

Rapport INRIA 1994 — Programme 1  
Algorithmes distribués et protocoles

PROJET ADP

3 mai 1995



PROJET ADP

---

# Algorithmes distribués et protocoles

---

**Localisation :** *Rennes*

**Mots-clés :** algorithme réparti (1, 3, 6, 8), application répartie (1, 7), causalité (1, 3, 6, 8), contrainte temporelle (7), correction de protocole (8), débogage réparti (1, 8), détection de propriétés (1, 3, 8), détection décentralisée (3), multimédia (1, 7), protocole de communication (1, 7), réseau à haut débit (1, 7), simulation répartie (1, 6), synchronisation (1, 7).

ADP est un projet commun Inria/CNRS (URA 227).

## 1 Composition de l'équipe

### Responsable scientifique

Michel Raynal, professeur, université de Rennes 1

### Secrétaire

Maryse Auffray, AA Inria

### Personnel Inria

Michel Hurfin, CR, à partir de décembre 1994

Noël Plouzeau, maître de conférences, université de Rennes 1,  
détaché auprès de l'Inria à partir d'octobre 1994

### Personnel URA 227

Bernard Cousin, professeur, université de Rennes 1

Jean-Michel Hélary, professeur, université de Rennes 1

Philippe Ingels, maître de conférences, université de Rennes 1  
Aomar Maddi, maître de conférences, université de Rennes 1  
Achour Mostefaoui, attaché temporaire d'enseignement-recherche,  
université de Rennes 1, à partir d'octobre 1994  
Gagnon Viho, maître de conférences, université de Rennes 1

#### **Chercheurs post-doctorants**

Roberto Baldoni, boursier HCN (Cabernet), à partir d'octobre 1994

#### **Chercheurs doctorants**

Eddy Fromentin, boursier MESR  
Carlos Maziero, boursier du gouvernement brésilien, jusqu'en  
mai 1994  
Gérard Thia-Kime, boursier Inria, à partir d'octobre 1994

#### **Collaborateurs extérieurs**

Ludovic Boisseau, boursier CCETT  
Lionel Thual, boursier Cnet

## **2 Présentation générale et objectifs**

Les algorithmes répartis trouvent leur origine dans les réseaux (les protocoles sont en effet des algorithmes particuliers dont le but est de mettre en œuvre des communications) et dans les systèmes d'exploitation (par le biais des programmes coopérants). Les algorithmes répartis forment ainsi une classe d'objets particuliers, complexes et non encore totalement maîtrisés. Le projet *algorithmes distribués et protocoles* a pour objectif leur maîtrise et pour cela les étudie selon quatre axes complémentaires :

- la compréhension de leurs fondements,
- la définition d'un environnement d'étude et de mise au point de programmes répartis,
- la mise en œuvre d'un noyau de système réparti,
- l'étude des protocoles et des services pour les applications multi-média réparties.

La compréhension des fondements du calcul et du contrôle répartis constitue depuis 1987 l'un des axes permanents du projet : il s'agit là de concevoir de nouvelles classes d'algorithmes ou de protocoles et

de nouveaux modèles pour le calcul réparti. La catégorie d'algorithmes concernée comporte notamment les algorithmes d'observation cohérente d'un calcul réparti et les algorithmes de synchronisation générale de l'exécution répartie.

La conception et la mise en œuvre d'algorithmes répartis corrects étant des tâches difficiles, il est souhaitable d'aider l'utilisateur en lui fournissant des outils adéquats. C'est dans cet état d'esprit qu'a été abordée la réalisation d'outils d'analyse et d'aide à la mise au point de programmes répartis. C'est également dans cette optique que sont proposées des méthodes pour la correction d'anomalies dans les protocoles.

La compréhension du réparti passe également par la mise en œuvre d'algorithmes sur des machines réparties. Dans ce but, un noyau de système réparti a été réalisé sur une machine parallèle à mémoire répartie ; parmi les finalités de ce noyau figure la simulation parallèle de réseaux de files d'attente.

