

PROGRAMME DE RECHERCHE DETAILLE

Nom/*Last name*: MINET Prénom/*First name*: Pascale

Mes recherches s'inscrivent dans le contexte des **télécommunications** décrit en section 1. Elles s'organisent autour des cinq axes suivants, chacun faisant l'objet d'une section (sections 2 à 6) : (i) Qualité de service (QoS) dans les réseaux mobiles ad-hoc (ii) Diffusion générale et diffusion sélective dans les réseaux ad-hoc, (iii) Gestion de la mobilité universelle dans les réseaux IP, (iv) Multimédia : qualité de service et réseaux ad-hoc en domotique, (v) Ordonnancement distribué temps réel. La section 7 présente mes motivations.

1. Le contexte

Dans le domaine des télécommunications, nous pouvons identifier deux secteurs clés : internet et les mobiles. L'**accès internet haut débit** s'est popularisé avec les offres commerciales attractives des fournisseurs. Surfer sur le web ou télécharger des fichiers est devenu aisé grâce aux connexions ADSL. Le **multimédia** est appelé à jouer un rôle prépondérant. D'après [14], en 2006, 40% de la population bénéficiant d'une connexion Internet haut débit sollicitera des services multimédia de vidéo à la demande (VoD). Aux Etats-Unis, on estime ce nombre à 7,6 millions. Le marché asiatique représentera 37% du marché mondial du VoD, l'Europe 15% et les autres pays 4,7%. Bien que l'accès internet depuis un téléphone mobile n'ait pas connu le succès escompté en raison des faibles performances de ces terminaux, ceci est en train de changer avec les nouveaux portables multimédia. Le nouveau téléphone portable caméscope de Samsung par exemple, permet de réaliser et d'expédier des vidéos d'une durée de 20 minutes.

La technologie des **réseaux locaux sans fil** est en plein essor avec les standards WiFi, IEEE 802.11, Bluetooth et Hiperlan (voir [15] pour une synthèse). En outre, les cartes réseau sans fil s'avèrent d'une utilisation simple. Plus de dix millions de cartes ont déjà été installées. Elles offrent de meilleures performances que les réseaux UMTS qui ne sont toujours pas déployés (ex : débit de 10Mb/s pour 802.11 au lieu de 2Mb/s pour UMTS) et ceci pour un coût moindre. Les opérateurs (ex : Orange) bien qu'ayant massivement investi dans l'acquisition de licences UMTS vont offrir la technologie WiFi comme extension de leur offre de services de données mobiles. D'ici la fin de l'année, 400 hot spots (gares, aéroports, centres de congrès) devraient être équipés par Orange, pour permettre à ses utilisateurs de se connecter à Internet depuis leur ordinateur portable. Cette utilisation est rendue possible grâce à l'assouplissement des règles fixées par l'ART concernant l'usage de la bande de fréquence des 2,4 GHz. Les terminaux (téléphones, ordinateurs portables, PDA) offrent déjà plusieurs interfaces sans fil et filaire et permettront à l'utilisateur de choisir celle qui est la mieux adaptée à ses besoins. Le protocole IP est le protocole fédérateur.

Les **réseaux mobiles ad-hoc**, qui sont des réseaux sans fil sans infrastructure et autonomes, suscitent un très vif intérêt dès lors qu'ils ont prouvé leur aptitude à résister aux catastrophes naturelles ou provoquées. En outre, les militaires les expérimentent pour leurs futurs réseaux tactiques. Au niveau des académiques, les universités américaines (ex : UCLA, Columbia, Rice, CMU) travaillent sur ce sujet. L'initiative MICS (Mobile Information and Communication Systems) regroupe les écoles polytechniques suisses et leurs partenaires pour fédérer les travaux sur les réseaux ad-hoc. C'est dans ce contexte que s'inscrivent mes recherches.

