

Avant-projet TRIO

Temps Réel et InterOpérabilité

Nancy

THÈME 1B



*R*apport
*d'*Activité

2000

Table des matières

1	Composition de l'équipe	3
2	Présentation et objectifs généraux	4
3	Fondements scientifiques	5
4	Domaines d'applications	8
5	Logiciels	8
5.1	XTIOSM	8
5.2	CAROSSE	9
5.3	Extensions de ERS	9
6	Résultats nouveaux	9
6.1	Mécanismes exécutifs et protocoles	9
6.1.1	Qualité de Service et Ordonnancement dans les Systèmes de Communication Temps Réel	10
6.1.2	Qualité de service, mécanismes de négociation	10
6.1.3	Optimisation dans les réseaux	11
6.1.4	Etude du protocole WAP et des performances du réseau mobile GPRS .	12
6.1.5	Messageries multimédia	12
6.2	Procédés de modélisation	13
6.2.1	Modélisation d'applications de supervision dans le domaine manufacturier	13
6.2.2	Modélisation d'applications embarquées dans l'automobile	13
6.2.3	Interopérabilité de capteurs : spécification et validation	15
6.3	Formalismes et techniques de vérification	15
6.3.1	Sémantique des Réseaux de Petri temporisés	15
6.3.2	Génération formelle de séquences de tests temporisés par testeur dynamique	16
6.3.3	Temps de couplage de systèmes (max,+)	17
6.3.4	Analyse des réseaux de Petri temporisés	17
6.3.5	Représentation minimale de systèmes à événements discrets	18
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	18
7.1	Projet CAROSSE	18
7.2	Contrat PSA	18
7.3	Projet "Architecture Electronique Embarquée"	18
8	Actions régionales, nationales et internationales	19
8.1	Actions régionales	19
8.2	Actions nationales	19
8.2.1	Action Maddes	19
8.3	Actions européennes	20

8.3.1	Action Alapedes	20
8.3.2	Projet EP 26951 NOAH	20
8.4	Actions internationales	20
8.5	Visites, et invitations de chercheurs	21
9	Diffusion de résultats	21
9.1	Animation de la Communauté scientifique	21
9.2	Enseignement	22
10	Bibliographie	22

TRIO est un avant-projet du LORIA (UMR 7503) commun au CNRS, à l'INRIA, à l'université Henri POINCARÉ Nancy 1, à l'université Nancy 2 et à l'Institut National Polytechnique de Lorraine.

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

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

Responsable permanent

Bruno Gaujal [Chargé de Recherche à l'INRIA]

Secrétaire

Micheline Dalbourg [INPL jusqu'au 15/03/00]

Josette Contal [INPL à partir du 15/03/00]

Personnel Université

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

YeQiong Song [Maître de Conférences à l'UHP Nancy I]

Michel Dufner [Professeur certifié à l'INPL]

Personnel INRIA

Nicolas Navet [Chargé de Recherche]

Chercheurs extérieurs

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

Chercheurs doctorants

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

Gladys Diaz [ATER jusqu'au 30/06/00]

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

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

Laurent Kaiser [Boursier MENESR et moniteur Université de Metz jusqu'au 30/10/00]

Miguel Angel Leòn Chavez [Boursier du gouvernement Mexicain jusqu'au 30/10/00]

Ingénieur expert

Paolo Castelpietra [Chercheur FIRTECH convention PSA]

Olivier Jaray [Ingénieur projet NOAH jusqu'au 30/06/00]

Jörn Migge [Ingénieur projet AEE depuis le 01/04/99]

Stagiaires

Tiziana Mastrotti [Stagiaire Master Of Sciences Université de La Sapienza (Rome) jusqu'au 01/07/00]

Paolo Spagnoletti [Stagiaire Master Of Sciences Université de La Sapienza (Rome)]

Mohamed Lahrech [Stagiaire DEA informatique]

Anne Bouillard [Stagiaire ENS ULM]

Ricardo Santos-Marques [Stagiaire Master Of Sciences de l'Université de LISBOA (Portugal)]

2 Présentation et objectifs généraux

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

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

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

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

Les résultats de recherche de l'équipe sont diffusés notamment dans le contexte des systèmes embarqués dans l'automobile (Programme Predit2 " CAROSSE " projet "AEE ", dans celui des applications de pilotage-supervision d'une ligne manufacturière (PSA) et dans les applications de télésurveillance médicale (projet DIATELIC-Télésurveillance de Dialysés à domicile).

Enfin, par ses travaux sur l'interopérabilité et l'ingénierie système, l'équipe TRIO a contribué au projet européen EP 26951 NOAH, 1997-1999.

3 Fondements scientifiques

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

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

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

Pour les aborder, on construit souvent un modèle discret (état-transition) et on utilise les techniques de "model-checking" pour faire de la vérification de propriétés temporelles et de la génération de tests temporisés, mais aussi, lorsque cela est possible des méthodes d'analyses stochastiques et déterministes plus récentes qui ne nécessitent plus l'exploration de l'espace d'état: courbes de services, analyse trajectorielle, analyse idempotente.

Formalismes, techniques de vérification

La vérification de propriétés comportementales et temporelles, au sens du temps physique, d'une application distribuée se conduit par des techniques d'exploitation de modèles. Dans le cadre déterministe, on fait appel aux automates temporisés introduits par Alur [ACD90], 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 bi-simulation [42]. 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" [JJ93] 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 $(\max, +)$ [BGOQ92]. Cela nous permet de faire des calculs explicites de temps de réponse [BGS99].

Quand les caractéristiques du système ne sont pas entièrement connues, nous faisons appel à des hypothèses probabilistes puis nous cherchons à calculer les distributions des fonctions intéressantes du système, comme les temps de réponse. Dans une volonté de traiter des modèles réalistes, nous nous sommes éloignés du cadre Markovien strict. Nous avons utilisé un modèle d'erreur de transmission semi-Markovien pour les réseaux embarqués [Nav99]; nous avons étudié un trafic d'entrée indépendant et stationnaire pour faire des calculs de bornes sur les temps de réponse [Mig99] et nous avons développé des stratégies de contrôle d'admission sous des hypothèses de stationnarité, sans indépendance (en utilisant des méthodes de couplages trajectoires) [18].

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

-
- [ACD90] R. ALUR, C. COURCOUBETIS, D. DILL, «Model Checking for Real-Time Systems», in: *Proceedings 5th Annual Symposium on Logic in Computer Science*, I. C. S. Press (éditeur), p. 414–425, 1990.
 - [JJ93] C. JARD, T. JÉRON, «On the fly verification of finite transition systems», *Rapport interne*, IRISA, 1993.
 - [BGOQ92] F. BACCELLI, G. GOHEN, G. OLSDER, J.-P. QUADRAT, *Synchronization and Linearity*, Wiley, 1992.
 - [BGS99] F. BACCELLI, B. GAUJAL, D. SIMON, «Analysis of Preemptive Periodic Real Time Systems using the $(\max, +)$ Algebra with Applications in Robotics», *Rapport de recherche*, INRIA, Octobre 1999.
 - [Nav99] N. NAVET, *Evaluation de performances temporelles et optimisation de l'ordonnancement de tâches et de messages*, Thèse d'université impl, Nancy, 1999.
 - [Mig99] J. MIGGE, *Scheduling of recurrent tasks on one processor : a trajectory based model*, Thèse d'université, Université de Nice, 1999.