Les applications multimédia réparties présentent des caractéristiques (contraintes temporelles, grand volume de données, hétérogénéité, interactivité, interface évoluée, etc.) qui par leur présence simultanée dans une même application engendrent un faisceau de problèmes convergents. Pour appréhender ce vaste domaine, nous avons choisi de centrer nos études sur les phénomènes engendrés par les communications sur les contraintes temporelles.

### **3 Actions de recherche**

#### **3.1 Problèmes fondamentaux**

*Participants* : Eddy Fromentin, Jean-Michel Hélary, Aomar Maddi, Noël Plouzeau, Achour Mostefaoui, Michel Raynal

La compréhension des fondements des algorithmes répartis passe par la recherche des concepts sous-jacents et de nouveaux paradigmes ; elle doit permettre de concevoir de nouveaux algorithmes distribués, fournissant des services de base : contrôle de la compétition pour les ressources, détection du passage d'un calcul dans un ensemble d'états particuliers, collecte d'information répartie, incidence de la causalité, etc. Les travaux actuels s'articulent autour des thèmes ci-dessous.

### 3.1.1 Détection de propriétés

La question qui se pose est ici : « telle exécution répartie possède-t-elle telle propriété ? ». La difficulté d'y répondre provient d'une part de l'impossibilité, due au contexte réparti, de capter instantanément un état global de l'exécution répartie et d'autre part de la nature de la propriété qui peut être stable ou instable (alors qu'une propriété stable reste vraie une fois vérifiée, une propriété instable peut redevenir fausse après avoir été vérifiée). L'examen d'un calcul réparti par différents observateurs donnant des comportements apparents différents, il est nécessaire de classer les propriétés de calculs répartis à l'aide d'un critère supplémentaire : la satisfaction d'une propriété peut ainsi être du type « tous les observateurs l'ont vue satisfaite » ou bien du type « au moins un observateur l'a vue satisfaite ». Pour mieux étudier cette alternative, le concept de d'état global inévitable a été défini : un état global de calcul réparti est dit inévitable si dans tous les cas tous les observateurs du calcul voient cet état. Une propriété de calcul satisfaite dans un tel état inévitable est par définition vraie quelle que soit l'observation. Un algorithme de détection au vol de tels états inévitables a été conçu au printemps 1994.

Toujours dans une démarche à la fois pratique et théorique (classification algorithmique), un nouveau type de prédicat non-monotone et instable, appelé *prédicat régulier*, a été défini lors des travaux de recherche du projet ADP. Brièvement, un prédicat régulier est une expression régulière sur un alphabet de prédicats locaux à un processus, les phrases du langage représentant des séquences d'événements à détecter. Un tel prédicat régulier permet de détecter des comportements présentant des motifs répétés.

Deux algorithmes de détection, portant sur des hypothèses différentes, ont été obtenus ; le premier algorithme a été conçu en collaboration avec V. Garg et A. Tomlinson, de l'université d'Austin (Texas) [11] ; le second algorithme a été conçu en collaboration avec G.-V. Jourdan et Cl. Jard du projet Irisa-PAMPA . Ce deuxième algorithme est en cours de mise en œuvre dans le metteur au point Erebus, afin que cet environnement dispose d'un mécanisme de détection de points d'arrêt.

### 3.1.2 Exclusion mutuelle répartie

L'exclusion mutuelle dans un contexte de répartition est un vieux sujet, pour lequel de nombreuses solutions ont été proposées ; elles peuvent être rangées dans deux familles : les algorithmes à permission et les algorithmes à jeton. Un modèle général a été proposé par B. Sanders pour la première famille. Trouver un modèle général pour les algorithmes fondés sur un jeton (et utilisant une structure arborescente) est resté un problème ouvert jusqu'à la solution que nous y avons apportée au printemps 1994 [14]. Celle-ci non seulement rend compte des algorithmes connus mais permet d'en «instancier» de nouveaux. Une version de cet algorithme adaptée à l'hypercube a été particulièrement étudiée ; elle a une complexité en  $\mathcal{O}(\log_2 n)$  dans le pire des cas et résiste aux défaillances des sites.