2. Qualité de service (QoS) dans les réseaux mobiles ad-hoc

L'avènement de technologies de plus en plus performantes rend possible le développement d'applications de plus en plus exigeantes en termes de **qualité de service (QoS)**. Cette Qualité de Service, telle que perçue par l'utilisateur, 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 de commandes (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. Ceci peut se résumer en "l'accès au réseau en tout lieu et à tout instant".
- *sécurité* : le client exige d'avoir au moins la même sécurité que sur le réseau filaire.
- *coût*.

Les réseaux sans fil ad-hoc se distinguent par une bande passante limitée, une topologie fortement dynamique en raison entre autres de la mobilité des stations, et une énergie limitée (i.e. batterie des portables). C'est pourquoi les solutions classiques vis-à-vis de la gestion de la qualité de service (QoS) ne sont pas adaptées [22]. Pour offrir la QoS dans les réseaux mobiles ad-hoc, il faut :

- **Définir un modèle de QoS adapté aux spécificités des réseaux ad-hoc.** Trois modèles existent. Le premier modèle apparu, INSIGNIA [12], peut être considéré comme une adaptation du modèle IntServ aux réseaux ad-hoc. Comme lui, il souffre d'une mauvaise extensibilité. Le modèle SWAN [1] permet une différenciation de services. Les flux temps réel font l'objet d'un contrôle d'admission par le noeud source, et les autres flux sont traités en best effort (au mieux). Le modèle FQMM [22] est un modèle hybride traitant la plus grande partie des flux par classe, les autres flux étant traités individuellement. Nous souhaitons comparer ces modèles et évaluer leurs mérites respectifs. Quelles performances peuvent en résulter et qu'en est-il de l'utilisation des ressources du réseau?
- **Prendre en compte la QoS dans les protocoles d'accès au médium des réseaux sans fil.** Des travaux sont en cours pour introduire des priorités dans le protocole IEEE 802.11 en calibrant le temps d'attente d'un message avant émission en fonction de sa priorité [21]. L'attribution de la priorité d'un message, telle que nous l'avons définie dans HIPERLAN, tient compte de l'importance du message, de son échéance de remise au destinataire final et du nombre de sauts restant à parcourir. Au niveau de Bluetooth, [6] propose une évaluation des mécanismes de polling en présence de trafics aux caractéristiques différentes. Nous souhaitons étendre cette évaluation à des trafics temps réel sporadiques en présence de trafics non temps réel.
- **Prendre en compte la QoS dans les protocoles de routage des réseaux ad-hoc.** Parmi les protocoles de routage retenus dans le groupe MANET (Mobile Ad-hoc NETWORK) de l'IETF, seul AODV propose une extension supportant la QoS [17]. Nous désirons étendre le protocole de routage OLSR, afin de lui permettre d'établir des routes offrant la QoS demandée. La forte dynamique des réseaux ad-hoc et la perturbation mutuelle entre voisins à deux sauts ajoutent à la complexité du problème.
- **Evaluer/estimer la QoS fournie.** Quels paramètres de QoS seront évalués? Comment le seront-ils? Cette évaluation entraînera-t-elle la génération de messages spécifiques (signalisation out-of-band)? Sinon, comment intégrer les informations nécessaires dans les messages existants (signalisation in-band)?
- **Définir un contrôle d'admission pour le trafic le plus prioritaire (ex. trafic temps réel).** Ce contrôle d'admission doit avoir une complexité compatible avec une exécution en ligne. Sur quels critères baser ce contrôle : la bande passante disponible, la durée de séjour pouvant être garantie? Ces critères sont-ils locaux (noeud source) ou concernent-ils tous les noeuds visités? Quelle est l'incidence sur les performances perçues par l'utilisateur et sur l'utilisation des ressources?

