

# **Programme de recherche**

**Pascale MINET**



**Concevoir des algorithmes, prouver leurs propriétés, établir leurs conditions de faisabilité, et les évaluer dans le domaine des télécommunications, des réseaux sans fil, des systèmes multimédia et de la domotique.**

Ce document est organisé comme suit. La section 1 présente le contexte dans lequel s'inscrivent mes recherches. La thématique est décrite en section 2. Ma démarche est présentée en section 3. Les principaux résultats obtenus récemment sont résumés en section 4. Finalement, la section 5 détaille mes axes de recherche.

## **1. Le contexte**

L'avènement de technologies de plus en plus performantes (ex. : commutateurs longueur d'onde) rend possible le développement d'applications de plus en plus exigeantes en termes de Qualité de Service. Cette Qualité de Service peut se décliner selon les dimensions suivantes :

- **temps réel et interactivité** : les exigences temps réel se situent au niveau des temps de réponse de bout-en-bout (i.e. échéance de remise des messages), mais également au niveau de la variation des temps de réponse (i.e. : gigue). Un exemple est fourni par la téléphonie sur IP. L'exigence d'interactivité est particulièrement sensible dans un jeu distribué avec plusieurs joueurs, ainsi que dans les services multimédia de vidéo à la demande où un client peut, par l'intermédiaire des commandes dont il dispose (i.e. arrêt/marche, pause/reprise, avant/arrière), modifier le déroulement du film qu'il est en train de visualiser.
- **débit** : cette exigence est évidente dans les applications multimédia, qui nécessitent le transfert d'images animées de qualité studio.
- **fiabilité et disponibilité** : les clients n'acceptent pas d'interruption de service. L'arrêt d'un serveur et l'inaccessibilité du réseau sont mal vécus.
- **nomadicité et mobilité** : le client exige de retrouver le même environnement (i.e. son environnement personnalisé) quel que soit l'endroit où il se trouve. Il exige également la continuité du service fourni, même lorsqu'il se déplace.

Parallèlement à cette explosion des demandes, nous assistons à une offre de réseaux de type épine dorsale (backbone) avec des bandes passantes de plus en plus élevées (d'ici quelques années, les réseaux optiques auront une bande passante annoncée de l'ordre du terabit). En conséquence, le problème ne se situe plus au niveau de la bande passante du réseau de type épine dorsale, mais au niveau de la richesse des services offerts aux clients et des qualités de service associées.

La situation au niveau du réseau d'accès est différente avec le développement des réseaux sans fil. La bande passante offerte est de 2 Mb/s pour UMTS, et de 24 Mb/s pour HIPERLAN. L'accès aux services Internet est possible depuis un téléphone portable grâce au protocole WAP (*Wireless Application Protocol*). De nouvelles applications voient ainsi le jour. Pour de telles applications, il devient crucial de parfaitement maîtriser la gestion des ressources pour offrir les qualités de service requises.

En conclusion, dans les deux types de réseau considérés, **la maîtrise de la qualité de service et l'aptitude à supporter de nouveaux services à un coût raisonnable** sont les deux critères essentiels qui permettront de départager les fournisseurs de service.

## 2. La thématique

Je m'intéresse à l'**adéquation entre un service demandé et la réalisation de ce service** par un fournisseur de service. Un service est caractérisé par des propriétés et une **qualité de service**. J'étudie plus particulièrement les aspects de la qualité de service liés à la maîtrise des contraintes **temps réel** (ex: échéances de remise des messages, échéances de terminaison des tâches), des contraintes liées à la **tolérance aux fautes** (ex: nature et nombre de défaillances de processus/réseau à tolérer pendant une durée donnée), et des contraintes de **cohérence** (ex: respect d'invariants portant sur des objets persistants) dans les réseaux/systèmes distribués.

Mes travaux montrent **(i) comment offrir le service avec la qualité de service requise et (ii) dans quelles conditions cette qualité de service peut être garantie**. Il s'agit de concevoir des algorithmes, de prouver leurs propriétés, de les évaluer et d'établir leurs conditions de faisabilité. La garantie déterministe prouvable de la qualité de service repose sur la vérification des conditions de faisabilité associées aux algorithmes utilisés pour réaliser les services considérés ; ces conditions de faisabilité ayant été établies par une analyse pire cas. Leur vérification est effectuée, soit avant que le système ne soit opérationnel, soit lors du contrôle d'admission d'un nouveau client. Dans ce dernier cas, les conditions de faisabilité seront nécessaires et suffisantes, si leur complexité est compatible avec un contrôle d'admission en ligne. Elles ne seront que suffisantes sinon.