### 3.1.3 Cohérence des mémoires d'objets réparties

Un grand nombre d'applications parallèles utilisent un modèle de programmation fondé sur le partage d'objets entre processus. Afin d'exécuter celles-ci sur des machines parallèles à mémoire répartie, il est nécessaire de donner aux processeurs un unique espace abstrait pour l'adressage des objets. La mise en œuvre d'un système de répartition d'objets utilise la réplication de ceux-ci pour améliorer les performances par augmentation du degré de parallélisme des accès et limitation des transferts entre processus. Le problème à résoudre alors est le maintien de la cohérence entre toutes les copies de chaque objet. Cela impose, d'une part, une définition de la cohérence et, d'autre part, des protocoles qui la garantissent.

Dans ce contexte nous nous sommes intéressés aux critères de cohérence suivants : linéarisabilité, cohérence séquentielle et cohérence causale. Nous avons montré l'inclusion stricte de ces trois critères et proposé en octobre 1994 plusieurs protocoles qui maintiennent la cohérence séquentielle. Ces travaux se font avec le professeur Mizuno de Kansas State University [23].

### 3.2 Simulation répartie

*Participants* : Philippe Ingels, Carlos Maziero, Michel Raynal

La mise en œuvre de noyaux de systèmes sur des machines parallèles à mémoire répartie constitue un des sujets privilégiés de travail du projet. En effet, la compréhension des algorithmes répartis passe aussi par leur réalisation en « vraie grandeur ».

Nous avons conçu, réalisé et évalué un noyau destiné à supporter l'exécution de programmes structurés en processus se synchronisant via l'utilisation d'un temps virtuel global [1], permettant en particulier l'exécution de simulations réparties. Ce travail nous a permis d'étudier les algorithmes utilisés pour la synchronisation dans le temps virtuel, en mettant en évidence l'intérêt des algorithmes permettant le maximum d'asynchronisme. Ceux-ci autorisent des progressions les plus indépendantes possibles du temps virtuel de chaque processus, sans remettre en cause la causalité.

Il nous a permis également de préciser l'architecture d'un tel noyau, en séparant bien les différents problèmes à traiter (gestion de la répartition, gestion de la communication dans le temps virtuel, contrôle de l'exécution des processus), tout en ayant des interfaces entre couches permettant malgré tout une bonne efficacité globale.

Le noyau dans sa version actuelle offre un seul mécanisme de communication entre processus, l'échange de message. Dans certaines circonstances il peut être plus facile d'exprimer la coopération entre processus s'exécutant dans le temps virtuel grâce à des variables partagées. La mise en œuvre de variables partagées dans un contexte de temps virtuel pose des problèmes nouveaux ; il faut assurer la cohérence des accès dans le temps virtuel, c'est à dire assurer qu'une lecture effectuée par un processus au temps virtuel  $t$  fournisse bien la valeur de la variable à cet instant, quel que soit l'avancement des autres processus. Cette étude peut constituer un développement intéressant et complémentaire du travail déjà effectué, et se rapproche du thème de la cohérence de copies réparties mentionné au §3.1.3.



### 3.3 Applications multimédia réparties : la synchronisation

*Participants* : Bernard Cousin, Gagnon Viho, Lionel Thual, Ludovic Boisseau

#### 3.3.1 Applications multimédia réparties : services et protocoles

Les applications multimédia réparties véhiculent à travers les réseaux d'importantes quantités d'informations de nature composite (son, image, texte, ...). Les débits exigés par ces applications en font des candidates privilégiées pour l'évaluation des réseaux et des protocoles à hauts débits. Nous menons des travaux dans ce domaine selon deux axes complémentaires : *études et expérimentations*.