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

Nos travaux sur la modélisation ont pour objectif de prendre en considération les types de propriétés à prouver ainsi que les techniques support de la vérification afin de proposer des formalismes et procédés spécifiques de modélisation utilisables par un architecte de systèmes et surtout, pertinents pour les activités de vérification. Le terme "pertinent" pouvant par exemple, signifier que les politiques d'ordonnancement et les protocoles de communication doivent être modélisés précisément (temps réel dur), ou qu'on peut en faire abstraction sous certaines hypothèses. Bien entendu, tout modèle d'architecture doit être "traduit" dans chaque formalisme nécessaire à sa validation (réseaux de Petri, graphe d'événements, réseaux de files d'attente, ...) [SL99]. Ces mécanismes de traduction sont également un point d'études de TRIO. Enfin, notre expérience nous a conduit à aborder l'étude des procédés de modélisation, sous un angle "applicatif" ; c'est pourquoi, les travaux de recherche, dans cet axe, reposent essentiellement sur l'analyse de classes d'applications.

Mécanismes exécutifs temps réel

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

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

[SL99] F. SIMONOT-LION, *Une contribution à la modélisation et à la validation d'architectures temps réel*, thèse de doctorat, LORIA INPL, 1999.

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

4 Domaines d'applications

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

5 Logiciels

5.1 XTIOSM

Participant : Laurent Kaiser, Ricardo Santos-Marques.

XTIOSM, développé en C++ sous XWindow, permet de concevoir, de modifier et de manipuler des TIOSM (Timed Input Output State Machine). Il permet de vérifier à la volée des propriétés temporelles et de générer des séquences de tests temporisés.

Il intègre la traduction des TIOSM en un réseau de Petri temporel (et réciproquement) et en un modèle SDL (directement utilisable avec l'outil ObjectGéode). Une version développée en Java est en cours de réalisation. Cette version sera disponible sous forme de logiciel libre.

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

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

5.2 CAROSSE

Participant : Paolo Castelpietra, Françoise Simonot-Lion, Pascal Gula, Medhi Abghour.

Dans le cadre du projet CAROSSE (programme PREDIT2 - collaboration PSA-LIP6-TRIO), un outil de modélisation et d'analyse d'architectures opérationnelles embarquées dans l'automobile a été réalisé par l'équipe TRIO. Une bibliothèque de modèles de réseaux, de contrôleurs de communication et d'ordonnanceurs a été également développée par l'équipe. L'outil livré à PSA en septembre 2000 est également utilisé au sein de l'équipe TRIO pour ses actions de recherche propres.

5.3 Extensions de ERS

Participant : Anne Bouillard, David Camersini, Bruno Gaujal, Alain Jean-Marie [LIRMM].

Nous avons ajouté plusieurs modules dans la plateforme logicielle ERS d'étude de systèmes à événements discrets.

Le premier permet de calculer analytiquement le comportement asymptotique (qui est atteint au bout d'un temps fini) d'un système (max,+) linéaire avec plusieurs composantes fortement connexes. Le cas à une seule composante fortement connexe était déjà inclus dans ERS. Le cas avec un nombre arbitraire de composantes est beaucoup plus riche car les diverses composantes peuvent converger vers des comportements avec des vitesses et des périodes différentes.

Le deuxième module qui a été ajouté est un module de vérifications de propriétés temps-réel de systèmes (max,+) préemptifs qui reposent sur les algorithmes décrits dans [2]. Ce module permet, à partir de la modélisation sous forme de réseaux de Petri des différents processus, de vérifier si les contraintes temps réel (respect des échéances) sont toujours satisfaites, ou bien jamais satisfaites ou encore seulement satisfaites à partir d'un certain temps. Ce logiciel va être utilisé par l'équipe Bip de l'INRIA Grenoble pour valider une configuration de processus du système temps-réel Orcad.

6 Résultats nouveaux

6.1 Mécanismes exécutifs et protocoles

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

aux solutions temps réel classiques, nous avons spécifié des mécanismes protocolaires dans le contexte des applications multimédia réparties.

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

Mots clés : temps réel, QoS, réseaux de terrain, ordonnancement.

Participants : Miguel Angel León Chavez, Jean-Pierre Thomesse.

Nous nous intéressons dans ce travail aux systèmes de communication temps réel à architectures réduites, c'est-à-dire sans couche réseau ni transport. La plupart de ces systèmes sont conçus pour respecter certaines contraintes de temps, essentiellement sur les échanges périodiques et parfois pour les échanges sporadiques [30]. Le respect des contraintes est en général assuré par une configuration statique ou hors ligne de l'ordonnement des messages [35]. Nous proposons une solution dynamique à la place des solutions statiques. Cette solution s'inspire de l'architecture de Qualité de Service définie dans les grands réseaux et des techniques de services Intégrés et Différenciés de l'Internet qui sont généralement utilisés au niveau de la couche réseau. Nous proposons donc un protocole de réservation dynamique de ressources qui peut être implanté sur n'importe quel protocole MAC de type "droit de parole" pour n'importe quelle topologie. Ce protocole accepte par ailleurs différents algorithmes d'ordonnement. Ce protocole s'appuie sur une technique client-serveur mais a été aussi étendu à des modèles de coopération multi-client, multi-serveur. Il a été spécifié en termes de systèmes états-transitions et a été validé en utilisant l'outil ObjectGEODE [13].

6.1.2 Qualité de service, mécanismes de négociation

Mots clés : QoS, modes de marche, négociation, ordonnancement dynamique.

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

Un cadre d'expression des études sur le " temps réel " est donné par des travaux sur l'évaluation de l'impact d'une configuration d'architecture logicielle et des performances d'une architecture matérielle support sur la qualité de la surveillance et/ou de la commande des systèmes. Dans le cas de la conception des applications de contrôle-commande, notre objectif est de maîtriser l'impact des choix effectués au niveau de l'architecture opérationnelle sur le processus physique contrôlé. Les solutions usuelles reposent sur un sur-échantillonnage et une configuration statique périodique des tâches et des messages. Dans ces conditions, il est aisé de garantir hors-ligne le respect des contraintes temporelles par une analyse d'ordonnancement. Par contre, cette solution présente l'inconvénient majeur de sur-dimensionner les architectures opérationnelles en créant une surcharge importante dans les trafics sur réseaux et l'occupation processeur. De plus, cette configuration statique peut s'avérer être une étape difficile de par la complexité des problèmes d'ordonnement à résoudre. C'est pourquoi nous étudions une approche dynamique, reposant sur la négociation en ligne d'une qualité de service qui sera spécifiée hors ligne.