Par ailleurs, je m'intéresse aux concepts et algorithmes permettant de faciliter l'**introduction de nouveaux services** tels que la mobilité dans les réseaux et les systèmes construits autour des réseaux. Ainsi dans un réseau sans fil ad-hoc (ex. HIPERLAN ou MANET), la mobilité des clients est facilitée par le concept de relais multipoint, qui permet d'améliorer les performances du routage et de la diffusion.

Les domaines d'application visés sont les réseaux IP, les réseaux sans fil ad-hoc, les systèmes multimédia, les serveurs Web et la domotique.

## 3. La démarche

La démarche adoptée est issue de la méthode TRDF (Temps Réel, Traitement Distribué, Tolérance aux Fautes) développée dans le projet REFLECS.

Cette démarche s'inscrit dans les objectifs que s'est fixé le projet HIPERCOM : **concevoir, évaluer et optimiser les algorithmes de télécommunications**. Elle concerne les domaines d'intervention privilégiés du projet que sont les protocoles, les nouveaux standards de télécommunication et la gestion des qualités de service offerts par les réseaux. Elle a pour terrain d'intervention les nouveaux réseaux et services supportant l'Internet.

## 4. Les principaux résultats obtenus

Les principaux résultats obtenus récemment concernent :

- les systèmes distribués temps réel avec objets persistants,
- la gestion de données répliquées,
- la qualité de service dans les systèmes multimedia,
- le routage dans les réseaux sans fil ad-hoc,
- les diffusions fiables / atomiques temps réel.

Ces résultats sont résumés dans les sections suivantes.

### 4.1. Les systèmes distribués temps réel avec objets persistants

Dans le cadre de systèmes distribués temps réel avec objets persistants, la qualité de service est définie par la **cohérence des objets** accédés et le respect des **échéances de terminaison des tâches**. Chaque tâche accède à des objets persistants liés par des contraintes de cohérence. Nous supposons que toute tâche prise isolément préserve la cohérence du système. Or la cohérence peut être détruite par les exécutions conflictuelles des tâches. Nous nous sommes donc intéressés à la gestion des conflits sous contraintes temps réel.

Avec Soumaya Kamoun, qui a soutenu sa thèse en décembre 2000, thèse dont j'ai assuré la co-direction, nous avons défini le problème ODiTS : Ordonnancement Distribué Temps réel Sérialisable. Nous avons étudié la faisabilité d'un jeu de tâches sporadiques distribuées soumises à des contraintes temps réel et partageant des objets modifiables persistants. Un jeu de tâches ODiTS est dit faisable ssi il existe un ordonnancement satisfaisant les contraintes de cohérence (invariants sur les objets) et les contraintes temps réel (échéances de terminaison des tâches). Le problème est d'autant plus difficile que les tâches distribuées ont une structure en graphe.

Dans un premier temps, une approche générale de résolution du problème ODiTS est proposée. Elle comprend trois composantes chargées respectivement de :

- garantir la sérialisabilité de l'exécution des tâches. Cette première composante est basée sur (i) le partitionnement des tâches en classes et (ii) l'évitement de conflit au sein d'une même classe grâce à un ordre total global par classe ;
- déterminer un algorithme d'ordonnancement temps réel générique en ligne non-préemptif garantissant cet ordre total global par classe ;
- établir les conditions de faisabilité pour une solution mettant en oeuvre les deux composantes précédentes, et ce avant mise en fonctionnement du système. Ces conditions sont obtenues par une analyse pire cas. Les règles permettant d'identifier les scénarios pires cas d'un jeu de tâches ODiTS sont établies. Les scénarios pires cas sont modélisés sous forme d'un graphe orienté cyclique. Le respect des échéances de terminaison des tâches équivaut alors à une **recherche des chemins de coût maximum dans ce graphe**. Cette modélisation permet d'énoncer des conditions de faisabilité nécessaires et suffisantes pour un jeu de tâches et une solution algorithmique au problème ODiTS.

