet 2001, pour une durée de trois ans. Il est consacré aux systèmes embarqués (mécanismes exécutifs et modélisation / validation / tests). Il inclut les principaux acteurs de l'industrie automobile en Europe (PSA, Renault, Audi, BMW, Daimler-Chrysler, Opel, Volvo, Fiat, Bosch, Magnetti Marelli, Valeo, Etas, Vector, Siemens VDO) ainsi que des laboratoires (Université de Paderborn, Université Royale de Stockholm, KTH University de Stockholm, TU de Berlin, IRCCyN Nantes). Ce projet fait actuellement partie de l'action AEE de Recherche et Développement de l'INRIA [63][71][16].

8.2.2. *PROTEUS*

Participants : Xavier Rebeuf, Jean-Pierre Thomesse.

Le projet Proteus (1/10/02 - 28/02/05) est un projet ITEA franco-allemand pour la définition d'une plate-forme générique de maintenance à distance de procédés industriels et de transport. Les partenaires Français sont Cegelec, Schneider, Pertinence, ARC Informatique, TIL, LAB, LORIA, LIP6 et les partenaires Allemands Cegelec GmbH, AKN, TU München, IBS, Fgh Cottbus, IFAK. Au LORIA, sont impliquées trois équipes TRIO, Langue & Dialogue et MAIA. Les activités pour le LORIA en 2002 ont essentiellement concerné la définition des objectifs et de l'architecture de la plate-forme de démonstration.

8.3. 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.

Depuis 1994, nous collaborons avec le Professeur José Alberto Fonseca de l'Université d'Aveiro (Portugal). Cette collaboration s'est concrétisée cette année par une proposition de projet bilatéral dans le domaine de

la qualité de service des réseaux temps réel, ainsi que par l'organisation des prochaines conférences IFAC SICICA et FET à Aveiro en juillet 2003.

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 a accueilli en 2002 4 stagiaires (stages de Master) pour travailler sur les politiques $(m, k) - firm$ et sur l'adjonction de fonctionnalités à l'outil XTIOSM [69][41][32].

La collaboration avec l'Université de Rosario (Argentine) s'est traduite en 2002 par un séjour de deux mois du professeur Sergio Junco pour travailler sur la spécification des notions de Qualité de Service applicative et liée aux mécanismes exécutifs ; cette collaboration se concrétise par une proposition qui sera soumise au conseil des opérations QSL en 2003 et dont l'objectif est d'unifier les concepts de l'automatique et de l'informatique dans le cadre de la qualité de service. Par ailleurs, Jean-Pierre Thomesse a été désigné comme expert pour évaluer le projet scientifique de l'Université de Buenos Aires.

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

Dans le cadre du programme PRA (Programme de Recherche Avancée) Franco-Chinois, nous avons coopéré avec le Professeur Gangyan Li, Liping Lu et Haysong Jin de l'Université Technologique de Wuhan (projet PRA SI99-04) sur la problématique des systèmes embarqués dans l'automobile [48] et sur l'analyse de réseaux sur courant porteur. Un deuxième programme a démarré en 2002 (PRA SI01-04) en partenariat avec le professeur associé Wang Zhi de l'Université de Zhejiang sur l'évaluation de performances des réseaux industriels [55][57][56][58]. Ce programme s'est traduit par des échanges bilatéraux. D'une part, Zhi Wang a passé deux mois dans l'équipe et, d'autre part, YeQiong Song, Xavier Rebeuf et Françoise Simonot-Lion ont effectué un séjour d'une semaine dans cette Université et participé à un Workshop national organisé par Zhi Wang [47][44][40].

Gülgün Alpan continue à collaborer avec Itir Karaesmen (Université de Carnegie Mellon et Université de Maryland depuis septembre 2002) dans le cadre d'une bourse du Carnegie Bosch Institute sur la gestion des stocks dans des chaînes internationales d'approvisionnements avec une application dans le secteur automobile. La bourse est prolongée en 2003.

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 (octobre - décembre 2002).

Enfin, TRIO est partenaire d'une coopération du LORIA avec l'Université de Tunis II. Cette coopération s'est concrétisée par le séjour de deux semaines de Adel Khalfallah, Maître de Conférences à l'Université de Tunis afin de développer un programme de recherche coopératif sur les styles architecturaux (« design pattern ») dans le domaine de la conception d'architectures temps réel.