Dans une première étape, nous avons étudié le cahier des charges d'une application de contrôle-commande (qui sert de lien entre le monde de l'automatique et de l'informatique) afin d'identifier les conséquences des choix d'implémentation sur la qualité de la régulation et avons identifié les métriques de qualité de service pour les régulations industrielles. De ces métriques, propres au domaine de l'automatisme, nous cherchons à dériver les critères de qualité de service correspondant en informatique (par exemple en termes d'ordonnancement de tâches et de messages). Parallèlement à ce travail, nous étudions les mécanismes exécutifs en-ligne permettant de garantir le respect des propriétés identifiées. Ces mécanismes reposent sur des techniques de négociation de fenêtres temporelles pour la transmission des messages aussi bien que pour l'exécution des tâches. Ces techniques sont combinées à des stratégies d'ordonnancement dynamique. Si la réservation de temps s'avère impossible, un événement de changement de mode de marche de l'application est signalé.

6.1.3 Optimisation dans les réseaux

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

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

Le travail sur le contrôle d'admission [16, 18, 17] dans un réseau se poursuit. En utilisant le principe de programmation dynamique pour un espace d'état *ad-hoc*, Nous avons calculé la politique optimale avec les processus de Poisson modulés et les processus d'arrivées Markoviens pour des files d'attentes sans capacité de stockage [15].

Les derniers résultats sur lesquels se portent actuellement nos efforts sont la construction et la comparaison de différents ordres partiels de régularité des séquences d'admission, comme l'ordre conique [22], et les ordres hypergraphes actuellement étudiés. L'idée principale est de donner un sens mathématiquement précis à des constatations empiriques du style: "plus la suite des admissions est régulière, plus les performances du réseau s'améliorent." L'ensemble des travaux que nous avons effectués sur le contrôle d'admission va faire l'objet d'un livre qui paraîtra en 2001 chez Springer Verlag.

Pour faire du calcul effectif, nous avons étudié le routage de clients dans deux files d'attente déterministes parallèles, les temps d'inter-arrivées étant supposés déterministes. Nous donnons une formule explicite de la moyenne du temps d'attente des clients introduits dans l'une des deux files quand la politique de routage est un mot mécanique (un mot Sturmien). Cette formule repose sur une décomposition en fraction continue particulière du temps de service. À partir de cette formule nous obtenons un algorithme qui calcule la politique de routage optimale dans les deux files. Généralement cette politique est un mot mécanique périodique et la proportion de clients envoyés dans chaque file est rationnelle avec un taux calculable par un algorithme de descente convexe discrète. Ce travail a fait l'objet d'une présentation à la cinquième convention ALAPEDES (ALgebraic Approach to Performance Evaluation of Discrete Event Systems) à Hambourg (Juillet 2000), ainsi qu'à un rapport de recherche INRIA ([41]) soumis pour publication.

Nous poursuivons nos recherches pour prendre en compte des temps d'inter-arrivées et les

temps de services stochastiques, plus particulièrement exponentiels. Les propriétés de stationnarité et d'ergodicité ne sont pas conservées lorsque la séquence d'admission est Sturmienne et cela donne lieu à des difficultés supplémentaires avec un mélange de concavité et convexité pour les courbes de temps d'attente moyen en fonction de la charge.

6.1.4 Etude du protocole WAP et des performances du réseau mobile GPRS

Mots clés : WAP, GPRS, Modlisation, Analyse de performances.

Participants : Mohamed Lahrech, YeQiong Song.

Pourquoi le temps d'accès à un serveur WAP (Wireless Application Protocol) via GSM (Global System for Mobile communications) actuel est-il si long? Quel sera le temps d'accès à un serveur WAP via un réseau mobile des futures générations GPRS (General Packet Radio Service) et UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)? Un tel réseau est-il capable de supporter des applications temps réel? Pour répondre à ces questions nous avons initialisé un travail avec un stage de DEA [44]. Nous décomposons le délai global en temps d'accès d'un terminal mobile (téléphone ou PDA (Personnal Digital Assistant)) à la station de base et le temps d'accès d'une station de base au serveur WAP. Le premier temps d'accès est lié au protocole MAC utilisé. Une première analyse du protocole ALOHA (University of Hawaii 1970) du GSM et de PRMA (Packet Reservation Multiple Access) du GPRS a montré la stabilité du dernier par rapport à ALOHA. Néanmoins, étant donné l'existence de la dépendance entre deux files de notre modèle en files d'attente de PRMA, une solution analytique reste à trouver. Le deuxième temps d'accès est lié à la pile des protocoles du WAP. Nous avons étudié l'un de ces protocoles, WTP (Wireless Transport Protocol). Une modélisation en SDL a été réalisée. Nous poursuivons notre étude afin de pouvoir décrire une session complète d'accès au WAP. L'intégration de ces deux aspects devrait nous permettre de répondre à nos questions posées initialement.

6.1.5 Messageries multimédia

Mots clés : communication de groupe.

Participants : Gladys Diaz, Zoubir Mammeri [IRIT Toulouse], Jean-Pierre Thomesse.

Nous avons analysé les applications multimédia sous l'angle des communications de groupe, de la synchronisation et du temps. En particulier, nous avons identifié les contraintes temporelles sur les flux associés à un mode et sur des flux associés à des modes différents. Une messagerie multimédia a été proposée. Elle repose sur la définition des services pour le support des échanges coopératifs des données multimédia dans les environnements coopératifs. Ces travaux ont fait l'objet de la thèse de Gladys Diaz [12]. Ils ont abouti à la conception du modèle MMMS (MultiMedia Message Specification) pour l'identification des services à différents niveaux et la spécification des primitives de services. Le modèle 3MS distingue trois niveaux de services:

- le niveau scenario pour la manipulation des données

- le niveau session qui gère tous les acteurs d'un groupe
- le niveau conversation gère les échanges entre les acteurs d'un groupe en s'appuyant sur les services des couches "basses" vues au travers d'une couche transport.

Ces concepts ont été appliqués à l'application DIATELIC (Télé-surveillance de dialysés à domicile) et ce modèle a été présenté dans [25]

6.2 Procédés de modélisation

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

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

6.2.1 Modélisation d'applications de supervision dans le domaine manufacturier

Mots clés : méta-modèle UML, évaluation de performances, optimisation.

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

Ce travail est réalisé dans le cadre d'un contrat avec la société PSA (convention Cifre - thèse de Domenico Cavaliere). Pour identifier les objets pertinents pour le dimensionnement et la validation de l'architecture opérationnelle de l'application, une étude et une modélisation d'un atelier PSA ont été effectuées [39].