La première expérimentation concerne une application de téléconférence entre des stations de travail via le réseau Internet. Au moyen de la mise en œuvre d'une application de téléconférence IVS-Jpeg (une version d'IVS utilisant la compression Jpeg des cartes Parallax), nous avons mesuré l'amélioration de performances que l'on peut obtenir par rapport à la compression H261 utilisée dans la version initiale. Cette expérimentation a mis en évidence la nécessité de résoudre les problèmes de désynchronisation des flux vidéo et audio, liés à la congestion du réseau. Elle doit également nous permettre, par la suite, d'étudier le comportement des applications de téléconférence dans des environnements de communication différents (FDDI, ATM, etc.). Outre l'évaluation de performances des réseaux, le résultat de ces diverses expérimentations permet de dégager les principales caractéristiques à exiger d'un réseau et par là même des protocoles à haut débit, pour véhiculer efficacement les données multimédia.

L'ensemble des informations multimédia à transmettre à un instant donné peut être vu comme un faisceau de données composé de différents flux (flux vidéo, flux audio, flux de textes, etc.). Un des problèmes fondamentaux dans le domaine de la transmission de données multimédia est la synchronisation des différents flux composant un faisceau. Divers mécanismes sont utilisés pour le maintien de la synchronisation des flux. Toutefois, il arrive que malgré cela on observe des pertes de synchronisation dues notamment à la gigue (variation de phase), à des variations inattendues du flux ou à la congestion sur le réseau de transmission. Les

choix alors effectués concernant les actions à réaliser entre la perte et la reprise de synchronisation sont généralement arbitraires. De même, les techniques utilisées pour la reprise sont inspirées de la transmission de données monomédia et sont mal adaptées au multimédia.

Nous évaluons l'influence réciproque de la perte de la synchronisation *intra-flux* (à l'intérieur de chacun des flux) sur les autres flux et sur la synchronisation *inter-flux* (liant les flux d'un faisceau). Nous étudions comment utiliser les contraintes de synchronisation intra-flux et inter-flux pour déterminer les actions à effectuer entre la perte et la reprise de synchronisation. Enfin, nous proposons des techniques de reprise de synchronisation mieux adaptées à la transmission multimédia répondant ainsi aux besoins des applications multimédia réparties. Finalement, nous intégrons les mécanismes de synchronisation ainsi élaborés dans Ivs-Jpeg. Ceci nous permettra d'évaluer les limites réelles des différents mécanismes proposés.

### **3.4 Mise au point des applications réparties et correction de protocoles**

*Participants* : Eddy Fromentin, Noël Plouzeau, Michel Raynal, Gagnon Viho

#### **3.4.1 Mise au point des applications réparties**

Afin de faciliter le développement des applications réparties, il est nécessaire de fournir à leurs concepteurs un environnement de programmation comportant, entre autres, un outil de mise au point. L'activité Erebus, qui a débuté en 1991, a pour but l'étude et la conception d'outils d'aide à la mise au point de programmes répartis.

Alors que les débogueurs conçus pour les programmes séquentiels ne sont généralement utilisés que pour déterminer les causes d'une erreur, les raisons pour recourir à un metteur au point réparti sont plus variées. Outre son utilisation dans la localisation d'une erreur, le metteur au point réparti, grâce aux outils d'observation et de visualisation qui lui sont associés, permet de mieux appréhender le comportement d'une application distribuée (*monitoring*). L'utilisation de points d'arrêt offre la possibilité de contrôler si une propriété est vérifiée au cours d'une exécution particulière. Combiné à des outils de mesures quantitatives (nombre de messages émis, temps d'exécution) et à des outils de mesures

qualitatives (mesures du parallélisme et de la concurrence), le metteur au point permet d'apprécier la correction mais également la qualité d'un algorithme réparti.

Les activités effectuées en 1994 dans le cadre de la mise au point visent à compléter les résultats obtenus lors des années passées sur les techniques de réexécution de programmes. Un premier travail a porté sur la définition et la mise en œuvre d'outils pour la construction et la visualisation des structures d'événements et d'états engendrées par les calculs répartis. Cette activité a été menée en collaboration avec les équipes participant à l'opération inter-PRC Trace du CNRS.