3. Diffusion générale et diffusion sélective dans les réseaux ad-hoc

Disséminer une information (ex. topologie du réseau dans un protocole de routage proactif, annonce d'un service) ou une demande d'information (ex. demande de route dans un protocole de routage réactif, demande de service) fait appel à la diffusion. Comment **diffuser une information à travers un réseau ad-hoc** en minimisant les retransmissions inutiles ? Les relais multipoint constituent une première proposition. Comment cette proposition se compare-t-elle en termes de performances et de tolérance aux fautes par rapport aux propositions basées sur une ensemble minimum dominant connexe [2] ? Dans le cadre de **diffusions sélectives**, comment permettre à un hôte de recevoir les données diffusées dans un groupe ? Dans les réseaux sans fil ad-hoc, les diffusions (voir [18] 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). Cette diffusion sélective est effectuée selon un arbre de diffusion construit de façon décentralisée en s'appuyant sur le protocole de routage OLSR. Nous verrons comment **fiabiliser** cet arbre, afin de tolérer d'éventuelles pertes de messages.

Ces travaux intéressent entre autres le CELAR et pourraient être conduits dans le cadre d'une suite au projet actuel.

4. Gestion de la mobilité universelle dans les réseaux 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). Nous avons proposé dans le projet RNRT Arcade (<http://www-rp.lip6.fr/arcade>), une architecture permettant d'étendre le réseau d'accès au-delà d'un saut d'une station de base. Cette architecture utilise des techniques des réseaux ad-hoc (i.e. le routage OLSR proposé dans le groupe de travail MANET de l'IETF) pour gérer plus efficacement la micro-mobilité dans un réseau IP. Dans [5], nous montrons comment coupler Mobile IP et OLSR pour offrir une **gestion intégrée de la mobilité**. Il s'agit maintenant de poursuivre ces travaux en proposant une solution intégrant la gestion de la **mobilité rapide** [4] et en évaluant les performances de la solution ainsi complétée. 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.

Ce thème sera traité en collaboration avec le LRI (K. Al Ahgha). Une proposition de projet RNRT avec comme autres partenaires académiques LIP6, LIPN, INRIA Sophia, université d'Evry, et comme partenaires industriels Thales, France Télécom R&D, Equant et QoS MOS est en cours de rédaction.

5. Multimédia : qualité de service et réseaux ad-hoc en domotique

Le domaine de la **domotique** est un domaine en pleine expansion qui tend à proposer au domicile d'un client des applications à haute valeur ajoutée. La domotique se caractérise également par la simplicité d'installation et d'utilisation des solutions proposées ainsi qu'un coût d'interconnexion raisonnable. Les domaines visés sont par exemple la vidéo surveillance, la mise en oeuvre d'**applications distribuées multimédia**. Par exemple, une Set Top Box reçoit les flux multimédia et les envoie via un réseau sans fil sur différents écrans répartis dans la maison, pendant que d'autres utilisateurs surfent sur le Web grâce à l'accès Internet fourni par la Set Top Box, et téléchargent des fichiers. Comment faire co-exister ces différents flux, certains étant temps réel, d'autres non ? Quelles performances peut-on espérer ? 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 est 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.

Les **flux VBR** (Variable Bit Rate) se caractérisent par une grande variabilité de leur débit. Comment offrir

une qualité de service à ces flux ? Que leur garantir ? L'algorithme de lissage optimal proposé dans [19] permet de réduire la variabilité des flux. Le codage des flux par la technique des ondelettes permettrait d'ignorer les paquets les moins significatifs en cas de surcharge du réseau sans nuire à la qualité de la restitution telle qu'elle est perçue par l'utilisateur.

La qualité de service dans les réseaux sans fil basés sur le protocole 802.11 intéresse Thomson Multimédia.

6. Ordonnancement distribué temps réel

En environnement monoprocesseur, les politiques d'ordonnancement les plus connues sont FIFO, EDF, les priorités fixes et les politiques Weighted Fair Queuing [16]. La détermination des **conditions de faisabilité temps réel** d'un jeu de tâches ou d'un ensemble de trafics repose sur une analyse pire cas. Elle peut être utilisée pour (i) le **dimensionnement d'un système** (ex. [8] pour un système multimédia basé sur Fibre Channel) ou d'un réseau, mais également pour (ii) un **contrôle d'admission**. Dans ce dernier cas, on pourra se contenter de conditions suffisantes de moindre complexité.