A partir de cette première étude, nous avons réalisé un méta-modèle UML qui permet de décrire les classes à l'aide desquelles un modèle d'application de supervision pourra être construit. La structure du modèle d'application repose sur la spécification formelle des relations entre classes ainsi que sur celle de contraintes OCL. Enfin, nous avons spécifié comment extraire de la description de l'application, réalisée conformément à ces classes, un modèle dans le formalisme des automates temporisés du logiciel OPNET. Un premier démonstrateur a été réalisé et présenté aux industriels partenaires du projet [40].

6.2.2 Modélisation d'applications embarquées dans l'automobile

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

Participants : Medhi Abghour [stagiaire], Paolo Castelpietra, Pascal Gula [stagiaire],

Laurent Kaiser, Jörn Migge, Nicolas Navet, YeQiong Song, Françoise Simonot-Lion, Paolo Spagnoletti, YeQiong Song.

Dans le contexte des systèmes embarqués dans l'automobile, la première action, effectuée dans le cadre du projet CAROSSE (programme PREDIT2, financé par le Ministère de l'Éducation Nationale et associant PSA, le LIP6 et l'équipe TRIO du LORIA) s'est terminée en novembre 2000. L'objectif, pour TRIO, en était de spécifier des techniques de modélisation et des méthodes pour construire aisément des modèles et les exploiter pour évaluer des performances d'architectures opérationnelles embarquées (architecture matérielle support et architecture logicielle supportée). Le but final est d'apporter une aide au dimensionnement optimal, en termes de coûts et de sûreté de fonctionnement (calculateurs, contrôleurs de communication, réseaux, configuration et distribution de l'application) d'une application embarquée. L'ensemble des travaux a fait l'objet du diplôme FIRTECH de l'INPL de Paolo Castelpietra [11].

Nous avons proposé une méthode de construction automatique de modèles dans le formalisme des réseaux de files d'attente sous la syntaxe acceptée par le logiciel SES WorkBench. Cette méthode repose sur une technique de modélisation modulaire. Chaque module relevant d'une classe identifiée : -contrôleur réseau et réseau pour le système de communication, - gestionnaire de tâches, gestionnaire d'entrées-sorties, ordonnanceur et processeur pour la modélisation d'un calculateur et de son exécutif, - interprète d'architecture d'implémentation pour l'interprétation en ligne de la charge applicative exprimée en termes de tâches, de messages et de règles de contrôles de ces deux objets) [23]. Une bibliothèque de modèles a été réalisée et un prototype d'outil est disponible. Grâce à ces travaux, les partenaires du projet disposent d'un outil permettant la modélisation d'architectures complexes. Nous avons ainsi pu modéliser aisément une application distribuée sur une architecture matérielle multi-réseaux (CAN et VAN) afin de trouver une configuration de tâches et de messages respectant, en présence d'erreurs de transmission, des propriétés sur des charges de réseaux, sur les gigue de fin d'exécution de tâches et/ou sur des temps de réponse de bout en bout [24].

La deuxième action prend place dans le cadre du projet Architecture Electronique Embarquée (AEE, financée par le Ministère de l'Industrie, <http://aee.inria.fr>). Les principaux résultats du projet pour lesquels il y a eu une participation forte de TRIO résident dans la définition d'un langage de description d'architecture embarquée, AIL (Architecture Implementation Language) et dans la réalisation d'un constructeur de modèles d'architectures embarquées exploitables par le logiciel OPNET (réalisé par Paolo Spagnoletti, lors de son stage effectué au sein de l'équipe TRIO pour l'obtention du Master Of Sciences de l'Université de la Sapienza de Rome [47]). Le langage AIL doit permettre à tout acteur du domaine automobile de concevoir, valider, évaluer, documenter une architecture embarquée à tout niveau de la phase de conception de celle-ci ainsi que d'échanger des informations entre partenaires dans un processus de conception " constructeurs / équipementiers / sous-traitants " [46][38].

La spécification du langage AIL recense les classes et les associations entre classes suivant quatre points de vue : un point de vue fonctionnel, indépendant de toute implémentation possible, un point de vue logiciel, définissant une architecture en termes de tâches et de messages, un point de vue matériel, montrant l'architecture informatique support et enfin, un point de vue opérationnel présentant une application telle qu'elle serait réalisée (distribution, placement, configuration) [36]. La prise en compte de caractéristiques complémentaires a été faite

dans une deuxième version du langage. En particulier, la spécification des modes de fonctionnement, ainsi que des diagrammes de commutation de modes est formellement réalisée aux niveaux fonctionnel et logiciel. Le point de vue des industriels offreurs, à savoir, les variations possibles d'architectures (modèle d'une gamme, options des modèles) est formellement intégré à tous les niveaux architecturaux.

6.2.3 Interopérabilité de capteurs : spécification et validation

Mots clés : Interopérabilité, SDL, XML.

Participants : Tiziana Mastrotti, Jean-Pierre Thomesse.

Le but principal de ce travail est d'étudier la vérification a priori de l'interopérabilité des équipements qui composent un système automatisé autour de réseaux de terrain. Cette interopérabilité se décline en plusieurs thèmes dont les performances temporelles, sujet qui fut au centre de nos préoccupations. C'est pourquoi nous avons cherché à définir un modèle de ces équipements qui fasse abstraction de la plupart de leurs caractéristiques mais qui se focalise sur les aspects temporels. Nous avons considéré le modèle client-serveur comme support de la coopération entre équipements, en nous référant à la norme européenne "Health Informatics-Vital Signs Information Representation". Cette coopération a été modélisée en SDL et validée grâce à l'outil ObjectGéode. Les équipements ont par ailleurs été décrits en XML. Un point important a été la modélisation d'un ordonnancement en SDL de façon à expliciter ces règles qui sont normalement implicites et fixes dans l'outil ObjectGéode. Ce travail a fait l'objet d'un Master Of Sciences de l'Université La Sapienza de Rome [45]. Les travaux continuent en tentant de caractériser temporellement les spécifications SDL.

6.3 Formalismes et techniques de vérification

Résumé : *La nécessité de garantir que des applications distribuées temps réel respecteront, tout au long de leur exploitation, les contraintes de sûreté de fonctionnement spécifiées dans leur cahier des charges, impose de disposer de modèles de ces applications. Dans TRIO, nous nous intéressons à leurs propriétés temps réel. Les formalismes utilisés relèvent généralement des automates étendus par des attributs temporels ou des réseaux de file d'attente. Dans un cas, comme dans l'autre, nous avons développé des techniques d'analyse de ces modèles.*

6.3.1 Sémantique des Réseaux de Petri temporisés

Mots clés : réseaux de Petri, automates temporisés.

Participants : Stefan Haar, Laurent Kaiser, Françoise Simonot-Lion.