Dans un deuxième temps, deux solutions particulières sont dérivées de cette approche générale : l'une basée sur un ordonnancement périodique selon une séquence prédéfinie (publication IJCIS'2000 jointe) et l'autre basée sur un ordonnancement FIFO (publication à ACIDCA'2000). Chacune de ces solutions fait l'objet d'une étude détaillée. La complexité des

conditions de faisabilité nécessaires et suffisantes obtenues étant élevée, nous proposons des conditions de faisabilité de moindre complexité. Ces conditions, qui généralement ne sont que suffisantes, sont obtenues en observant les scénarios avec une certaine granularité temporelle. Soumaya Kamoun a développé en C++ l'outil OODiTS qui établit les conditions de faisabilité d'un jeu de tâches ODiTS pour l'ordonnancement FIFO et pour l'ordonnancement périodique, et en déduit si le jeu de tâches considéré est faisable.

Dans un troisième temps, nous comparons, pour un jeu de tâches ODiTS donné, les deux algorithmes d'ordonnancement étudiés. Nous prouvons que les tâches avec une structure en étoile ont des temps de réponse pires cas plus petits avec l'ordonnancement FIFO qu'avec tout ordonnancement périodique. Inversement, nous montrons que l'ordonnancement périodique peut donner de meilleurs résultats pour des tâches en cascade. Plus généralement, nous donnons la relation liant, pour toute tâche sporadique ayant une structure en graphe, ses temps de réponse pires cas obtenus avec FIFO et avec un ordonnancement périodique selon une séquence prédéfinie.

Voir la publication IJCIS'01 jointe.

#### ***4.2. La gestion de données répliquées***

Il existe plusieurs approches pour gérer les données répliquées. J'ai étudié deux approches. L'une est basée sur un **modèle symétrique** des réplicas (i.e. tous les réplicas jouent le même rôle) et utilise la diffusion atomique : toute mise-à-jour est diffusée à tous les réplicas qui appliquent la mise-à-jour reçue dans l'ordre imposé par la diffusion atomique. Cette approche est développée dans l'article publié à PDCS'99 (publication jointe). Nous considérons un système dont la tolérance aux fautes est basée sur la redondance active (i.e. les tâches s'exécutent en copies multiples, une copie par processeur). Chaque copie de la tâche accède à des données locales persistentes liées par des contraintes de cohérence. Toutes les copies qui terminent leur exécution doivent terminer avant l'échéance de la tâche. Avec les hypothèses de défaillance considérées (au plus  $k$  arrêts de processeurs), au moins une copie de la tâche termine son exécution. Nous proposons une solution garantissant l'équivalence à une exécution en série des tâches accédant à des données non répliquées (i.e. one copy serialisability). Nous établissons les conditions de faisabilité pour un jeu de tâches sporadiques.

L'autre approche est basée sur un **modèle asymétrique** des réplicas (i.e. pour chaque donnée répliquée, une copie est désignée comme copie primaire, les autres copies étant des copies secondaires). Les mises-à-jour sont d'abord effectuées sur les copies primaires puis propagées ultérieurement sur les copies secondaires. Plus précisément, une transaction peut valider après avoir mis à jour un seul réplica (la copie primaire) sur le noeud maître. Les mises à jour sont ensuite propagées aux autres réplicas (les copies secondaires), qui sont mis à jour dans des transactions de rafraîchissement séparées. La conception d'algorithmes chargés de maintenir la cohérence des réplicas tout en minimisant la dégradation des performances due à la synchronisation des transactions de rafraîchissement, est un problème crucial. Dans ce contexte, la qualité de service s'exprime par la fraîcheur des données accédées. Dans l'étude réalisée en collaboration avec le projet RODIN, nous proposons un algorithme de rafraîchissement simple et général qui résout ce problème, et nous prouvons sa correction. Nous présentons ensuite deux optimisations majeures de cet algorithme. La première optimisation est basée sur des propriétés topologiques de la configuration des réplicas. La

deuxième optimisation améliore la fraîcheur des données en utilisant une stratégie de propagation immédiate des mises à jour. Notre évaluation de performances montre l'efficacité de cette optimisation. Cette étude fait l'objet d'une publication dans le journal DAPD, 2001 (publication jointe).

#### ***4.3. La qualité de service dans les systèmes multimedia***

La qualité de service dans les systèmes multimedia offrant des services de **vidéo à la demande** fait l'objet de la thèse de Dana Olariu, thèse dont j'assure la direction. Dans la publication IJCIS'00 jointe, nous montrons comment à partir des exigences de qualité de service d'un client (forte interactivité, fluidité de la visualisation, grande étendue du choix des contenus vidéo proposés, continuité de service), en déduire les propriétés que doit assurer le système multimedia. Le trafic associé au transfert d'un contenu vidéo vers le client ainsi que les commandes émises par le client sont modélisées. Nous montrons comment **optimiser la durée de séjour maximum garantie** dans un noeud impliqué dans la réalisation du service, afin de satisfaire d'une part la contrainte sur le temps de réponse de bout-en-bout (ce qui milite pour une courte durée de séjour), et d'autre part l'admission d'autres trafics (ce qui milite pour une longue durée de séjour). Nous proposons un contrôle d'admission et montrons comment intégrer les résultats obtenus lorsque chaque noeud impliqué dans la réalisation du service traite les requêtes selon un ordonnancement non-préemptif Earliest Deadline First.

