

Une plate-forme pour les échanges pair-à-pair

Sur les réseaux mobiles ad hoc

Guilhem Paroux

France Télécom R&D / Télécom Paris
38-40 avenue du général Leclerc
F-92794 Issy-les-Moulineaux
guilhem.paroux@rd.francetelecom.com

Résumé : Les réseaux mobiles ad hoc (MANET) permettent une nouvelle forme de communication spontanée et d'accès à l'information pour les utilisateurs d'équipements mobiles. Parallèlement, les réseaux pair-à-pair (P2P pour « peer-to-peer ») se sont développés ces dernières années au dessus des réseaux fixes classiques. A l'origine, principalement utilisé pour l'échange de fichiers (Gnutella), le modèle P2P est de plus en plus adopté et décliné pour d'autres types d'applications grand public (Skype). Notre objectif est de croiser ces deux technologies afin d'offrir aux utilisateurs un choix de nouvelles applications.

Nous proposons de développer une plate-forme pour les applications pair-à-pair dans un environnement de réseau mobile ad hoc. Les principaux objectifs de la plate-forme sont d'une part de fournir une abstraction de la complexité des réseaux mobiles ad hoc aux applications s'exécutant sur les équipements mobiles et, d'autre part, d'offrir un ensemble de services communs aux applications P2P. Pour cela, la plate-forme doit gérer de manière transparente certaines spécificités propres aux réseaux mobiles ad hoc qui ne doivent pas nécessairement être vues par les applications.

Cet article présente, tout d'abord, les motivations de notre travail au travers, en particulier, des nouveaux services P2P qui pourraient être offerts dans un MANET. Il propose ensuite une première analyse des fonctionnalités que doit offrir la plate-forme cible. Cette analyse inclut un état de l'art des plates-formes déjà proposées et de leurs limites.

Mots Clés : pair à pair, ad hoc, services

1 INTRODUCTION

Les réseaux mobiles ad hoc, ou MANET pour Mobile Ad hoc NETwork [Chlamtac, 2003], constituent un type de réseau mobile spontané : aucune infrastructure n'est nécessaire pour déployer un réseau. Ceci autorise une nouvelle gamme d'utilisations pour ces réseaux de communications. Ces réseaux sont principalement constitués d'objets mobiles comme des PDA, des téléphones mobiles ou des ordinateurs portables. Ces

matériels permettent aux utilisateurs d'avoir une grande mobilité. Toutefois, ils apportent également leur lot de nouvelles contraintes techniques. Ces contraintes sont principalement liées à la mobilité des équipements et à leurs faibles capacités de calcul et d'énergie. La mobilité entraîne une instabilité des connexions entre les équipements car durant leurs déplacements respectifs, ceux-ci peuvent se retrouver hors de portée de communication.

Parallèlement, les réseaux pair-à-pair, ou P2P pour peer-to-peer [Schollmeier, 2001], [Milojicic, 2003], se sont très largement développés sur Internet. Les applications les plus célèbres restent celles permettant l'échange de fichier comme Gnutella [Ripeanu, 2002], eMule [eMule] et plus récemment bitTorrent [Cohen, 2003]. Il existe d'autres applications fonctionnant sur les réseaux P2P, telles que Skype [Skype], qui autorisent leurs utilisateurs à communiquer en direct. Enfin, les applications scientifiques de calcul distribué s'intéressent également de près au modèle P2P.

Le croisement du domaine des MANET et du domaine du P2P ouvre un champ de possibilités pour de nouvelles applications collaboratives spontanées. Notre objectif est de concevoir une plate-forme pour les communications pair-à-pair sur réseaux mobiles ad hoc. Cette plate-forme doit s'insérer entre la couche réseau du MANET et les applications pair-à-pair ciblées. Elle a pour but, d'une part de fournir une abstraction des MANET afin de masquer aux applications la complexité de leur structure hautement dynamique ; d'autre part de rassembler l'ensemble des services de bases qui permettront le développement et l'exécution d'applications pair-à-pair. Pour le moment, notre travail a consisté à étudier les possibilités offertes par le croisement du P2P et des MANET du point de vue des applications. Nous avons également étudié les différentes plates-formes existantes qui permettent ce croisement. En dernier lieu, nous avons établi une liste des fonctionnalités que la plate-forme doit fournir.