L'évaluation du **temps de réponse de bout-en-bout dans un système distribué** ou dans un réseau est un problème complexe. Différentes approches existent. Citons l'approche holistique introduite par Tindell [20] qui conduit à une borne 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** dont relève le "Network Calculus" [13] basée uniquement sur des scénarios possibles, est préférable, sous réserve que l'on puisse caractériser facilement ces scénarios. Avec cette approche, nous avons déjà obtenu des résultats dans le cadre (i) de **systèmes distribués temps réel** où des tâches ayant une structure en graphe peuvent mettre à jour des objets persistants liés par des contraintes de cohérence [11], (ii) de **réseaux offrant des services différenciés** [9] et [10]). Nous avons également analysé les approches basées sur une remise en forme du trafic par annulation de gigue et par les techniques de seau à jetons (leaky bucket). Nous désirons poursuivre ces travaux, en considérant un contexte plus général, afin de pouvoir fournir une garantie déterministe à la classe EF (Expedited Forwarding), classe la plus prioritaire dans le modèle des services différenciés. Comme il a été remarqué dans [3], cette classe a été définie qualitativement mais pas quantitativement. C'est pourquoi, il est nécessaire d'évaluer les performances pouvant être garanties à cette classe. Un **contrôle d'admission** pourra en être déduit. Ce contrôle d'admission est basé sur le calcul en ligne de la durée de séjour devant être garantie sur un noeud. Comment déterminer en ligne la durée de séjour devant être garantie sur un noeud dans le but de maximiser le nombre de flux acceptés sur tous les noeuds, sachant que chaque flux doit respecter une échéance de bout-en-bout ? La répartition que nous avons proposée dans [7] peut être améliorée. Ce problème de répartition d'une échéance de bout-en-bout en échéances intermédiaires connaît de nombreuses applications : réseaux avec qualité de service, systèmes distribués temps réel, planification de ressources...

7. Motivations

Je souhaite conduire ces travaux à l'unité de recherche Futurs dans le cadre du projet Hipercom, pour les raisons suivantes :

- **Développer l'activité Télécommunications à Futurs**

A ma connaissance, il n'existe pas encore d'activité Télécommunications à Futurs. Les réseaux mobiles ad-hoc suscitent un très vif intérêt au niveau des académiques, des militaires (ex. OTAN) et des opérateurs (ex. Orange, SFR). C'est pourquoi il est important d'être présent dans ce domaine.

- **Accroître la synergie avec l'université d'Orsay et les organismes environnants**

L'université d'Orsay (LRI) désire étendre ses activités dans les réseaux ad-hoc. A l'instar de l'initiative suisse MICS (Mobile Information and Communication Systems), une synergie entre organismes intéressés par les réseaux mobiles ad-hoc est fortement souhaitable afin de développer l'enseignement dans ce domaine, de recruter les meilleurs thésards et de répondre conjointement aux appels à propositions. J'ai déjà oeuvré dans ce sens en (i) enseignant dans le DEA SETI commun à l'université d'Orsay et l'INSTN (Institut des Sciences et Techniques Nucléaires), (ii) en co-encadrant une thèse avec K. Al

Agha (LRI), et (iii) en travaillant dans le projet RNRT Arcade.

Au CEA, plusieurs équipes travaillent sur le temps réel. J'ai fortement collaboré avec C. Aussaguès (équipe de V. David) en tant que rapporteur de sa thèse. Par ailleurs, en raison de l'attractivité exercée par les grandes écoles et universités à proximité, d'autres implantations sont amenées à venir à Saclay.