Un second travail a porté sur la mise en œuvre effective de l'algorithme d'évaluation répartie de prédicats réguliers mentionné au §3.1.1 [21]. Cet algorithme est en cours d'intégration à la plateforme de mise au point *Erebus* développée par le projet lors des deux dernières années.

### 3.4.2 Correction de protocoles

Les méthodes de vérification de protocoles existantes permettent la détection et le diagnostic des anomalies. De manière complémentaire, le besoin se fait sentir de disposer d'outils proposant des solutions pour corriger les anomalies détectées (la *correction*) tout en préservant au mieux le service pour lequel le protocole est conçu. Il convient donc de définir des méthodes et de proposer des outils pour cela.

Nous étudions comment spécifier de manière judicieuse le service d'un protocole pour permettre sa correction. Il s'agit d'aboutir à un modèle pour la spécification des services de protocoles adapté à la correction.

Nous élaborons des méthodes de correction des anomalies dans les protocoles. Ces méthodes utilisent la spécification du service du protocole à corriger et sont basées sur la suppression ou l'ajout de transitions dans les entités communicantes [20]. L'objectif visé est d'obtenir des protocoles « corrigés » dont le service se rapproche le plus possible du service initialement spécifié. Au problème de convergence posé par la correction, s'ajoute alors celui éminemment plus difficile de la cohérence avec le service.

Enfin, nous étudions l'intégration de ces méthodes dans des outils de validation de protocole existants. Ce dernier point constitue le but principal des travaux que nous menons dans ce domaine et devra valider

l'apport effectif des méthodes que nous proposons dans la conception des protocoles.

## 4 Actions industrielles

## 5 Actions nationales et internationales

### 5.1 Comités de programme

M. Raynal est membre du comité de lecture de la revue *Foundations of Computer and Decision Sciences* et de la revue *Informatique répartie et réseaux*.

M. Raynal a participé aux comités de programme des conférences suivantes :

- ISCIS 9 (*9th International Symposium on Computer and Information Sciences*), Antalya, Turquie, novembre 1994 ;
- PDCS 94 ;
- Ifip WG 10.3 International Conference on Applications in Parallel and Distributed Computing, Caracas, avril 1994 ;
- ACM-IEEE International Conference on Distributed Computing, Las Vegas, octobre 1994.

Jean-Michel Héлары et Michel Raynal ont été co-présidents du thème *Distributed Algorithms and Methods, 14th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems*, Poznan, juin 1994.

Michel Raynal sera le président du comité de programme de la conférence *IEEE Future Trends of Distributed Computer Systems*, qui se tiendra en Corée en 1995.

Jean-Michel Héлары et Michel Raynal ont été choisis pour présider le comité de programme et organiser le 9<sup>ème</sup> *Workshop on Distributed Algorithms*, qui se tiendra au Mont Saint-Michel en septembre 1995.

Bernard Cousin a participé au comité de programme de l'école d'été sur les réseaux de communication et les techniques formelles, qui s'est tenue à Paris en septembre 1994.

À l'initiative de Michel Banâtre et Michel Raynal, un séminaire franco-israélien sur les algorithmes et systèmes répartis s'est déroulé à Saint-Malo en septembre 1994, dans le cadre des accords de recherche financés

par l'Afirst ; ce séminaire a été co-organisé par Christine Morin (projet Irisa-Solidor) et Noël Plouzeau.

Noël Plouzeau est membre du comité d'organisation de la conférence francophone sur l'ingénierie des protocoles (Cfip'95) qui se tiendra en mai 1995 à l'Irisa.