Avec Laurent George, nous avons proposé une architecture de serveur de vidéo à la demande permettant d'améliorer les temps de réponse des commandes émises par le client (ex. : play, start), de réduire la taille des buffers chez le client, et d'accroître la flexibilité du système (ex. : coexistence de contenus vidéo codés à des débits différents). Dans l'architecture proposée, les disques magnétiques sont organisés en groupes statiques. Un contenu vidéo est découpé en blocs et ces blocs sont stockés sur un groupe. Lors de la transmission du contenu vidéo à un client, tous les disques du groupe sont sollicités. L'ordonnancement des requêtes dans un groupe est effectué par round. Le contrôle d'admission choisit le round dans lequel sera traitée la première requête associée à une nouvelle transmission d'un contenu vidéo ; ceci afin d'équilibrer la charge entre tous les disques du groupe. Nous montrons par une évaluation quantitative que cette solution permet d'accepter un plus grand nombre de clients. Ceci a été publié à SoftCOM'2000.

Nous avons ensuite étudié l'apport des SSDs (Solid State Disks) dans les systèmes multimedia. Les SSDs présentent deux avantages essentiels par rapport aux disques magnétiques : des temps d'accès beaucoup plus courts et constants. Nous proposons une architecture de stockage dans laquelle les SSDs stockent le catalogue des contenus vidéo disponibles, ainsi qu'une petite partie des contenus vidéo en cours de visualisation par les clients. Nous définissons l'ordonnancement des requêtes d'accès à un module de stockage et établissons les conditions de faisabilité associées. Puis, nous montrons comment les SSDs permettent d'améliorer la qualité de service perçue par le client (ex. : temps de réponse plus courts), de réduire la taille des buffers chez le client et d'accepter un plus grand nombre de clients. Ceci a fait l'objet d'une publication à PROMS'2000.

#### 4.4. Le routage dans les réseaux sans fil

Dans un réseau HIPERLAN (High Performance Radio Local Area Network), la zone de couverture radio d'une station ne permet généralement pas à cette station d'atteindre toutes les autres stations. Afin d'offrir à l'utilisateur des services MAC d'un HIPERLAN les mêmes services qu'un réseau local filaire (ex: Ethernet), le routage est nécessairement effectué dans la couche MAC. Il doit satisfaire les propriétés suivantes :

- permettre le routage des **transmissions point-à-point ou multipoint**. Une transmission multipoint désigne soit une diffusion sélective (multicast), soit une diffusion générale (broadcast).
- **s'adapter aux changements** de topologie (ex. : défaillance d'une station, retrait / ajout d'une station, modification de la portée radio ...).
- supporter la **mobilité des stations**. Toute station d'un HIPERLAN est susceptible de se déplacer, à la différence d'un réseau GSM où les bases sont fixes.
- permettre une implémentation du protocole sur des **ordinateurs portables**.
- **être décentralisé**, conformément au document ETSI.

A la différence des réseaux filaires, la symétrie des liaisons radio n'est pas assurée. Le protocole d'échange de Hello permettant à une station de signaler sa présence aux stations appartenant à sa zone de couverture, est modifié afin d'intégrer la vérification de la symétrie des liaisons.

La solution retenue est de type :

- **routage proactif** : le protocole maintient en permanence les tables de routage pour toutes les destinations "vivantes" du réseau,
- **routage saut par saut** : à la différence du routage par la source, le routage saut par saut permet de modifier la route empruntée par un message, et ce même durant le transit du message, ceci afin de s'adapter aux changements de topologie,
- **routage basé sur l'état des liaisons (link state)** : cette propagation de l'état des liaisons permet à chaque station d'avoir connaissance de la topologie et donc de construire sa table de routage.

L'originalité de cette solution réside dans les **relais multipoint**. Ces relais multipoint ont été introduits afin de gérer efficacement la propagation de l'état des liens. Au lieu d'utiliser l'inondation, un message n'est relayé que par les relais multipoint de la station réceptrice. Chaque station désigne ses relais multipoint : il s'agit d'un sous-ensemble minimal des stations Relais voisines de la station considérée permettant d'atteindre toutes les stations à deux sauts. A chaque saut, un message multipoint n'est relayé que par les relais multipoint de l'émetteur.