Nous avons identifié une sous-classe nommée *Timed State Machines* des automates temporisés de Alur et Dill comme faiblement équivalente (par opposition au comportement fortement temporisé) à une classe canonique de Réseaux de Pétri temporels proposés par Merlin et Farber; plus précisément, cette faible équivalence est établie avec les RdP temporels bornés, *non-Zeno*

et à auto-concurrence 1, notés N1TPN. Les TSM, et notamment leurs produits synchronisés à messages qu'on nomme TIOSM, sont surtout utilisés pour générer des tests. D'autre part, il existe une littérature très riche sur l'utilisation des RdP temporels en vérification. D'où notre motivation de combiner la puissance des deux modèles. Nous avons montré ici une construction explicite qui permet de traduire les N1TPN en TSM et vice versa; dans les deux sens, on s'appuie sur la puissance de la temporisation par horloges pour obtenir des modèles concis et analysables. Ces résultats font l'objet d'un article soumis à la conférence TACAS'2001 [42]. Le graphe d'états du TSM obtenu par la traduction est de la taille du graphe d'atteignabilité; il est donc plus efficace que le graphe de classes obtenu par la *méthode énumérative* développée par Menasche, Berthoumieu et Diaz. L'existence du processus de traduction, implanté au sein d'un prototype d'outil (XTIOSM), rend l'équivalence des modèles effective.

6.3.2 Génération formelle de séquences de tests temporisés par testeur dynamique

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

Participants : Bruno Gaujal, Laurent Kaiser, Ricardo Santos-Marques, Françoise Simonot-Lion.

Ce travail qui a démarré en octobre 1997, apporte des premiers résultats dans le contexte de la thèse de Laurent Kaiser (soutenance prévue pour février 2001). Nous avons développé une technique de génération formelle de séquences de tests temporisés reposant sur le formalisme des *Timed Input Output Machine (TIOSM)* sous-classe des automates temporisés. Nous supposons que la spécification du système est donnée sous forme de TIOSM et ainsi que celle de chaque propriété. Nous avons défini un ensemble de règles qui permettent de calculer à la volée, sous la forme de TIOSM, une, des ou toutes les trajectoires du système sur lesquelles la propriété doit être vérifiée. A cette occasion, si aucune trajectoire ne peut être trouvée, nous concluons que la spécification du système est incorrecte [28]. Afin de réduire la complexité du calcul, nous avons introduit des états "rejet" et "acceptation" dans la modélisation de la propriété. Nous proposons ensuite, pour chaque trajectoire obtenue, un algorithme qui génère le scénario de test correspondant. Celui-ci se présente comme un TIOSM dont l'architecture de base est homomorphe à la trajectoire et qui est étendu par des états "échec" (lorsque le testeur atteint cet état, il conclura à la non conformité à la spécification, du système testé) et par des états "inconclusif" (lorsque le testeur atteint cet état, il ne peut conclure sur l'échec ou la réussite de la procédure de test; celle-ci doit alors être recommencée). Les campagnes de tests sont longues et coûteuses aussi nous avons développé une méthode de test adaptatif qui permet de réduire le nombre de cas d'inconclusisme. Celle-ci nécessite que le testeur dispose de moyens de calcul et de spécification des chiens de garde. Il s'agit de munir le scénario de test, à chaque état, de l'ensemble des inéquations linéaires représentant l'espace des horloges contraignant le tir des transitions futures et d'ajouter au testeur un algorithme de résolution du système lui fournissant un intervalle pour le tir de la prochaine transition. La mise en oeuvre de chiens de garde permet de borner les temps de calculs afin de garantir que le tir de la transition ne se fera pas plus tard que la date maximale exprimée statiquement. Les algorithmes sont implantés dans l'outil XTIOSM [29].

6.3.3 Temps de couplage de systèmes (max,+)

Mots clés : algèbre (max, +), couplage.

Participants : Anne Bouillard [ENS Paris], Bruno Gaujal.

A l'instar des systèmes linéaires classiques (comme les chaînes de Markov), il est important de calculer la vitesse de convergence d'un système (max,+) vers son régime stationnaire (en vue de faire des simulations par exemple). Il est bien connu (théorème de Perron-Frobenius) que dans le cas positif classique, cette vitesse est liée à la deuxième plus grande valeur propre de la matrice. Dans le cas (max,+), alors que l'étude du régime stationnaire a fait l'objet de beaucoup de publications dans la littérature, la vitesse de convergence était pour le moment inconnue. Nous avons montré que cette vitesse est liée au deuxième poids moyen le plus élevé des cycles de la matrice, ce qui constitue une belle contrepartie au cas classique. Ce travail a fait l'objet du stage de maîtrise en informatique de Anne Bouillard (ENS Paris) [37].

6.3.4 Analyse des réseaux de Petri temporisés

Mots clés : réseaux de Petri, régime stationnaire.

Participants : Gülgün Alpan [MACSI], Bruno Gaujal, Stefan Haar [ENS Paris], Jean Mairesse [CNRS, LIAFA].

Après avoir bien défini la sémantique des réseaux de Petri temporisés [27], nous avons montré que si l'on bloque une transition dans un réseau de Petri libre choix, vivant et borné, alors, lorsque le fonctionnement s'arrête, il est dans un état unique. Ce résultat fait appel aux propriétés fines de décomposition en T -composants et en S -composants de tels réseaux. Une application possible de ce résultat strictement structurel pour des systèmes stochastiques est que l'état unique de blocage ainsi construit peut servir d'ensemble petit Harris récurrent pour la chaîne de Markov construite aux instants de saut du processus. Ainsi, on peut montrer qu'un réseau de Petri libre choix, vivant et borné avec des temps de tir indépendants et identiquement distribués est stable et admet un régime stationnaire unique avec lequel il couple pour toute condition initiale. Ce résultat étend les résultats de stabilité connus pour les réseaux de Jackson d'une part et les graphes d'événements stochastiques d'autre part.

Nous avons par ailleurs développé une nouvelle approche pour faire du contrôle superviseur des réseaux de Petri. L'approche classique consiste à rajouter des places de contrôle dans le réseau afin d'éviter d'atteindre les marquages interdits par la spécification du système. La construction du superviseur se fait ensuite par une exploration de l'espace d'état. Pour éviter l'explosion combinatoire liée à une exploration exhaustive, nous avons développé une méthode de contrôle qui utilise des fonctions de routages sur les places de choix qui permet d'étudier le réseau au niveau des transitions et non plus de l'espace d'état.

Pour illustrer l'intérêt de cette technique, nous montrons comment utiliser les fonctions de routage pour éviter les situations d'inter-blocages. Alors que les techniques classiques ne permettent pas de traiter les réseaux non bornés, notre approche permet de les analyser avec la même complexité que les réseaux bornés. Ce travail a été publié [14]

6.3.5 Représentation minimale de systèmes à événements discrets

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

Participants : Bruno Gaujal, Alain Jean-Marie [LIRMM, Montpellier], Jean Mairesse [CNRS, LIAFA].