8.4. Visites, et invitations de chercheurs

En 2002, le projet TRIO a accueilli les personnes suivantes :

- Sergio Junco, Professeur à l'Université de Rosario (Argentine) (juin-juillet 2002),
- Anatoli Manita, Maître de Conférences à l'Université d'État Lomonossov (Moscou, Russie) (juin-juillet 2002),
- Alessandro Giua, Professeur à l'Université de Cagliari (Italie) (juillet 2002),
- Adel Khalfallah, Maître de Conférences à l'Université de Tunis II (juin 2002),
- Rahel Romadi, Maître de Conférences à l'ENSIAS de Rabat (Maroc) (octobre-décembre 2002),
- Bartek Blaszczyszyn du projet TREK de l'INRIA a donné une conférence dans le projet TRIO en Octobre 2002.

9. Diffusion des résultats

9.1. Animation de la Communauté scientifique

- Plusieurs membres de TRIO participent de façon active aux GDR ARP STRQdS, Ordo ainsi qu'à « Réseaux Grand Est »,
- Françoise Simonot-Lion est co-responsable avec François Vernadat (LAAS Toulouse) du thème « Qualité de Service des Systèmes Temps Réel » du GDR ARP (à partir de Janvier 2002),
- Françoise Simonot-Lion est membre du comité de pilotage du Réseau Thématique Prioritaire 20 du CNRS (« Fiabilité, Diagnostic, Tolérance aux Fautes »),
- Jean-Pierre Thomesse est membre du comité de pilotage de l'Action Spécifique 01 du CNRS « Automatique et Télécommunications »,
- Jean-Pierre Thomesse a été co-organisateur de congrès HealthCom 2002 organisé à Nancy en juin 2002,
- Les membres permanents de TRIO font partie des comités de programme de plusieurs conférences (FET 2003, SICICA 2003, RTS'02, RTS'03, MSR'03, SLENB2003) et de l'École Temps Réel du CNRS ETR03 ; Xavier Rebeuf est co-responsable du comité d'organisation de MSR'2003 qui aura lieu à Metz en octobre 2003,
- Jean-Pierre Thomesse a organisé une session invitée « Fieldbus and Fieldbus based systems » au Congrès Mondial IFAC (Barcelone, 2002),
- Françoise Simonot-Lion et Jean-Pierre Thomesse sont membres du Comité de programme du numéro spécial « Temps Réel » de la revue TSI,
- Françoise Simonot-Lion et Jean-Pierre Thomesse sont relecteurs de la revue TSI, Françoise Simonot-Lion et YeQiong Song de IEEE Transactions on Industrial Electronics, Gülgün Alpan-Gaujaj et Françoise Simonot-Lion de IEEE Transactions on Robotics and Automation,
- YeQiong Song est relecteur de Computer Communications et de Control Engineering and Practice, Bruno Gaujal de Journal of Discrete Event Dynamic Systems, Nicolas Navet de IEEE Transactions on Computers et IEE Proceedings Software,
- Françoise Simonot-Lion est membre du comité des projets INRIA-Lorraine, Bruno Gaujal est membre suppléant élu de la commission d'évaluation de l'INRIA,
- Jean-Pierre Thomesse est membre du comité d'orientation scientifique du LORIA et du bureau du DFD Informatique de Lorraine,
- YeQiong Song fait partie du Conseil des Opérations de QSL,
- Emmanuel Hyon a été membre du conseil de laboratoire jusqu'en octobre 2002,
- 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. 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 aux cours de DEA Informatique de Nancy, de l'ENS-Lyon et du DEA Algorithmique de l'Université Paris VI.
- Nicolas Navet donne des cours d'ordonnancement temps réel dans le DEA d'Informatique de Lorraine, il intervient également à l'ENSEM et à l'ESIAL.

10. Bibliographie

Bibliographie de référence

- [1] E. ALTMAN, B. GAUJAL, A. HORDIJK. *Multimodularity, Convexity and Optimization Properties*. in « Mathematics of Operations Research », numéro 2, volume 25, 2000, pages 324-347.
- [2] F. BACCELLI, S. FOSS, B. GAUJAL. *Free Choice Nets, An algebraic Approach*. in « IEEE Transaction on Automatic Control », numéro 12, volume 41, 1996, pages 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 », série IFIP, Kluwer Academic Publishers, 1999, chapitre 4, pages 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*. in « IEEE Transactions on Communications », numéro 2/3/4, volume 43, avril, 1995, pages 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 », pages 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 », série Parallélisme, réseaux et répartition, Hermès, 1995, pages 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 », pages 91-96, septembre, 1995.