Références

- [1] G. Ahn, A. Campbell, A. Veres, L. Sun, "SWAN : Service differentiation in stateless wireless ad-hoc networks", IEEE INFOCOM'2002, New York, June 2002.
- [2] K. Alzoubi, P.J. Wan, O. Frieder, "New distributed algorithm for connected dominating set in wireless ad-hoc networks", IEEE HICSS, Hawai, January 2002.
- [3] J.C. Bennett, K. Benson, A. Charny, W. Courtney, J.Y. Le Boudec, "Delay jitter bounds and packet scale rate guarantee for Expedited Forwarding", INFOCOM'2001, Anchorage, USA, April 2001.
- [4] M. Benzaid, P. Minet, K. Al Agha, "Integrating fast mobility in the OLSR routing protocol", 4th IEEE int. conf. on Mobile and Wireless Communications Networks, MWCN'02, Stockholm, Sweden, September 2002.
- [5] M. Benzaid, P. Minet, K. Al Agha, C. Adjih, G. Allard, "Integration of Mobile-IP and OLSR for a universal mobility", to appear in Wireless Networks Journal, 2003.
- [6] A. Capone, M. Gerla, R. Kapoor, "Efficient polling schemes for Bluetooth picocells", IEEE ICC'01, Helsinki, Finland, June 2001.
- [7] 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.
- [8] L. George, D. Marinca, P. Minet, "A Fibre Channel dimensioning for a multimedia system with deterministic QoS", Networking'2002, Pisa, Italy, May 2002.
- [9] L. George, S. Martin, P. Minet, "Ordonnancement FIFO et garantie déterministe de qualité de service en environnement distribué", RTS'2002, Prix de la meilleure communication, Paris, France, Mars 2002.
- [10] L. George, S. Martin, P. Minet, "End-to-end real-time guarantees for the EF traffics in the DiffServ model", SNPD'02, Madrid, Spain, June 2002.
- [11] S. Kamoun, P. Minet, "Periodic scheduling of distributed tasks with consistency and hard real-time constraints", International Journal on Computer and Information Science, Vol.2, No 3, September 2001.
- [12] S. Lee, G. Ahn, X. Zhang, A. Campbell, "INSIGNIA : an IP based quality of service framework for mobile ad-hoc networks", Journal On Parallel and Distributed Computing, N60, pp374-406, 2000.
- [13] J.Y. Le Boudec, P. Thirian, "A note on time and space methods in network calculus", Technical report, 97/224, EPFL, Lausanne, Swiss, April 1997.
- [14] Millimeter, The Motion Picture and Television Production Magazine, http://millimeter.com/ar/video_movies_demand_coming, 5 June 2002.
- [15] A. Mercier, P. Minet, L. George, G. Mercier, "Adequacy between multimedia application requirements and wireless protocols features", IEEE Wireless Communications, Vol.9, N6, December 2002.
- [16] A. Parekh, R. Gallager, "A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks - the single node case", INFOCOM92, Florence, Italy, 1992.
- [17] C. Perkins, E. Royer, S. Das, "Quality of service for Ad-hoc On Demand Distance Vector routing", draft-ietf-manet-aodv-qos-00.txt, IETF, MANET group, July 2000.
- [18] M. Ramalho, "Intra and inter-domain multicast routing protocols : a survey and taxonomy", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 3 no. 1, First Quarter 2000.
- [19] J. Salehi, Z. Zhang, J. Kurose, D. Towsley, "Supporting stored video : reducing rate variability and end-to-end resource requirements through optimal smoothing", IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 6, pp. 397-410, August 1998.
- [20] K. Tindell, "Holistic schedulability analysis for distributed hard real-time systems", Euromicro journal, Special issue on Embedded Real-Time Systems, February 1995.
- [21] A. Veres, A. Campbell, M. Barry, L. Sun, "Supporting service differentiation in wireless packet networks using distributed control", IEEE Jal on Selected Areas in Communications, Vol19, N10, October 2001.
- [22] H.Xiao, W.K. Seah, A. Lo, K.C. Chua, "A flexible quality of service model for mobile ad-hoc networks", IEEE VTC2000-Spring, Tokyo, Japan, May 2000.