Quand un système à événements discret est représentable par un graphe de tâches périodiques stochastiques, on peut légitimement se poser la question de la représentation minimale, c'est à dire de trouver le graphe de tâche de taille minimale qui modélise le système. Nous avons montré dans [19] que ce problème admet une solution polynomiale qui a des conséquences en minimisation de registres dans les circuits digitaux, ce qui clôt la question du "retiming" de Leiserson et Saxe et pour la minimisation de la quantité de mémoire nécessaire pour calculer un système d'équations récurrentes uniformes.

7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 Projet CAROSSE

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

Ce projet d'une durée de deux ans soutenu dans le cadre du programme interministériel PREDIT a pris fin en novembre 2000. Les partenaires en sont PSA, l'équipe RTCD du LIP6 de Paris et l'équipe TRIO du LORIA. L'objectif global du projet est de définir un ensemble de méthodes permettant de placer des fonctions de service sur une architecture embarquée dans un véhicule automobile, puis de valider le placement proposé. En particulier, l'équipe TRIO a proposé une modélisation modulaire de l'architecture opérationnelle de l'application de manière à générer semi-automatiquement son modèle dans le formalisme des réseaux de files d'attente. Une bibliothèque de modèles de composants a ainsi été développée.

7.2 Contrat PSA

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

Depuis février 1999, a démarré une thèse (Domenico Cavaliere) dans le cadre d'une convention CIFRE avec la société PSA. Il s'agit de proposer une méthode de modélisation - validation des applications distribuées d'automatisation des lignes de production. Le travail consiste à définir, pour ce type d'applications, d'une part, la notion de composant réutilisable et leurs caractéristiques et, d'autre part, leur composition au sein de l'application.

7.3 Projet "Architecture Electronique Embarquée"

Participants : Bruno Gaujal, Laurent Kaiser, Jörn Migge, Nicolas Navet, Françoise Simonot-Lion, YeQiong Song.

Ce projet rassemble, depuis septembre 1998 et pour trois ans, des représentants des équi-

pementiers automobiles français (Sagem, Siemens Automotive SA., Valeo), des constructeurs automobiles (PSA et Renault), EADS et des laboratoires de recherche (INRIA, IRCCyN et LORIA). L'objectif du programme est d'assurer dans les architectures embarquées l'indépendance du logiciel et du matériel afin de favoriser la flexibilité des développements, la réutilisabilité d'éléments applicatifs tout en garantissant la sûreté de fonctionnement exigée. Françoise Simonot-Lion en assure la responsabilité du projet pour le LORIA. TRIO est impliqué dans plusieurs lots de ce projet : en particulier, nous participons à la spécification du langage AIL, à la caractérisation des composants réutilisables dans une application embarquée, à la spécification du procédé de validation (propriétés de comportement - propriétés temporelles) et à la réalisation des traducteurs de modèles AIL en modèles exécutables ou analysables. Ce travail représente, dans le projet 70 hommes-mois environ (<http://www.aee.inria.fr>). La proposition d'extension du projet dans le cadre ITEA a obtenu le label européen.

8 Actions régionales, nationales et internationales

8.1 Actions régionales

DIATELIC.

Dans le cadre du projet Télésurveillance Interactive et Coopérative des Dialysis à domicile, une action de valorisation est en cours en coopération avec le CNRS [26]. Un brevet sur l'architecture générale du système est à l'étude. Cette approche est importante car de nombreuses applications pourraient être construites sur le même modèle [34][32]. La marque a été déposée, et le logiciel le sera, dès les premiers résultats de l'expérimentation chez les malades, qui démarre actuellement.

8.2 Actions nationales

8.2.1 Action Maddes

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

Bruno Gaujal est responsable de l'action de recherche coopérative Maddes (les détails de ces activités sont disponibles sur le site <http://www.loria.fr/~gaujal/Maddes/presentation.html>). Durant cette deuxième année, ses activités marquantes ont été l'invitation de plusieurs spécialistes des processus de décisions Markoviens sous contrainte (accueil pour une durée de 1 an de Elina Mancinelli à l'INRIA de Rocquencourt) ainsi que l'organisation d'un "workshop" sur la programmation dynamique et les systèmes à événements discrets les 28 et 29 octobre à l'INRIA Sophia-Antipolis. Le programme de la conférence est disponible sur le site: <http://www.loria.fr/~gaujal/Maddes/Workshop.html>

8.3 Actions européennes

8.3.1 Action Alapedes

Participant : Bruno Gaujal, Emmanuel Hyon.

Participation à la réunion scientifique du contrat TMR européen Alapedes à Hambourg (Allemagne, Juillet 2000) et présentation de nos travaux sur le contrôle d'admission. Le thème du projet est l'étude des approches algébriques de l'évaluation de performances de systèmes à événements discrets.

8.3.2 Projet EP 26951 NOAH

Participants : Miguel Angel León Chavez, Olivier Jaray, Jean-Pierre Thomesse.

Le projet NOAH s'est terminé fin juin 2000, par un Workshop à Milan et une démonstration des résultats sur la plate-forme fournie par l'ENEL. En ce qui concerne le Loria équipe TRIO, les principaux résultats de ce projet sont essentiellement liés à la description des équipements et à la prise en compte du temps dans la conception des applications, essentiellement du point de vue de la synchronisation des horloges. Nous avons contribué à la spécification des caractéristiques temporelles dans les services d'application. L'intérêt de ce projet pour nos recherches est que nous disposons d'un langage décrivant les fonctionnalités des équipements. Il s'agit alors, maintenant, d'étudier comment décrire les comportements des parties d'application intégrées dans des équipements pour automatiquement en tenir compte dans la conception de systèmes. Cette description devrait permettre la validation a priori des systèmes avant leur implémentation. Lors du Workshop, Jean-Pierre Thomesse a été l'animateur de la table ronde de la séance de clôture.

Suite à ce projet, Jean-Pierre Thomesse est pressenti pour être le rédacteur de la norme CENELEC " Modèles et profils d'équipements "

Olivier Jaray et Jean-Pierre Thomesse ont conçu et réalisé le CD-ROM officiel de présentation du projet NOAH [43].

Ce projet regroupe Alstom, Siemens, Schneider, Enel, Proces_Data, Softing et les laboratoires suivants : IFAK de Magdebourg, FZI (Forschungszentrum Informatik Karlsruhe), Politecnico di Torino, Université de Catania, LORIA.

8.4 Actions internationales

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

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

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

Nous avons aussi une collaboration avec l'université de Rosario (Argentine) qui se traduit par des visites et la mise en place d'une thèse en co-tutelle avec le professeur Sergio Junco.

Nous collaborons avec l'Université de Technologie de Wuhan dans le cadre du projet Franco-Chinois PRA SI99-04 (2000-2001) sur la problématique des systèmes embarqués dans l'automobile. L'accueil d'un chercheur de Wuhan en stage de Master est planifié pour 2001.