Livres et monographies

- [11] *Enterprise Networking and Computing in Health Care Industry*. juin, 2002, ISBN 2-7261-1228-5.

Thèses et habilitations à diriger des recherche

- [12] D. CAVALIERE. *DAMeSI : un profil UML pour l'évaluation de performances des systèmes d'automatisation distribués*. Thèse d'université, INPL, juin, 2002.

- [13] E. HYON. *Contrôle d'admission en boucle ouverte dans les réseaux*. Thèse d'université, Institut National Polytechnique de Lorraine, décembre, 2002.

Articles et chapitres de livre

- [14] G. ALPAN, M. JAFARI. *Synthesis of a closed-loop combined plant and controller model*. in « IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B », numéro 2, volume 32, avril, 2002, pages 163-175.
- [15] E. ALTMAN, B. GAUJAL, A. HORDIJK. *Regular Ordering and Applications in Control Policies*. in « Journal of Discrete Event Dynamic Systems », numéro 2, volume 12, janvier, 2002, pages 187-210.
- [16] P. CASTELPIETRA, Y.-Q. SONG, F. SIMONOT-LION, M. ATTIA. *Analysis and simulation methods for performance evaluation of a multiple networked embedded architecture*. in « IEEE Transactions on Industrial Electronics », 2002.
- [17] B. GAUJAL, S. HAAR, J. MAIRESSE. *Blocking a transition in a Free Choice net and what it tells about its throughput*. in « Journal of Computer and System Sciences », décembre, 2002.
- [18] B. GAUJAL, E. HYON. *Optimal routing in several deterministic queues with two service times*. in « Journal Européen des systèmes automatisés », numéro 7, volume 36, juin, 2002, pages 945-957.
- [19] B. GAUJAL, N. NAVET. *Fault confinement mechanisms on CAN : analysis and improvements*. in « IEEE Transactions On Vehicular Technology », mai, 2002.
- [20] B. GAUJAL, N. NAVET. *Maximizing the Robustness of TDMA Networks with Applications to TTP/C*. in « Real-Time Systems », novembre, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4614.html>, version préliminaire disponible comme rapport Inria RR-4614.
- [21] F. JUMEL, N. NAVET, F. SIMONOT-LION. *Nouvelles politiques pour la réservation explicite de ressources en avance*. in « Technique et Science Informatiques », août, 2002, Numéro spécial sur le temps réel.
- [22] N. NAVET, J.-P. THOMESSE. *L'ordonnancement, la clé d'une gestion efficace des ressources*. in « J'automatise », numéro 24, septembre, 2002, <http://www.loria.fr/publications/2002/A02-R-342/A02-R-342.ps>.
- [23] F. SIMONOT-LION, J.-P. ELLOY, Y. TRINQUET. *AIL_Transport : Un langage de description d'architecture électronique embarquée dans l'automobile*. in « Veille Technologique », numéro 45, juin, 2002, pages 34-36.
- [24] F. SIMONOT-LION, L. KAISER, R. SANTOS MARQUES. *Formal Method for Timed Tests Sequences Generation*. in « Journal Européen des Systèmes Automatisés », numéro 7, volume 36, octobre, 2002, pages 1001-1013.
- [25] J. P. THOMESSE. *TISSAD, Technologies de l'information intégrées aux services des soins à domicile*. in « Informatique et Santé », février, 2002.