## 5.2 Contacts internationaux

Le projet ADP entretient des relations suivies avec les équipes et chercheurs suivants :

- université de Saarbrücken (Allemagne) : équipe de F. Mattern, H. Mehl, sur le thème de la simulation distribuée ;
- université de Florianópolis (Brésil) : équipe de J.-M. Farines, sur la simulation distribuée ; C. Maziero, issu de cette équipe, a effectué sa thèse dans le projet ADP ;
- université de Poznań (Pologne) : équipe de V. Cellary, J. Brzeziński, sur les problèmes d'état global et d'interblocage ;
- École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse) : équipe de A. Schiper, sur l'ordre causal ;
- université de l'État du Kansas (États-Unis) : équipe de M. Mizuno, sur la cohérence des mémoires réparties ;
- institut Technion (Israël) : équipe de S. Zaks et de R. Cohen, sur l'expérimentation d'algorithmes répartis. Ce travail est financé par l'Afirst et fait partie d'une collaboration franco-israélienne ;
- université de Bologne (Italie) : équipe du Pr. Ö. Babaoglu sur la détection de propriétés.

## 5.3 Projets nationaux et internationaux

M. Raynal fait partie du projet européen *Basic Research Action Broadcast* sur les systèmes répartis de grandes dimensions, en liaison avec le projet Irisa-Solidor dirigé par M. Banâtre (Broadcast est un acronyme pour *Basic Research on Advanced Distributed Computing, from Algorithms to Systems*).

Le projet ADP participe au projet Esprit Cabernet (*Computer Architecture for Basic European Research, Network of Excellence*) en

collaboration avec le projet Irisa-Solidor et le projet Reflex de l'Inria-Rocquencourt.

Le projet ADP participe à l'opération inter-PRC Trace, dont le thème de travail est l'étude des méthodes d'analyse de traces d'exécution de calculs répartis. Une plateforme d'expérimentation développée en commun par les six équipes nationales concernés est en cours de réalisation.

Le projet ADP participe au projet Cesame sur les réseaux à haut débit et les applications multimédia réparties qui est financé par le Cnet-CNRS et coordonné par M. Diaz (LAAS-Toulouse).

Dans le cadre d'accords franco-israéliens de coopération scientifique, des travaux communs sont menés entre le projet ADP et les équipes de S. Zaks, D. Dolev et A. Segall.

Le projet ADP a obtenu pour trois ans le financement conjoint par la NSF et l'Inria d'une activité de coopération avec M. Mizuno de la Kansas state university, sur le thème de la cohérence des mémoires réparties.

Le projet ADP a également obtenu un financement du Cnet, pour les années 1994 à 1997, sur le thème de la duplication cohérente des objets dans les systèmes répartis.

## 5.4 Invitations

J. Brzeziński (université de Poznan, Pologne) a séjourné deux mois dans le projet ADP.

M. Raynal a présenté les travaux de l'équipe et fait des séminaires dans les universités et centres de recherche suivants : Ohio State University, IBM San José, San Diego University, University of Texas at Austin.

N. Plouzeau a présenté un article invité au séminaire Dimacs organisé par l'American Mathematics Society.

M. Raynal a été sollicité par plusieurs universités nord-américaines pour donner son avis sur des candidatures à des *tenure positions* (Rutgers University, Santa Barbara University, Berkeley University, San Diego University). Il a été également sollicité par la commission NSF des États-Unis pour analyser des projets de recherche.

## 6 Diffusion des résultats

### 6.1 Enseignement

Les membres permanents du projet ADP sont tous enseignants-chercheurs et à ce titre coordonnent et participent à bon nombre d'enseignements de second et troisième cycles.

Le projet a assuré plusieurs enseignements liés aux thèmes de ses recherches :

- dans le DEA d'informatique de Rennes, M. Raynal dispense un cours sur les algorithmes et systèmes distribués (30 heures) ; B. Cousin participe au cours *Réseaux à haut débit* du DEA d'informatique (15 heures), et il a organisé la nouvelle filière *Réseaux et Multimédia* de ce même DEA ;
- à l'ENSTBr, M. Raynal, J.-M. Hélaré et N. Plouzeau assurent un cours sur l'algorithmique distribuée ;
- B. Cousin assure les cours de conception et de dimensionnement des réseaux dans le cadre du DESS-ISA dont il est le responsable ; M. Raynal donne un cours sur la conception et la validation des algorithmes répartis et protocoles aux étudiants de cette même formation.