Cette solution se veut avant tout être un ensemble minimum de règles nécessaires à l'interopérabilité tout en laissant place à une grande flexibilité d'implémentation. Dans la publication jointe [JMM96] (article paru dans Wireless Personal Communication), des performances sont données pour différents HIPERLANs, elles montrent que le coût majeur du protocole provient de la vérification de la symétrie des liaisons radio et non de la propagation de l'état des liaisons radio.

Ces travaux sur le routage sont repris dans la norme HIPERLAN, standard ETSI (voir [ETS96]). De plus, PROXIM annonce pour la fin de l'année 2001 un réseau HIPERLAN à 24



Mbits/s.

A l'IETF, le groupe MANET s'intéresse au routage dans les réseaux sans fil ad-hoc. Le protocole de routage OLSR, Optimized Link State Routing, lui a été proposé. Ce protocole reprend à quelques exceptions près, les principes du routage HIPERLAN.

#### ***4.5. Les diffusions fiables / atomiques temps réel***

J'ai co-dirigé deux thèses portant entre autres sur la **diffusion atomique uniforme au sein d'un groupe**, en modèle à Délais Bornés Connus. Une diffusion atomique est une diffusion fiable avec un même ordre de remise des messages pour tous les processus corrects du groupe. Les défaillances tolérées, en nombre borné, sont de type arrêt pour les processus et de type omission pour le réseau.

**Le premier protocole, ABP** (Atomic Broadcast Protocol), proposé dans la thèse d'Emmanuelle Anceaume (soutenue en 1993), s'appuie sur la vue du groupe. La tolérance aux fautes est de type détection/recouvrement. Ses performances ont été évaluées par simulation.

**Le deuxième protocole, plus exactement la famille de protocoles** de diffusion atomique proposée dans la thèse de Laurent George (soutenue en 1998), ne s'appuie pas sur la vue du groupe et offre un ordre total global préservant localement/globalement l'ordre FIFO/causal/chronologique. La tolérance aux fautes est basée sur le masquage. Les contraintes temps réel sont garanties sous réserve de satisfaire les conditions de faisabilité temps réel. Dans l'article publié à LCTES'98, nous proposons une diffusion fiable uniforme temps réel basé sur un ordonnancement non-préemptif Earliest Deadline First. Nous établissons les conditions sous lesquelles les messages sont remis à leurs destinataires non défaillants au plus tard à leur échéance, en supposant que les demandes de diffusion sont sporadiques.

Dans le cadre du projet ATR (Accord Temps Réel), j'ai contribué à la conception de la composante temps réel d'un algorithme de diffusion atomique uniforme basé sur un système de phases synchronisées et sur des détecteurs de défaillances.

### **5. Les travaux futurs**

Comme nous l'avons vu, **la maîtrise de la qualité de service et l'aptitude à supporter de nouveaux services à un coût raisonnable** sont deux objectifs cruciaux dans le domaine des télécommunications, des réseaux sans fil ad-hoc, des systèmes multimédia et de la domotique.

La maîtrise de la qualité de service dans les réseaux nécessite de définir :

- *des modèles de qualité de service* : deux grandes approches existent : les Services Intégrés (IntServ définie dans [BZB97] et [Wro97]), et les Services Différenciés (Diffserv définie dans [BBC98]). Une approche hybride est-elle possible ?
- *des protocoles de signalisation de réservation de ressources* : le premier protocole défini dans ce domaine est RSVP [BZB97]. Il souffre de limitations ;
- *des protocoles d'accès au médium gérant la qualité de service* : en domotique, de nouveaux protocoles voient le jour (ex. : Bluetooth), comment obtenir une qualité de service ?

- *des protocoles de routage selon la qualité de service* ; la prise en compte de la qualité de service dans les protocoles de routage pour les réseaux mobiles ad-hoc (groupe MANET de l'IETF) offre une perspective intéressante.

- *des algorithmes d'ordonnancement*: comment faire coopérer les ordonnancements locaux au niveau de chaque routeur (ex. : Weighted Fair Queuing [PG92], ordonnancement basé sur les débits [ZK91], Highest Priority First, Earliest Class Deadline First [GM99]), afin d'éviter tant que faire se peut qu'un message ne se retrouve en situation pire cas sur chaque routeur ? Comment évaluer les conditions de faisabilité temps réel (ex. échéances de remise des messages respectées) de l'ordonnancement ainsi obtenu ? Une approche par trajectoire (ex. : (max,+)), à la différence de l'approche holistique ne considère que des scénarios pires cas possibles.