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

8.5 Visites, et invitations de chercheurs

Jean-Pierre Thomesse a été invité comme conférencier à Buenos Aires et 1 semaine à Cordoba (Argentine) en septembre 2000.

Bruno Gaujal a participé à la journée anniversaire de l'IRISA : Modélisation mathématique et réseaux informatiques.

Dans le cadre du projet PRA SI99-04: Les Professeurs Yang Mingzhong , Cheng Sencheng et Li Gangyan ont fait un séjour de recherche dans l'équipe TRIO (1 mois). F. Simonot-Lion et Y.Q. Song ont effectué une visite et participé à un séminaire à l'Université de Technologie de Wuhan (Chine) [31].

Le Professeur Sergio Junco de l'université de Rosario (Argentine), le professeur José Alberto Fonseca de l'université d'Aveiro (Portugal), le professeur Alain Jean-Marie (LIRMM, Montpellier) ont fait chacun un séjour d'une semaine dans l'équipe TRIO.

9 Diffusion de résultats

9.1 Animation de la Communauté scientifique

- Plusieurs membres de TRIO participent de façon active au GDR ARP STS, Ordo ainsi qu'à "Réseaux Grand Est".
- YeQiong Song est membre du Comité de programme du numéro spécial «évaluation de performances» du journal CPRSR.
- Françoise Simonot-Lion et Jean-Pierre Thomesse sont membres du comité de programme de RTS'2000, RTS'2001, MSR'2001.
- Jean-Pierre Thomesse a fait une conférence plénière invitée au salon BIAS'2000 (Milan).
- Françoise Simonot-Lion a présidé la session Middleware WFCS'2000 et Bruno Gaujal, une session à la conférence CDC'2000 (Sydney, Australie).

- Françoise Simonot-Lion et Jean-Pierre Thomesse sont relecteurs de la revue TSI.
- YeQiong Song est relecteur de IEEE Transactions on Industrial Electronics, Computer communications.
- Bruno Gaujal est rapporteur pour Journal of Discrete Event Dynamic Systems, Queing Systems Theory and Application et Parallel Processing Letters.
- Françoise Simonot-Lion est membre du comité des projets INRIA-Lorraine.
- Jean-Pierre Thomesse est membre du comité de direction du LORIA.
- Les enseignants chercheurs permanents de TRIO sont membres des commissions de spécialistes 27ième et ou 61ième section de leur établissement. Françoise Simonot-Lion est membre du CNU 61ième section.

9.2 Enseignement

- Les permanents enseignants chercheurs de l'équipe effectuent leur service à l'INPL ou à l'Université Henri Poincaré Nancy 1 et interviennent dans le DEA d'Informatique de Lorraine. Ils participent également à la formation continue.
YeQiong Song est responsable de la maîtrise IUP-GEII, spécialité RNC (Réseaux Numériques de Communication) à l'UHP NANCY 1 et Françoise Simonot-Lion est co-responsable de la filière ISA (Ingénierie des systèmes automatisés) de l'ENSEM-INPL.
- Bruno Gaujal participe au cours de DEA d'informatique de Paris VI sur les systèmes à événements discrets (décembre 2000).

10 Bibliographie

Ouvrages et articles de référence de l'équipe

- [1] E. ALTMAN, B. GAUJAL, A. HORDIJK, «Multimodularity, Convexity and Optimization Properties», *Mathematics of Operations Research* 25, 2, 2000, p. 324–347.
- [2] F. BACCELLI, S. FOSS, B. GAUJAL, «Free Choice Nets, An algebraic Approach», *IEEE Transaction on Automatic Control* 41, 12, 1996, p. 1751–1778.
- [3] M. COURRIER, F. SIMONOT-LION, Y. SONG, «Microscopic modeling of support system for in-vehicle embedded systems», in : *Distributed and parallel embedded systems, IFIP*, Kluwer Academic Publishers, see www.wkap.nl, 1999, ch. 4, p. 139–148.
- [4] J. MIGGE, *Scheduling of recurrent tasks on one processor: a trajectory based model*, Thèse d'université, Université de Nice, 1999.
- [5] N. NAVET, *Évaluation de performances temporelles et optimisation de l'ordonnancement de tâches et messages*, Thèse d'université, Nancy (Institut National Polytechnique de Lorraine), novembre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-T-188/99-T-188.ps>.

- [6] F. SIMONOT, Y.-Q. SONG, J.-P. THOMESSE, « Message Sojourn Time for TDM Schemes with Any Buffer Capacity », *IEEE Transactions on Communications* 43, 2/3/4, avril 1995, p. 1013–1021.
- [7] F. SIMONOT-LION, Y.-Q. SONG, J. RAYMOND, « Validating real-time applications distributed over CAN: an interoperability verification », in: *4th international CAN Conference - ICC'97, Berlin, Germany*, p. 0709–0718, octobre 1997, <http://www.loria.fr/publications/1997/97-R-127/97-R-127.ps>.
- [8] J.-P. THOMESSE, « Les réseaux temps réel », in: *Réseaux de communication et conception de protocoles, Parallélisme, réseaux et répartition*, Hermès, 1995, p. 141–169.
- [9] J. TOUSSAINT, *Modélisation d'applications temps réel réparties pour la validation de propriétés temporelles Méthodologie de construction de modèles et algorithmes de validation*, Thèse d'université, INPL, 1997.
- [10] L. VEGA, J.-P. THOMESSE, « Temporal Properties in Distributed Real-Time Applications - Cooperation Models and Communication Types », in: *Proceedings 13th IFAC Workshop on Distributed Computer Control Systems, Toulouse*, p. 91–96, septembre 1995.

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [11] P. CASTELPIETRA, *Modélisation modulaire pour l'évaluation des performances d'application embarquées dans l'automobile*, Firtech, Nancy (INPL), septembre 2000, Song Ye-Quiong Co-encadrant.
- [12] G. DIAZ, *Conception de messagerie pour systèmes multimedia cooperatifs. Application au système de télémedecine DIATELIC*, Thèse d'université inpl, Nancy, juillet 2000.
- [13] M. LEON CHAVEZ, *Qualité de service et Ordonnancement dans les systèmes de communications Temps Réel*, Thèse d'université inpl, Nancy, octobre 2000.

