

Communication dans les réseaux mobiles ad hoc discontinus

La plupart des technologies de communication sans fils permettent de connecter un terminal mobile à un réseau d'infrastructure, en déployant des stations de base ou des points d'accès capables de jouer le rôle de passerelles entre le monde sans fils et le monde filaire. Cependant des standards tels que Wi-Fi, Bluetooth, et Zigbee permettent également de déployer des réseaux dits *ad hoc*, c'est-à-dire des réseaux dans lesquels des terminaux mobiles situés à portée radio les uns des autres peuvent interagir directement et spontanément, sans avoir à dépendre pour ce faire d'un quelconque élément d'infrastructure. Un réseau ad hoc est ainsi un réseau qui peut apparaître et évoluer spontanément au gré de l'apparition, de la disparition, et des déplacements des terminaux qui le constituent.

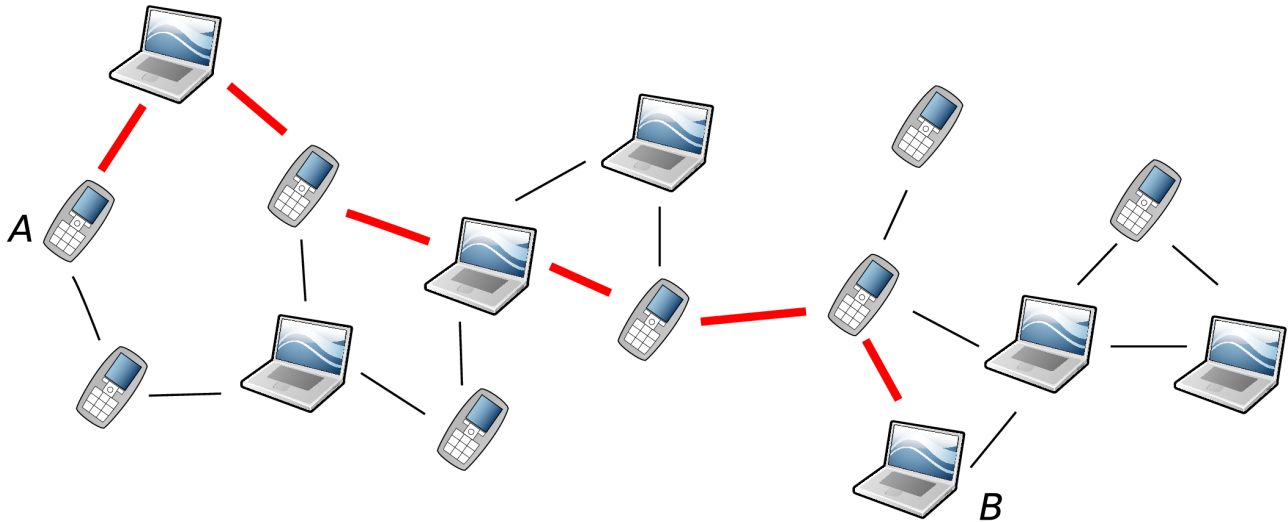


Figure 1: Exemple de réseau mobile ad hoc

Les réseaux mobiles ad hoc ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche au cours de la dernière décennie. Ces travaux ont dans un premier temps été menés essentiellement à des fins d'applications militaires, mais depuis quelques années des applications civiles sont également envisagées. La communication en mode ad hoc peut en effet se justifier dès lors que le recours à un réseau d'infrastructure s'avère soit techniquement difficile, soit économiquement peu rentable (e.g. secouristes intervenant à la suite d'une catastrophe naturelle, équipes de scientifiques travaillant en terrain désertique, systèmes de communication inter-véhicules, réseaux de capteurs, etc.).