- *du contrôle d'admission* : comment intégrer les conditions de faisabilité dans le contrôle d'admission effectué par le réseau ? Un nouveau client n'est accepté par le contrôle d'admission que dans la mesure où la qualité de service qu'il demande peut lui être accordée sans remettre en cause les garanties accordées aux clients déjà acceptés.

La qualité de service étant supposée maîtrisée au niveau du réseau, comment la maîtriser dans les systèmes multimédia (ex. : temps de réponse courts aux commandes interactives du client dans un système de vidéo à la demande) et dans les serveurs Web (ex. : accès privilégié à certaines pages Web) ?

La prise en compte de la micro-mobilité par le réseau constitue également un de mes thèmes de travail. Classiquement, la mobilité est gérée par le protocole IP mobile. Ce protocole est bien adapté pour gérer la macro-mobilité, il l'est moins pour la micro-mobilité. Ces différents thèmes sont développés ci-après.

### **5.1. Modèles de Qualité de Service dans les réseaux**

Avec l'évolution d'Internet vers une infrastructure de communication globale, n'offrir que des services au mieux (best effort) n'est plus envisageable. La maîtrise de la Qualité de Service est devenue nécessaire. Deux grandes approches existent :

- l'une dite approche avec état (stateful). Cette approche est illustrée par les Services Intégrés (IntServ) (voir [BZB97] et [Wro97]), où chaque routeur maintient un état par flux le traversant. La Qualité de Service est gérée au niveau de chaque flux. Cette approche permet de garantir la Qualité de Service à un niveau très fin, mais présente un mauvais facteur d'échelle.
- l'autre dite approche sans état (stateless). Cette approche est illustrée par les Services Différenciés (DiffServ) [BBC98]. La Qualité de Service est gérée au niveau d'un agrégat de flux. Le facteur d'échelle est bon, mais le niveau de garantie offert est très limité.

Il s'agit de concevoir une approche hybride [SZ99] permettant de réunir le meilleur de l'approche sans état et de l'approche avec état, dans le but de maîtriser la dimension temporelle de la qualité de service (ex: échéances de remise des messages, gigue maximale en réception) dans les réseaux.

## **5.2. Ordonnancement distribué temps réel**

Il existe différents algorithmes d'ordonnancement temps réel monoprocesseur permettant à un processeur de gérer localement plusieurs classes de service, comme par exemple Weighted Fair Queuing [PG92], ordonnancement basé sur les débits [ZK91], Highest Priority First, Earliest Class Deadline First [GM99] ; comment faire coopérer ces ordonnancements locaux, au niveau de chaque routeur, afin d'éviter tant que faire se peut qu'un message ne se retrouve en situation pire cas sur chaque routeur ?

Dans le but de garantir une qualité de service déterministe en offrant une borne sur les temps de réponse de bout-en-bout, l'établissement des conditions de faisabilité associées à un ordonnancement distribué temps réel est basé sur une analyse pire cas. Pour ce faire, l'approche holistique ([Tin95], voir [GM98] pour un exemple d'utilisation) est la plus utilisée. Malheureusement, elle peut s'avérer très pessimiste, dans la mesure où l'on n'obtient qu'un majorant du temps de réponse pire cas de bout-en-bout. Ceci provient du fait qu'elle considère des scénarios qui peuvent ne pas être possibles, comme par exemple un message en situation pire cas sur chaque routeur traversé. L'approche par trajectoire (ex. : (max,+)), basée uniquement sur des scénarios possibles, est préférable, sous réserve que l'on puisse caractériser facilement ces scénarios.

## **5.3. Réseaux sans fil ad-hoc : gestion de la qualité de service, communication multipoint, routage**

Les réseaux sans fil ad-hoc se distinguent par une bande passante limitée, une topologie dynamique et la mobilité des stations. C'est pourquoi les solutions classiques vis-à-vis de la gestion de la qualité de service ne sont pas adaptées [XSL00]. Les travaux envisagés concernent la qualité de service, les communications multipoint (multicast) et le routage. Remarquons que pour les réseaux sans fil ad-hoc ayant un protocole d'accès au médium probabiliste (ex. : réseau HIPERLAN), il est exclu d'établir une garantie déterministe de la qualité de service. Des travaux vont commencer sur la prise en compte de la qualité de service au niveau notamment du routage.