Cet article présente les premières étapes de nos travaux. Il est organisé comme suit. La partie 2 rappelle les notions essentielles sur les MANET et sur les réseaux P2P. La partie 3 présente les motivations de nos travaux

au travers d'un ensemble de scénarios applicatifs. La partie 4 effectue une présentation des travaux existant dans le domaine conjoint du pair à pair et des MANET. La partie 5 présente les services que la plate-forme doit fournir aux applications. Enfin nous concluons sur nos travaux.

2 NOTIONS SUR LES RESEAUX MOBILES AD HOC ET LES SYSTEMES PAIR-A-PAIR

Dans cette partie, nous présentons de manière très simplifiée les réseaux mobiles ad hoc et les systèmes pair-à-pair. Le but est de donner un aperçu des deux domaines et d'en comprendre certains enjeux. Les caractéristiques mises en avant dans cette partie ont été choisies en fonction de leur pertinence avec nos travaux.

2.1 Les réseaux mobiles ad hoc

Les MANET sont des réseaux d'objets mobiles. Ces objets, nous les appelons aussi équipements ou matériels, peuvent être des assistants personnels, des ordinateurs portables, des téléphones, mais aussi tout type de matériel capable de communiquer sur un réseau sans fil. Les technologies sans fil utilisées sont diverses : Bluetooth, IEEE 802.11, Infra-rouge ...

Il est utile pour la suite de l'article de préciser que les MANET constituent une forme de réseau physique, contrairement aux réseaux P2P qui sont des réseaux logiques. Lorsque nous parlons de MANET, nous parlons donc de réseaux constitués d'éléments physiques.

Les MANET sont des *réseaux spontanés*, c'est-à-dire que les équipements les composant sont capables de s'organiser en réseau sans aucune configuration initiale. Cela implique que la topologie du réseau n'est pas connue par les participants *a priori* et qu'elle doit être découverte dynamiquement. De même, les changements de topologie sont fréquents lors de l'existence du réseau.

Les équipements constituant un MANET sont *mobiles*. Cette mobilité a pour principale conséquence une évolution de la topologie du réseau dans le temps. Les algorithmes doivent être dynamiques afin de prendre en compte cette mobilité. Ainsi, ils peuvent adapter leur comportement aux différents changements du réseau.

Les *communications* sont *multi sauts*. Lorsqu'un équipement veut en joindre un autre qui est hors de portée, les messages sont transmis par des équipements intermédiaires. On dit que les équipements jouent un rôle de routeur dans le réseau. Ajoutons à cela qu'il existe de nombreux algorithmes de routage dans les MANET [Abolhasan, 2004].

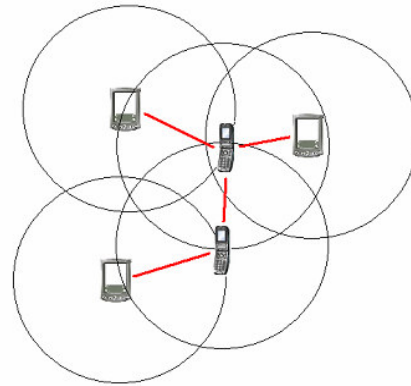


Figure 1 : exemple de MANET

2.2 Les systèmes pair-à-pair

Le concept derrière le terme P2P est simple. Il s'agit de s'affranchir du nœud central dans le réseau afin d'obtenir un système complètement distribué. Les notions de serveur et de client disparaissent pour laisser la place à celle de pair. Le terme reflète particulièrement bien la notion d'égalité entre les différents nœuds du réseau, tous les nœuds jouant le même rôle. Les réseaux de pairs sont des réseaux logiques et non physiques. Ainsi, l'organisation des pairs dans le réseau logique ne reflète pas du tout la topologie du réseau physique : deux pairs connectés directement peuvent être physiquement très éloignés alors que deux physiquement proches ne se sont pas mis en relation. Cette remarque prend tout son sens dans les MANET où la notion de proximité est très importante.