Les travaux de recherche relatifs aux réseaux mobiles ad hoc ont initialement eu pour objectif de définir des méthodes de routage dynamique permettant l'acheminement de paquets IP entre des terminaux qui ne sont pas directement à portée radio les uns des autres. Dans cette optique, l'approche communément adoptée consiste à considérer chaque terminal mobile comme un routeur potentiel, susceptible de contribuer à l'acheminement de paquets IP de bout en bout entre terminaux source et destination. Le problème consiste alors à identifier au moins un trajet possible permettant de faire cheminer des paquets IP de proche en proche à travers le réseau ad hoc. De très nombreux protocoles de routage dynamique pour réseaux mobiles ad hoc ont ainsi vu le jour ces dernières années. Le groupe MANET (*Mobile Ad hoc NETWORKS*) de l'IETF a entrepris de recenser et évaluer ces divers protocoles, et certains d'entre eux (e.g. OLSRv2 et DYMO) ont ensuite été sélectionnés en vue d'une standardisation par l'IETF.

Problématique des réseaux ad hoc discontinus

Les propositions visant à assurer le routage dynamique de paquets IP au sein d'un réseau mobile ad hoc reposent toutes sur une hypothèse de densité et de distribution géographique favorables des terminaux mobiles au sein du réseau ad hoc. En effet, lorsqu'un paquet IP est émis par un terminal *A* à destination d'un terminal *B*, un chemin de routage doit impérativement être disponible pour que cette transmission puisse avoir lieu (voir fig. 1). En l'absence d'un tel cheminement possible depuis *A* jusqu'à *B*, le paquet IP est considéré comme étant irrémédiablement perdu.

Les protocoles de routage dynamique ne sont donc utilisables que dans des réseaux ad hoc suffisamment denses et connexes. En revanche ils n'apportent pas de solution satisfaisante pour assurer l'acheminement de données dans des réseaux ad hoc fortement clairsemés ou partitionnés, c'est-à-dire des réseaux dans lesquels les terminaux mobiles peuvent se trouver isolés les uns des autres de manière épisodique, voire de manière chronique.

Partant de ce constat, de nombreux travaux ont été lancés ces dernières années en vue de s'accommoder de l'absence de connectivité de bout-en-bout dans les réseaux mobiles ad hoc discontinus. L'idée générale est de remplacer — ou de compléter — les mécanismes de routage habituels par des mécanismes permettant de tolérer les ruptures de connectivité occasionnelles ou chroniques. Pour ce faire, on cherche à doter tout ou partie des terminaux de la capacité de stocker

des messages en transit dans un cache avant de les réinjecter dans le réseau au moment opportun. Lorsque les terminaux considérés sont mobiles, cette aptitude à stocker temporairement les messages peut être mise à profit afin de faire transporter physiquement les messages hébergés par un terminal qui se déplace. L'expression *Store, Carry, and Forward* est utilisée pour désigner ce type particulier de traitement des messages impliquant leur stockage, leur transport éventuel par des terminaux en mouvement, et leur renvoi final vers d'autres terminaux relais ou vers les terminaux destinataires. Le concept de réseau « tolérant les délais » (*DTN: Delay-Tolerant Network*) a par ailleurs été introduit pour désigner tout réseau dans lequel le manque de connectivité de bout-en-bout peut impliquer des temps de latence élevés lors de l'acheminement des messages.



Figure 2: Exemple de réseau mobile ad hoc discontinu

La figure 2 illustre un cas typique dans lequel un terminal mobile transporté par un individu se déplaçant entre deux groupes de personnes (ces groupes étant hors de portée radio l'un de l'autre) peut contribuer à transporter des messages d'un groupe à l'autre. Selon le même principe, des terminaux embarqués dans des véhicules peuvent par exemple transporter et relayer des informations relatives aux conditions de circulation (e.g. présence de bouchons, de zones de travaux, de déviations, etc.).

Les travaux actuels dans ce domaine se distinguent notamment par la manière de gérer l'acheminement des messages de proche en proche. Certains travaux reposent sur une approche dite « de dissémination épidémique », dans laquelle chaque message est dupliqué afin d'être transporté par un très grand nombre de terminaux mobiles. L'acheminement d'un message à travers le réseau est alors assimilé à une épidémie, qu'il convient toutefois de maîtriser afin de ne pas charger le réseau au delà de sa capacité d'acheminement.