- [26] J.-P. THOMESSE. *Le télémonitorage au domicile des patients à risque : les projets Diatélic et THISSAD*. in « Techniques Hospitalières », numéro 665, avril, 2002, pages 70.
- [27] J.-P. THOMESSE. *Les réseaux de terrain*. éditeurs L. LORON., in « Perspectives technologiques en commande des systèmes électriques », Hermes, août, 2002, chapitre 7.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [28] G. ALPAN, B. GAUJAL. *Optimal routing in timed continuous Petri nets applied to scheduling assignment problems*. in « IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 2002 - IEEE SMC 2002, Hammametn, Tunisia », éditeurs IEEE., octobre, 2002.
- [29] B. GAUJAL, A. GIUA. *Optimal routing of continuous timed Petri nets*. in « 15th IFAC World Congress on Automatic Control - B'02, Barcelona, Spain », juillet, 2002, <http://www.loria.fr/publications/2002/A02-R-320/A02-R-320.ps>.
- [30] B. GAUJAL, E. HYON. *Optimal Routing Policies in Deterministic Queues in Tandem*. in « 6th International Workshop on Discrete Event Systems 2002 - WODES'02, Saragosse, Spain », éditeurs IEEE., pages 251-257, octobre, 2002.
- [31] B. GAUJAL, E. HYON, A. JEAN-MARIE. *Routage en boucle ouverte dans deux files ./M/1 en parallèle*. in « 4èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications - AlgoTel 2002, Mèze, France », éditeurs INRIA., pages 59-66, mai, 2002.
- [32] O. GURRIERI, X. REBEUF, F. SIMONOT-LION. *Function Block Temporal Behaviour Modelling*. in « 2002 IEEE International Symposium on Industrial Electronics - IEEE-ISIE'2002, L'Aquila, Italy », juillet, 2002.
- [33] S. HAAR, L. KAISER, F. SIMONOT-LION, J. TOUSSAINT. *Equivalence of Timed State Machines and safe TPN*. in « 6th International Workshop on Discrete Event Systems -WODES'02, Zaragoza, Spain », éditeurs J. M. C. MANUEL SILVA., pages 119-126, octobre, 2002.
- [34] F. JUMEL, N. NAVET, F. SIMONOT-LION. *Influence des performances d'une architecture informatique sur la fiabilité des systèmes échantillonnés*. in « Real-Time Systems and Embedded Systems 2003 - RTS, Paris, France », Avril, 2002.
- [35] F. JUMEL, F. SIMONOT-LION. *Management of 'anytime' tasks in 'real time' applications*. in « XIV Workshop on Supervising and Diagnostics of Machining Systems, Karpacz, Poland », mars, 2002.
- [36] L. KAISER, F. SIMONOT-LION. *D'un formalisme à l'autre : entre TIOSM et SDL*. in « 10th Conference on Real Time and Embedded Systems, Paris, France », mars, 2002.
- [37] A. KOUBAA, A. JARRAYA, Y. SONG. *SBM protocol for providing real-time QoS in Ethernet LANs*. in « 1st International Workshop on Real-Time LANs in the Internet Age - RTLIA'2002, Vienna, Austria », pages 45-49, juin, 2002.
- [38] A. KOUBAA, Y. SONG. *Evaluation de performances d'Ethernet commuté pour des applications temps réel*. in « 10th International Conference on Real Time and Embedded Systems - RTS '2002, Paris, France », mars,

2002.

- [39] M. LEON CHAVEZ, J.-P. THOMESSE. *Quality of service in industrial applications*. in « 2nd International Conference on Automatic Control - Automatica 2002 - AUT'02, Santiago de Cuba, Cuba », juillet, 2002.
- [40] X. REBEUF. *Introducing Behavior in Function Blocks*. in « Séminaire Zhejiang University, Zhejiang University, Zhejiang, China », octobre, 2002, <http://www.loria.fr/publications/2002/A02-R-287/A02-R-287.ps>.
- [41] X. REBEUF, G. SATTRIANO, F. SIMONOT-LION. *A Distributed Algorithm for the Validation of Timed State Machines*. in « 6th International Conference On Principles Of Distributed Systems - OPODIS'02, Reims, France », décembre, 2002, <http://www.loria.fr/publications/2002/A02-R-267/A02-R-267.ps>.
- [42] R. SANTOS MARQUES, N. NAVET, F. SIMONOT-LION. *Construction de trames sous contraintes temps réel*. in « , Paris, France », Avril, 2002.
- [43] F. SIMONOT-LION, J.-P. ELLOY. *An Architecture Description Language for In-Vehicle Embedded System Development*. in « 15th Triennial World Congress of the International Federation of Automatic Control Barcelona 2002 - B'02, Barcelona, Spain », Elsevier Science, éditeurs J.-A. D. L. P. E.F.CAMACHO., juillet, 2002.
- [44] F. SIMONOT-LION. *Validation of Real Time Applications*. in « Séminaire Zhejiang University , Zhejiang, China, », octobre, 2002, <http://www.loria.fr/publications/2002/A02-R-238/A02-R-238.ps>.
- [45] Y. SONG, A. KOUBAA, F. SIMONOT. *Switched Ethernet For Real-Time Industrial Communication : Modelling And Message Buffering Delay Evaluation*. in « 4th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems - WFCS'2002, Vasteras, Sweden », éditeurs IEEE., pages 27-35, août, 2002.
- [46] Y. SONG. *Ethernet commuté pour applications temps réel*. in « Ecole d'informatique temps réel - IN2P3-CNRS, La Londe les Maures, France », septembre, 2002.
- [47] Y. SONG. *Matrix-DBP for (m,k)-firm real time guarantee*. in « Séminaire du Programme de Recherches Avancées Franco-Chinois PRA SI01-04, Zhejiang University, China », octobre, 2002.
- [48] Y. SONG. *Real-time communications in distributed control systems*. in « Sino-French PRA (Programme de Recherches Avancées) workshop on Information Science and Technology, Beijing, China », novembre, 2002.
- [49] J.-P. THOMESSE. *Fieldbuses and Quality of Service*. in « 5th Portuguese Conference on Automatic Control - Controlo 2002, Aveiro, Portugal », pages 10-14, septembre, 2002.
- [50] J.-P. THOMESSE. *Le télémonitorage au domicile des patients à risque, Diatélic et THISSAD*. in « 3ème Journée de la Société Française de Gériatrie et Gérontologie, Faculté de médecine de Bobigny », janvier, 2002.
- [51] J.-P. THOMESSE. *LORIA Computer Science and health related activities*. in « Journée d'études Promotech, Villers-lès-Nancy, France », avril, 2002, <http://www.loria.fr/publications/2002/A02-R-325/A02-R-325.ps>.