B. Cousin a présenté les méthodes d'accès des réseaux à haut débit à l'école d'été sur les réseaux qui s'est tenue à Paris en septembre 1994.

## 7 Publications

### Thèses

- [1] C. MAZIERO, *Conception et réalisation d'un noyau de système réparti pour la simulation parallèle*, thèse de doctorat, université de Rennes 1, 1994.
- [2] A. MOSTEFAOUI, *Conception et expérimentation d'algorithmes pour la coopération répartie*, thèse de doctorat, université de Rennes 1, 1994.

## Articles et chapitres de livre

- [3] M. AHUJA, M. RAYNAL, «An Implementation of Global Flush Primitives using Counters», *Parallel Processing Letters* 5, 1, janvier 1995.
- [4] O. BABAOĞLU, M. RAYNAL, «Specification and Verification of Dynamic Properties in Distributed Computations», *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 1995, à paraître.
- [5] E. FROMENTIN, M. RAYNAL, «Local States in Distributed Computations: a Few Relations and Formulas», *ACM Operating Systems Review* 28, 2, avril 1994, p. 65–72.
- [6] J.-M. HÉLARY, A. MOSTEFAOUI, M. RAYNAL, «Déterminer un état global dans un système réparti», *Annales de Télécommunications* 49, 7-8, 1994.
- [7] J.-M. HÉLARY, A. MOSTEFAOUI, M. RAYNAL, «A General Scheme for Token and Tree-Based Distributed Mutual Exclusion Algorithms», *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 5, 11, novembre 1994.
- [8] J.-M. HÉLARY, M. RAYNAL, «Towards the Construction of Distributed Detection Programs, with an Application to Distributed Termination», *Distributed Computing*, 7, 1994, p. 137–147.

## Communications à des congrès, colloques, etc.

- [9] O. BABAOĞLU, M. RAYNAL, «Specification and Verification of Behavioral Patterns in Distributed Computations», in : *Proc. of the 4th IFIP Conference on Dependable Computing for Critical Applications, Dependable Computing*, Springer-Verlag, janvier 1994.
- [10] B. COUSIN, J. HÉLARY, «Performance Improvement of State Space Exploration by Regular and Differential Hashing Functions», in : *Proc. of the 6th Conference on Computer-Aided Verification, LNCS*, 818, Springer-Verlag, Stanford, juin 1994.
- [11] E. FROMENTIN, M. RAYNAL, V. GARG, A. TOMLINSON, «On the Fly Testing of Regular Patterns in Distributed Computations», in : *Proc. of the 23rd International Conference on Parallel Processing*, 2, p. 73–76, St. Charles, IL, USA, août 1994.
- [12] E. FROMENTIN, M. RAYNAL, «Inevitable Global States: a Concept to Detect Unstable Properties of Distributed Computations in an Observer Independent Way», in : *Proc. of the 6th IEEE Symposium on Parallel and Distributed Processing*, Dallas, Texas, octobre 1994.
- [13] O. GERSTEL, M. HURFIN, N. PLOUZEAU, M. RAYNAL, S. ZAKS, «On the Fly Replay: a Practical Paradigm and Its Implementation for Distri-