Les pairs sont considérés comme *volatiles* : ils rejoignent et quittent le réseau de façon imprévisible. La principale conséquence est le manque de confiance que l'on peut accorder à une connexion entre deux pairs. C'est une caractéristique commune avec les MANET.

Les pairs jouent tous le même *rôle* lorsqu'ils rejoignent le réseau. Par la suite, certains réseaux attribuent des rôles plus importants à certains pairs afin de faciliter le fonctionnement du réseau. Ce sont les rendez-vous dans JXTA ou les "super-peer" de Gnutella.

La *mise en commun des ressources* de chaque pair est nécessaire au fonctionnement du réseau. L'accès à l'information se fait de manière distribuée entre les pairs, ceux-ci jouant tour à tour le rôle de client, demandeur de ressources, et de serveur, fournisseur de ressources.

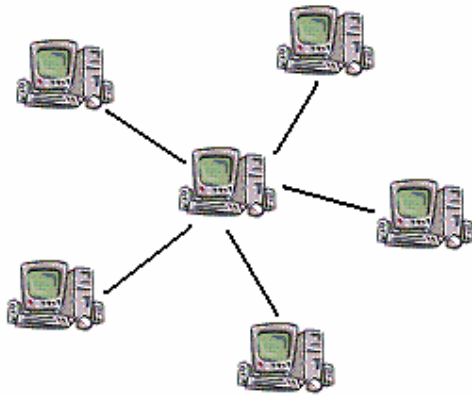


Figure 2 : le modèle client-serveur

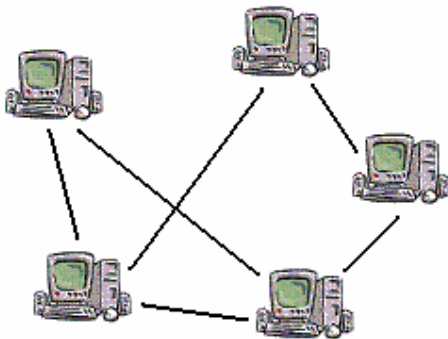


Figure 3 : le modèle pair-à-pair

2.3 Les points communs entre les deux types de réseau

Nous présentons ici quelques points communs entre les réseaux P2P et les MANET. Ces ressemblances sont importantes pour nos travaux car elles motivent en partie l'intérêt de la plate-forme. Les ressemblances sont à exploiter afin de mettre en relation la partie physique du réseau, représentée par le MANET, et la partie logique du réseau, représentée par le réseau de pairs.

Les MANET et les réseaux P2P sont des architectures décentralisées. Il n'existe pas de serveur nécessaire au bon fonctionnement du réseau. Les rôles sont répartis sur les différents nœuds tout comme les ressources.

Nous avons vu que le terme de pair se justifie par l'égalité entre les différents nœuds du réseau. Les nœuds d'un MANET sont également à égalité puisqu'ils n'ont pas de rôle prédéfini. Ils peuvent prendre tour à tour les rôles de client et de serveur et être routeur dans le réseau.

La spontanéité est aussi un point commun. Dans les deux cas, il n'y a pas de configuration initiale à effectuer. En effet, dans les réseaux P2P, un pair qui se connecte recherche un autre pair dans son voisinage et accède au réseau par cette voie.

La volatilité des nœuds est une donnée commune. Dans les deux cas il est difficile de faire confiance à une relation établie entre deux composants du réseau. L'instabilité des communications a des origines différentes mais présente les mêmes conséquences.

Les problèmes de sécurité dans les deux réseaux sont proches car ils ont des sources communes : décentralisation, volatilité, anonymat. Les solutions de sécurité adaptées aux deux types de réseaux ont des points communs.

Les algorithmes de routage dans les deux types de réseau présentent également certaines similarités [Schollmeier, 2002].