- [52] J.-P. THOMESSE. *Open issues in fieldbus based systems*. in « 15th Triennial World Congress of the International Federation of Automatic Control Barcelona 2002 - B'02, Barcelona, Spain », juillet, 2002.
- [53] J.-P. THOMESSE. *TISSAD, Technologies de l'information intégrées aux services des soins à domicile*. in « Colloque Hôpital Pompidou , Hôpital Pompidou, Paris, France », juin, 2002.
- [54] L. VEGA, J.-P. THOMESSE. *Diatélic, télésurveillance de dialysés à domicile*. in « 3ème e-Colloque Interrégional de Télémedecine 2002, Lille, France », septembre, 2002.
- [55] Z. WANG, Y. SONG, J. CHEN, Y. SUN. *Real time Characteristics of Ethernet and its improvement*. in « 4th World Congress on Intelligent Control and Automation - WCICA'2002, Shanghai, China », volume 2, pages 1311-1318, juin, 2002.
- [56] Z. WANG, Y. SONG, E.-M. POGGI, Y. SUN. *Survey of Weakly-Hard Real Time Schedule Theory and Its Application*. in « International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science - DCABES'2002, Wuxi, China », décembre, 2002.
- [57] Z. WANG, Y. SONG, H.-B. YU, Y. SUN. *Worst-case response time of aperiodic message in WorldFIP*. in « 15th Triennial World Congress of the International Federation of Automatic Control Barcelona 2002 - B'02, Barcelona, Spain », juillet, 2002.
- [58] Z. WANG, Z. YUE, J. CHEN, Y. SONG, Y. SUN. *Realtime characteristic of FF like centralized control fieldbus and its state-of-art*. in « 2002 IEEE International Symposium on Industrial Electronics - ISIE'2002, Aquila, Italy », volume 1, pages 140-145, juillet, 2002.

Rapports de recherche et publications internes

- [59] P. CASTELPIETRA, J. MIGGE, E. SILVA. *AIL, AIML and XML in the AEE Project*. Rapport technique, avril, 2002.
- [60] P. CASTELPIETRA, F. SIMONOT-LION, O. PERRIN. *Objects - Models - Meta models in EAST Project*. Rapport technique, mai, 2002.
- [61] B. GAUJAL, A. GIUA. *Timed continuous Petri nets and optimization via linear programming*. Rapport de recherche, INRIA, octobre, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4583.html>.
- [62] B. GAUJAL, E. HYON. *Optimal routing in deterministic queues in tandem*. Rapport de recherche, INRIA, mars, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4393.html>.
- [63] O. GURRIERI, P. CASTELPIETRA, O. BARRIERE. *Using EAST-ADL with GME 2000*. Rapport technique, novembre, 2002.
- [64] A. KOU BAA, Y. SONG. *Upper Bound Evaluation of Response Time For Real-Time Communication*. Rapport de recherche, octobre, 2002, soumis à RTS2003.