Articles et chapitres de livre

- [14] G. ALPAN, B. GAUJAL, « Supervisory Control of Petri Nets using routing function: Starvation avoidance issues », *IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics*, 2000.
- [15] E. ALTMAN, S. BHULAI, B. GAUJAL, A. HORDIJK, « Open-Loop routing to M parallel servers with no buffer », *Journal of applied Probability* 37, 3, septembre 2000.
- [16] E. ALTMAN, B. GAUJAL, A. HORDIJK, « Balanced Sequences and Optimal Routing », *Journal of the ACM*, 2000.
- [17] E. ALTMAN, B. GAUJAL, A. HORDIJK, « Multimodularity, Convexity, and Optimization Properties », *Mathematics of Operation Research* 25, 2, mai 2000, p. 324–347.
- [18] E. ALTMAN, B. GAUJAL, A. HORIDJK, « Admission Control in Stochastic Event Graphs », *IEEE Transactions on Automatic Control* 45, 5, juillet 2000, p. 854–867.
- [19] B. GAUJAL, A. JEAN-MARIE, J. MAIRESSE, « Computation of Uniform Recurrence Equations using Minimal Memory Size », *SIAM Journal on Computing*, 2000.

- [20] J. MIGGE, A. JEAN-MARIE, N. NAVET, « Timing analysis of compound scheduling policies : application to Posix1003.1b », *Journal of Scheduling*, août 2000.
- [21] N. NAVET, Y.-Q. SONG, F. SIMONOT, « Worst-Case Deadline Failure Probability in Real-Time Applications Distributed over CAN (Controller Area Network) », *Journal of Systems Architecture - The EUROMICRO Journal* 46, 7, 2000, p. 607–617.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [22] E. ALTMAN, B. GAUJAL, A. HORDIJK, « Simplex convexity with application to open-loop stochastic control in networks », *in: 39th Conference on Decision and Control, Sydney, Australia, IEEE* (éditeur), décembre 2000.
- [23] M. ATTIA, O. CAYROL, A. DROGOU, R. FOISEL, F. SIMONOT-LION, « A process to design and master the global vehicle electronic system architecture », *in: International Congress on Transportation electronics - CONVERGENCE 2000, Detroit, Michigan, USA*, octobre 2000.
- [24] P. CASTELPIETRA, Y.-Q. SONG, F. SIMONOT-LION, O. CAYROL, « Performance Evaluation of a multiple Networked in-vehicle Embedded Architecture », *in: 3rd IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, Porto, Portugal, IEEE* (éditeur), septembre 2000.
- [25] G. DIAZ, J.-P. THOMESSE, Z. MAMMERI, « An Object-Oriented Modeling of Co-operative Multimedia Systems », *in: Euromicro, Maastricht, II, IEEE*, septembre 2000.
- [26] P.-Y. DURAND, J. CHANLIAU, A. MARIOT, M. KESSIER, J.-P. THOMESSE, L. ROMARY, F. CHARPILLET, R. HERVY, « Telemedecine and Dialysis », *in: XVII Congreso argentino de control automatico, Buenos Aires, AADECA*, septembre 2000.
- [27] B. GAUJAL, S. HAAR, « A limit Semantics for timed Petri Nets », *in: Wodes 2000, Gent, Belgique*, août 2000.
- [28] L. KAISER, F. SIMONOT-LION, O. KONE, « Verification method of interoperability for real time systems », *in: 54th IFAC International Symposium on Intelligent Components and Instruments for Control Applications - SICICA '2000, Buenos Aires, Argentine*, septembre 2000, <http://www.aadeca.org>.
- [29] L. KAISER, F. SIMONOT-LION, « Adaptative timed tests for temporal interoperability verification », *in: 3rd IEEE International Workshop on Factory Communication Systems - WFCS2000, Porto, Portugal, IEEE*, septembre 2000.
- [30] M. LEON-CHAVEZ, J.-P. THOMESSE, « Fieldbuses and Real-Time MAC Protocols », *in: 4th IFAC International Symposium on Intelligent Components and instruments for Control Applications - SICICA '2000, Buenos Aires, Argentine*, septembre 2000.
- [31] F. SIMONOT-LION, Y. SONG, « In-vehicle embedded computer control systems », *in: Seminary of Franco-Chinese project PRA SI99-04, Wuhan, China, Wuhan University of Technology*, octobre 2000.
- [32] J.-P. THOMESSE, « DIATELIC parmi les systèmes de télémédecine », *in: La domotique face à la perte d'autonomie ou la dépendance*, avril 2000.
- [33] J.-P. THOMESSE, « Impact of fieldbuses on the application design », *in: 29 eme conference ANIPLA BIAS, MILAN*, novembre 2000.

- [34] J.-P. THOMESSE, «The diatelic System», *in: Seminaire de l'Université de Cordoba (Argentine)*, septembre 2000.
- [35] J.-P. THOMESSE, «The research and a possible future for fieldbuses», *in: 4th Ifac International Symposium on Intelligent Components - SICICA'2000, Buenos Aires, Argentine*, IFAC, p. 67–73, septembre 2000.

Rapports de recherche et publications internes

- [36] A. BOUALI, J. BOUCHERON, O. CAYROL, J. ELLOY, F. GASNIER, P. LEMAIRE, J. MIGGE, B. ROUCOUSE, F. SIMONOT-LION, Y. TRINQUET, «Architectures et objets AIL - révision 1.1», *Rapport intermédiaire*, avril 2000.
- [37] A. BOUILLARD, B. GAUJAL, «Coupling time in (max,+) Matrix», *Rapport de recherche*, INRIA, novembre 2000.
- [38] E. BROUTIN, J. MIGGE, «Synthèse d'évaluation des outils de simulation», *Rapport intermédiaire*, février 2000.
- [39] D. CAVALIERE, F. SIMONOT-LION, Y.-Q. SONG, «Etude de Modélisation UML d'un système d'information manufacturier», *Rapport intermédiaire*, PSA, octobre 2000.
- [40] D. CAVALIERE, Y.-Q. SONG, F. SIMONOT-LION, O. HEMBERT, «Un support méthodologique pour la configuration de composants génériques», *Rapport technique*, PSA Peugeot Citroën, septembre 2000.
- [41] B. GAUJAL, E. HYON, «Optimal Routing Policy in Two Deterministic Queues », *Rapport de recherche*, INRIA, septembre 2000.
- [42] S. HAAR, L. KAISER, F. SIMONOT-LION, J. TOUSSAINT, «On Equivalence between Timed State Machines and Time Petri Nets», *Rapport de recherche*, INRIA, novembre 2000.
- [43] O. JARAY, J.-P. THOMESSE, «Network Oriented Application Harmonisation», *Rapport de fin de contrat*, Esprit, juillet 2000.
- [44] M. LAHRECH, «Transmission de données sur les réseaux radiomobiles», *Stage de dea*, septembre 2000.
- [45] T. MASTROTI, «Interoperabilità tra dispositivi elettronici: specifica e validazione. », *Master*, Università degli Studi di Roma La Sapienza, juillet 2000.
- [46] J. MIGGE, P. MINET, S. KAMOUN, E. BROUTIN, «Cahier des charges des outils de simulation et d'analyse de performances», *Rapport intermédiaire*, mars 2000.
- [47] P. SPAGNOLETTI, «Modélisation et Simulation d'une architecture distribuée communicante à l'aide du logiciel OPNET», *Rapport intermédiaire*, novembre 2000.