3 QUELLES SONT LES APPLICATIONS CIBLEES ?

Les MANET ouvrent de nouvelles possibilités par rapport aux réseaux fixes classiques nécessitant l'installation d'une infrastructure. Cependant, la complexité de leur gestion reste importante. Notre objectif est de proposer une solution permettant de gérer une grande part des contraintes des MANET tout en tirant profit de ces réseaux très dynamiques et de leur facilité de déploiement. Le choix du modèle P2P est motivé par l'absence de hiérarchisation des rôles des participants. Les applications sont complètement décentralisées et leur fonctionnement n'est pas lié à la présence d'une entité particulière.

Notre plate-forme a pour objectif d'être le lien entre les applications s'exécutant en mode pair-à-pair et le réseau mobile ad hoc sur lequel elles s'exécutent. Pour cela, la plate-forme propose un ensemble de services aux applications qui permettent aussi bien d'abstraire une partie du fonctionnement du MANET que d'en extraire des informations utiles. Nous verrons ces mécanismes plus en détail dans la partie 5 de cet article. A présent, nous allons voir quelques exemples d'applications pour lesquels nous essaierons de comprendre l'apport des MANET et du P2P. Par la suite, nous distinguerons trois entités : l'utilisateur (l'être humain), le terminal (l'objet servant à communiquer), le pair (l'instance d'une application sur le terminal).

3.1 Les rencontres instantanées

Cette application permet aux utilisateurs de se rencontrer virtuellement et de discuter de manière anonyme ou non. Le cadre typique d'utilisation se situe dans un espace public où les gens ont du temps d'attente, une gare ou un aéroport par exemple.

Chaque utilisateur possède sur son terminal des informations personnelles concernant ses centres d'intérêt. Le pair comprend un agent de recherche qui dialogue avec les autres agents afin de déterminer si les utilisateurs ont des centres d'intérêt communs. L'utilisateur peut également choisir de découvrir lui-même son voisinage et d'effectuer ses propres recherches

d'affinités. Les utilisateurs peuvent prendre contact et discuter en privé ou bien sur des forums libres d'accès. L'apport des MANET à cette application réside dans la spontanéité des contacts entre les utilisateurs. De plus, l'absence d'infrastructure fixe rend possible l'utilisation de l'application dans n'importe quel endroit. Le modèle P2P est adapté car les utilisateurs sont à égalité dans leurs échanges. Ils ont le même objectif de passer du temps et de se rencontrer, et partagent des données semblables. Le fait que le contenu soit apporté par les utilisateurs et non par une autre partie implique également une utilisation du modèle P2P.

3.2 La galerie marchande

Cette application repose en partie sur un réseau fixe. Le MANET est alors utilisé comme extension d'un réseau fixe existant. L'objectif de l'application est de permettre à des commerçants dans une galerie de diffuser des annonces. Ces annonces sont émises par une borne fixe ; la propagation des annonces est assurée par le réseau formé par les équipements des clients.

Un utilisateur a la possibilité de régler son application afin de filtrer les annonces commerciales. Il peut ainsi être prévenu lorsqu'une annonce est susceptible de l'intéresser. Il peut également faire une recherche d'annonces dans le but de trouver un magasin ou un produit précis.

Un commerçant souhaitant attirer des clients, va créer un message contenant une annonce publicitaire. Ce message est ensuite placé sur un serveur qui l'envoie à intervalle régulier pendant un certain temps au moyen d'une borne émettrice. Cette borne possède une portée limitée mais les équipements des clients forment un réseau ad hoc afin de relayer les annonces sur une plus grande distance.

L'apport des MANET dans cette application est d'améliorer la diffusion d'annonces à partir d'une source fixe. Ils permettent également à un grand nombre d'utilisateurs d'avoir accès aux informations sans configuration de leurs équipements. Le modèle P2P est adapté pour les échanges entre les équipements des utilisateurs. Pour les échanges avec le serveur d'annonces, il faut séparer deux cas. Le serveur est une base d'annonces que les utilisateurs peuvent consulter, ils sont alors des clients. Le serveur d'annonces est également une source d'émission qui a besoin des utilisateurs pour propager ses annonces. Le serveur d'annonce devient alors client des équipements des utilisateurs. Puisque les deux parties peuvent prendre successivement les rôles de client et de serveur, nous sommes bien dans un modèle P2P.