D'autres travaux s'efforcent au contraire de minimiser le nombre de transporteurs pour chaque message en sélectionnant les terminaux mobiles les plus aptes à contribuer de manière efficace à l'acheminement de ce message vers sa destination. Pour ce faire des heuristiques doivent être définies afin d'évaluer dans quelle mesure un terminal peut être « utile » à l'acheminement d'un message. Ces approches dites *utility-based* impliquent toutes, soit une connaissance a priori des schémas de mobilité des terminaux dans le réseau, soit une aptitude à prédire la mobilité de ces terminaux en fonction d'un historique des schémas de mobilité observés dans le passé. Pour cette raison, les algorithmes proposés sont en général spécifiquement conçus afin d'exploiter des caractéristiques de mobilité bien précises (e.g. schémas de mobilité sociale ou professionnelle dans le cas de terminaux transportés par des êtres humains, schémas de mobilité routière dans le cas de terminaux embarqués dans des véhicules, etc.).

Projet SARAH

La communication dans les réseaux mobiles ad hoc discontinus fait l'objet d'une étude menée dans le cadre du projet SARAH (Services Asynchrones pour Réseaux Ad Hoc). Ce projet, qui a débuté fin 2005, s'inscrit dans les actions de recherche amont du programme SSIA (Sécurité, Systèmes embarqués et Intelligence Ambiante) financé par l'Agence Nationale de la Recherche.

L'objectif principal du projet SARAH est d'étudier les possibilités offertes par la communication de proximité pour supporter le déploiement et l'utilisation de services distribués sur des terminaux mobiles assemblés en réseau ad hoc discontinu. Le scénario-type servant de fil conducteur dans le cadre du projet est celui d'une population d'individus équipés d'ordinateurs portables ou d'assistants numériques personnels (comme illustré dans la figure 1), mais d'autres scénarios de déploiement sont également à l'étude. Le projet SARAH vise donc à explorer des voies susceptibles de permettre d'assurer la communication (selon le principe du DTN évoqué plus haut) entre des terminaux qui peuvent n'être qu'épisodiquement, voire presque jamais à portée directe les uns des autres. Il s'agit en outre de définir des modèles de services applicatifs adaptés à ce type d'environnement particulier, de proposer des moyens de sécuriser ces services, et enfin d'en valider le comportement via des approches formelles, et via la simulation. De manière générale, les services applicatifs susceptibles d'être déployés dans le type d'environnement considéré sont des services relevant plus du modèle pair-à-pair que du traditionnel modèle client-serveur. En effet, dans ce type de réseau aucun terminal n'est a priori suffisamment stable et accessible pour qu'on puisse confier à lui seul le rôle de serveur vis-à-vis de tous les autres terminaux. En outre les services déployés doivent pouvoir se satisfaire d'un mode de communication asynchrone

par messages, le support de flux de données continus étant exclu dans un réseau ad hoc discontinu. Le courrier électronique (en mode pair-à-pair), la distribution d'informations thématiques (selon le modèle des *newsgroups*), la diffusion de contenus ponctuels (textes, images, petites séquences vidéo, fichiers, etc.), constituent autant d'exemples de services applicatifs dont la mise en oeuvre est parfaitement envisageable sur un réseau mobile ad hoc discontinu. Quelques services de ce type ont d'ailleurs déjà été mis en oeuvre – ou sont en passe de l'être – à titre expérimental dans le cadre du projet SARAH.

Des informations complémentaires sur le projet SARAH sont disponibles sur le site Web associé (<http://www-valoria.univ-ubs.fr/SARAH>).

Frédéric Guidec
Maître de conférences à l'Univ. de Bretagne-Sud
Coordinateur du projet SARAH