Dans les réseaux sans fil ad-hoc, les communications multipoint (voir [Ram00] pour une synthèse des protocoles existants) doivent optimiser la bande passante, qui est la ressource rare. Notre objectif est de définir un protocole de diffusion sélective (multicast) s'appuyant sur le protocole de routage OLSR. Cette diffusion sélective est effectuée selon un arbre de diffusion. Comment construire cet arbre ? ex.1: à partir d'un arbre de diffusion générale, en élaguant les branches inutiles ; ex. 2: construire directement cet arbre à partir des destinataires en remontant vers la source. Combien d'arbres sont maintenus ? ex.3: un arbre par source et par groupe ; ex.4 : un arbre par groupe.

## **5.4. Micro-mobilité dans un réseau IP**

Dans un réseau IP, la mobilité est gérée par le protocole IP mobile. Or ce protocole est bien adapté à la mobilité inter-domaines (macro-mobilité), mais il l'est beaucoup moins pour la mobilité intra-domaine (micro-mobilité). En effet, la durée relativement grande pour effectuer

la mise-à-jour de la localisation ne permet pas d'exécuter des "handover" aussi rapides que ceux du système cellulaire (GSM).

Il s'agit donc d'adapter les techniques des réseaux ad-hoc (cf. groupe MANET de l'IETF) pour gérer plus efficacement cette micro-mobilité. Dans un deuxième temps, le travail consistera à étudier l'impact de la mobilité sur la qualité de service et à proposer une solution permettant de minimiser l'impact de la micro-mobilité sur la qualité de service.

### ***5.5. Systèmes multimédia : maîtrise de la qualité de service de bout-en-bout***

En ce qui concerne les systèmes multimédia de vidéo à la demande, il s'agit de poursuivre ce qui a déjà été commencé (cf. section 4.3). Les différentes contributions sur le contrôle d'admission, l'architecture d'un serveur multimédia, et les disques SSD seront intégrées afin de maîtriser la qualité de service de bout-en-bout incluant le réseau, les modules de stockage, de traitement, et de transmission. Une architecture sera proposée et la qualité de service de bout-en-bout sera évaluée. Un nouveau client n'est accepté par le contrôle d'admission que dans la mesure où la qualité de service qu'il demande peut lui être accordée sans remettre en cause les garanties accordées aux clients déjà acceptés.

### ***5.6. Domotique: protocoles d'accès au médium et qualité de service***

Le domaine de la domotique est un domaine en pleine expansion qui tend à proposer à un client des applications à valeur ajoutée dans une maison ou un immeuble. Les domaines visés sont par exemple la vidéo surveillance, la mise en oeuvre d'applications distribuées multimédia. Ces applications temps réel doivent coexister avec d'autres applications non temps réel.

L'hétérogénéité et la diversité des équipements disponibles pour la domotique posent également des problèmes d'interconnexion entre équipements et entre sites (accès distant). Le protocole IP semble être de ce point de vue un protocole fédérateur.

Pour toutes ces applications on peut noter les besoins en hauts débits et la nécessité de garantir la qualité des services (QoS) rendus au client. La domotique se caractérise également par la simplicité d'installation et d'utilisation des solutions proposées ainsi qu'un coût d'interconnexion raisonnable.

Nous étudierons les différentes techniques d'accès au médium (ex. : Bluetooth, IEEE802.11, HIPERLAN) et identifierons les propriétés inhérentes à chaque technique. Tout type de support (filaire, ou radio) est à priori envisagé. Nous proposerons ensuite une technique d'accès au médium permettant de prendre en compte les exigences applicatives en terme de qualité de service pour la domotique. Par exemple: prise en compte des priorités applicatives jusqu'au niveau du coupleur réseau (sur l'ensemble des couches utilisées), prise en compte de plusieurs classes de service, déterminisme sur les temps d'accès au médium. Une phase d'évaluation de performances de la solution, par simulation, est prévue.

### 5.7. Qualité de service pour un serveur Web

Le développement de serveurs Web est en pleine expansion. Quelles qualités de service offrent-ils à leurs clients ? Les études existantes ne s'intéressent qu'au comportement moyen du système fournissant les services demandés. Ces comportements sont généralement étudiés par simulation ou analyse probabiliste. Un des objectifs des travaux à accomplir est d'offrir une garantie déterministe sur les comportements pires cas pour les hypothèses adoptées.