- [65] L. LU. *QoS and Performance Evaluation of Powerline Communication Networks*. Master Thesis of Wuhan University of Technology, mai, 2002.
- [66] A. MANITA, Y. SONG, F. SIMONOT. *Asymptotic approach to the performance evaluation with application to some model of real-time communication device*. Rapport de recherche, juillet, 2002.
- [67] E. MELIN, B. RAFFIN, X. REBEUF, B. VIROT. *A symbolic cost model for asynchronous parallel programs with structured dependences*. Rapport de recherche, avril, 2002.
- [68] J. MIGGE, F. SIMONOT-LION, J.-P. ELLOY, Y. TRINQUET. *AIL_Transport, User Manual V3*. Rapport de fin de contrat, Ministère de l'Industrie, juillet, 2002.
- [69] E. POGGI, Y. SONG, A. KOUBAA, Z. WANG. *Matrix-DBP For (m, k)-firm Real-Time Guarantee*. Rapport de recherche, octobre, 2002, soumis à RTS2003.
- [70] R. SANTOS MARQUES. *Proposition d'un middleware tolérant aux fautes dans le contexte des applications embarquées dans les automobiles*. Stage de DEA, LORIA - INPL, juillet, 2002.
- [71] F. SIMONOT-LION, P. CASTELPIETRA, O. GURRIERI. *Proposal for Feature Requirement Modelling at Project Layer*. Rapport technique, novembre, 2002.
- [72] C. WILWERT, F. GAILLIEGUE, A. CHARLOIS. *Les services réseaux pour les systèmes X-by-Wire*. rapport technique, avril, 2002.
- [73] C. WILWERT, Y.-Q. SONG, A. CHARLOIS. *Tolérance aux fautes dans les architectures X-by-Wire*. rapport technique, mars, 2002.
- [74] C. WILWERT. *Analyse des protocoles de communication destinés aux systèmes embarqués de type « X-by-Wire » en vue de la Sécurité de Fonctionnement*. Rapport de fin de contrat, avril, 2002.

Divers

- [75] J. P. THOMESSE. *Rapport THISSAD*. janvier, 2002.

Bibliographie générale

- [76] E. ALTMAN, B. GAUJAL, A. HORIDJK. *Admission Control in Stochastic Event Graphs*. in « IEEE Transactions on Automatic Control », numéro 5, volume 45, juillet, 2000, pages 854-867.
- [77] 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>.
- [78] G. BERNAT, A. BURNS. *Weakly-Hard Real-Time Systems*. in « IEEE Transactions on Computers », numéro 4, volume 50, April, 2001, pages 308-321.

-
- [79] A. CERVIN. *Towards the integration of control and real-time scheduling design*. thèse de doctorat, Lund University, Lund, Sweden, 2000.
- [80] M. HAMDAOUI, P. RAMANATHAN. *A dynamic priority assignment technique for streams with (m, k)-firm deadlines*. in « IEEE Transactions on Computers », volume 44, December, 1995, pages 1443-1451.
- [81] G. LE LANN. *Predictability in Critical Systems*. in « Formal Techniques in Real-Time and Fault-Tolerant Systems », 1998.
- [82] J. LEHOCZKY. *Fixed priority scheduling of periodic task sets with arbitrary deadlines*. in « Proc. of IEEE Real-time systems symposium, IEEE Computer Press », pages 201-209, 1990.
- [83] J. MIGGE. *Scheduling of recurrent tasks on one processor : a trajectory based model*. Thèse d'université, Université de Nice, 1999.
- [84] N. NAVET. *Evaluation de performances temporelles et optimisation de l'ordonnancement de tâches et de messages*. Thèse d'université INPL, Nancy, 1999.
- [85] K. RAMAMRITHAM. *Where do time constraints come from and where do they go ?*. in « International Journal of Database Management », numéro 2, volume 7, 1996.
- [86] P. RAMANATHAN. *Overload management in Real-Time control applications using (m, k)-firm guarantee*. in « IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems », numéro 6, volume 10, June, 1999, pages 549-559.
- [87] J. STANKOVIC, K. BURNS, 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*. in « ACM Computing Surveys », numéro 4, volume 28, 1996.
- [88] S. VESTAL. *A cursory Overview and Comparison of four Architectural Description Languages*. Technical Report, february, 1993.