- buted Debugging», *in: Proc. of the 6th IEEE Symposium on Parallel and Distributed Processing*, Dallas, Texas, octobre 1994.
- [14] J.-M. HÉLARY, A. MOSTEFAOUI, «A  $O(\log 2n)$  Fault-Tolerant Distributed Mutual Exclusion Algorithm Based on Open-Cube Structure», *in: Proc. of the 14th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems*, Poznan, juin 1994.
- [15] M. HURFIN, N. PLOUZEAU, M. RAYNAL, «On Granularity of Events in Distributed Computations», *in: Proceedings of Dimacs Workshop*, American Math. Soc., 1994. Communication invitée.
- [16] M. MIZUNO, M. RAYNAL, G. SINGH, M. NEILSEN, «An Efficient Implementation of Sequentially Consistent Distributed Shared Memories», *in: Proc. of the IFIP WG10.3 Int. Conference on Applications in Parallel and Distributed Computing*, p. 145–154, Caracas, avril 1994.
- [17] M. MIZUNO, M. RAYNAL, Z. ZHOU, «Sequential Consistency in Distributed Systems: Theory and Implementation», *in: Unifying theory and practice in distributed systems*, Birman, Cristian, Mattern, Schiper (éd.), LNCS, Springer-Verlag, septembre 1994.
- [18] A. MOSTEFAOUI, M. RAYNAL, «Definition and Implementation of a Flexible Communication Primitive for Distributed Programs», *in: Proc. of the IFIP WG 10.3 Int. Conference on Applications in Parallel and Distributed Computing*, p. 115–124, Caracas, septembre 1994.
- [19] M. RAYNAL, «La mise au point de programmes répartis : un problème, quelques solutions», *in: conférence Jisi 94, Tunis*, p. 283–302, 1994. Communication invitée.
- [20] G. VIHO, «Errors Suppression in Protocols and Service Preservation», *in: Proceedings of SBT/IEEE International Telecommunications Symposium ITS'94*, p. 398–402, Rio de Janeiro, juillet 1994.

## Rapports de recherche et publications internes

- [21] E. FROMENTIN, C. JARD, G. JOURDAN, M. RAYNAL, «On the Fly Analysis of Distributed Computations», *publication interne n° 859*, Irisa, septembre 1994.
- [22] V. GARG, A. TOMLINSON, E. FROMENTIN, M. RAYNAL, «Expressing and Detecting General Control Flow Properties of Distributed Computations», *publication interne n° 872*, Irisa, octobre 1994, soumis à publication.
- [23] M. MIZUNO, M. RAYNAL, J. ZHOU, «Theory and Implementation of Sequential Consistency», *publication interne n° 871*, Irisa, octobre 1994, soumis à publication.

## 8 Abstract

Design of distributed algorithms and protocols (notably for synchronisation aspects), analysis of distributed computations behavior, consistency of replicated objects, debugging of distributed programs, and high-speed protocols for multimedia applications are the ADP team's main research subjects. Theoretical aspects as well as application results are studied.

Scientific Context:

- Design and use of distributed algorithms
- Distributed synchronisation
- Multimedia and high-speed protocols

Developments:

- Distributed memories consistency
- Environment for distributed programs debugging
- Multimedia synchronisation platform

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Composition de l'équipe</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Présentation générale et objectifs</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Actions de recherche</b>	<b>3</b>
3.1	Problèmes fondamentaux . . . . .	3
3.1.1	Détection de propriétés . . . . .	4
3.1.2	Exclusion mutuelle répartie . . . . .	5
3.1.3	Cohérence des mémoires d'objets réparties . . . . .	5
3.2	Simulation répartie . . . . .	6
3.3	Applications multimédia réparties : la synchronisation . . . . .	7
3.3.1	Applications multimédia réparties : services et protocoles . . . . .	7
3.4	Mise au point des applications réparties et correction de protocoles . . . . .	8
3.4.1	Mise au point des applications réparties . . . . .	8
3.4.2	Correction de protocoles . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Actions industrielles</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Actions nationales et internationales</b>	<b>10</b>
5.1	Comités de programme . . . . .	10
5.2	Contacts internationaux . . . . .	11
5.3	Projets nationaux et internationaux . . . . .	11
5.4	Invitations . . . . .	12
<b>6</b>	<b>Diffusion des résultats</b>	<b>13</b>
6.1	Enseignement . . . . .	13
<b>7</b>	<b>Publications</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>Abstract</b>	<b>16</b>