Nous identifierons les propriétés requises au niveau applicatif (ex: équité entre les différents utilisateurs d'un même service, accès privilégiés à certaines pages Web [PBO98], disponibilité des services, temps de réponse déterministe des serveurs [ADM98], mobilité des utilisateurs, ...). Nous déterminerons comment obtenir la qualité de service requise en s'appuyant sur les propriétés souhaitables du réseau utilisé (ex: communication fiable avec délai de bout-en-bout borné, gigue maximale bornée, mobilité des utilisateurs,...). L'architecture de serveur http la mieux adaptée à intégration de la qualité de service sera choisie. Les requêtes seront modélisées et leurs temps de réponse seront évalués par une analyse pire cas et comparés à des mesures sur prototype.

### Références

- [ADM98] J. Almeida, M. Dabu, A. Manikutty, P. Cao, "*Providing differentiated levels of service in web content hosting*", SIGMETRICS workshop on Internet server performance, 1998.
- [BBC98] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, "*An architecture for Differentiated Services*", RFC2475, DiffServ, IETF, proposed standard, December 1998.
- [BZB97] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, "*Resource ReSerVation Protocol (RSVP)*", Version 1, Functional Specification, RFC2205, IETF, 112p., proposed standard, September 1997.
- [ETS96] Avec les groupes de travail SAG et PDG du comité RES-10 de l'ETSI, "*Radio Equipment and Systems (RES); High PERformance Radio Local Area Network (HIPERLAN); Functional specification*", ETS 300.652, European standard, June 1996.
- [GM98] L. George, P. Minet, "*A uniform reliable multicast protocol with guaranteed response times*", LCTES'98, ACM SIGPLAN 1998 workshop on Languages, Compilers and Tools for Embedded Systems, Montreal, Canada, June 1998.
- [GM99] L. George, P. Minet, "*A solution preserving consistency of replicated objects with hard real-time constraints*", ISCA 12th int. conf. on Parallel and Distributed Computing Systems, PDCS'99, Fort Lauderdale, Florida, USA, August 1999.
- [GMM00] L. George, D. Marinca, P. Minet, "*A solution for a deterministic QoS in multimedia systems*", International Journal on Computer and Information Science, Vol.1, No 3, pp. 106-119, October 2000.
- [JMM97] P. Jacquet, P. Minet, P. Muhlethaler, N. Rivierre, "*Increasing reliability in cable-free radio LANs: low level forwarding in HIPERLAN*", Wireless Personal

Communications, Vol.4, No 1, pp. 51-63, Kluwer Academic Publishers, Netherland, January 1997.

- [KM00] S. Kamoun, P. Minet, “*Periodic scheduling of distributed tasks with consistency and hard real-time constraints*”, International Journal on Computer and Information Science, to appear, 2001.
- [PBO98] R. Pandley, J.F. Barnes, R. Olsson, “*Supporting quality of service in http servers*”, 17th SIGACT-SIGOPS symposium on Principles of Distributed Computing, Puerto Vallarta, Mexico, June 1998.
- [PG92] A. Parekh, R. Gallager, “*A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks - the single node case*”, INFOCOM92, Florence, Italy, 1992.
- [PMS01] E. Pacitti, P. Minet, E. Simon, “*Replica consistency in lazy master replicated databases*”, Distributed and Parallel Databases Journal, Kluwer Academic Publishers, Vol.9, No 3, pp. 237-267, March 2001.
- [Ram00] M. Ramalho, “*Intra and inter-domain multicast routing protocols : a survey and taxonomy*”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 3 no. 1, First Quarter 2000.
- [SZ99] I. Stoica, H. Zhang, “*Providing guaranteed services without per flow management*”, ACM SIGCOMM’99, Boston, MA, September 1999.
- [Tin95] K. Tindell, “*Holistic schedulability analysis for distributed hard real-time systems*”, Euromicro journal, Special issue on Embedded Real-Time Systems, February 1995.
- [Wro97] J. Wroclawski, “*The use of RSVP with IETF Integrated Services*”, RFC2210, IntServ, IETF, proposed standard, September 1997.
- [XSL00] H.Xiao, W.K.G. Seah, A. Lo and K.C. Chua, “*A flexible quality of service model for mobile ad-hoc networks*”, IEEE VTC2000-Spring, Tokyo, Japan, May 2000.
- [ZK91] H. Zhang, S. Keshav, “*Comparison of rate-based service disciplines*”, Computer Communication Review, 21(4), pp113-121, September 1991.