3.3 D'autres applications

Il existe d'autres applications pouvant tirer avantage du modèle P2P sur des MANET. Nous en donnons une petite liste dans les lignes suivantes.

Un jeu vidéo : les joueurs gèrent leur personnage en local et celui-ci peut évoluer lors de ses rencontres avec les personnages d'autres joueurs. Il existe aussi des possibilités d'extensions vers des réseaux fixes.

Une application de travail collaboratif : les utilisateurs peuvent échanger des documents, les annoter, se parler. Une conférence ou un chantier sont des lieux où l'application trouve son utilité : les activités sur les lieux sont temporaires et l'installation d'une infrastructure n'est pas intéressante. Sur des réseaux fixes, P2People [Ruiz, 2003] est un exemple d'application de travail collaboratif.

Une diffusion d'informations entre des véhicules : les conditions de circulation sur la route peuvent être relayées par les véhicules. Une extension fixe est possible afin d'avoir des informations sur le trafic disponibles en temps réel. Des travaux existent pour relayer des informations relatives à la sécurité des véhicules comme dans [Chisalita, 2002].

4 TRAVAUX EXISTANTS

Il existe de nombreux protocoles, applications ou plates-formes P2P dans les réseaux fixes. Nous avons déjà cité quelques exemples en introduction, nous ne revenons pas dessus. Le croisement du P2P et des MANET est récent et a encore été peu exploré. Nous présentons brièvement certains projets dans ce chapitre.

4.1 Les plates-formes existantes

ORION [Klemm, 2003], pour *Optimized Routing Independent Overlay*, est basé sur un réseau virtuel au niveau de la couche application. Les MANET sont les réseaux cibles de ce projet. Cependant, ORION ne s'intéresse qu'aux applications de partage de fichiers. ORION propose un algorithme de recherche de fichiers ainsi que des protocoles de transfert capables de maintenir les routes utilisées. Notre approche se veut plus généraliste en se destinant à tout type d'application.

7DS [Papadopouli, 2001] est un système de partage de ressources en mode P2P sur des MANET dont l'objectif est de permettre aux utilisateurs d'accéder à Internet sans avoir de connexion permanente. Il fonctionne comme une application sur chaque hôte mobile et chaque instance communique avec les autres en mode *ad hoc*. 7DS propose une architecture complète ainsi qu'un ensemble de protocoles. Il fournit également un mécanisme de conservation de l'énergie et supporte des structures de groupe. 7DS est orienté vers l'accès ponctuel à Internet et ne permet pas de construire des MANET étendus. Tout comme ORION, ce n'est pas une plate-forme permettant d'accueillir tout type d'application P2P.

PROEM [Kortuem, 2001] est une plate-forme pour le P2P sur des MANET. Son objectif est de fournir les briques de base pour la construction d'applications variées. Les problèmes de sécurité, d'interopérabilité et d'indépendance vis-à-vis du matériel sont traités dans PROEM. La plate-forme définit des entités, des protocoles et des messages qui servent de base au fonctionnement des applications. L'environnement des applications est basé sur un ensemble d'outils, de bibliothèques et d'un environnement d'exécution. Les

peerlet représentent les applications P2P qui s'exécutent grâce à la plate-forme dans le *peerlet engine*. Le développement des applications est également facilité par le *Peerlet Development Toolkit*. Le mécanisme des *peerlet* semble intéressant car il offre des cadres de développement et d'exécution communs à l'ensemble des applications, d'où une bonne gestion de l'interopérabilité. Toutefois, les mécanismes internes étant peu détaillés dans la documentation, on peut se demander si ce cadre ne se montre pas parfois trop contraignant, ou restrictif, pour les développeurs d'applications. La plate-forme n'apporte pas de solution au problème de la gestion de l'énergie des équipements. Par ailleurs, le projet n'aborde pas la question des protocoles des MANET et utilise son propre protocole de transport qui peut être mis en œuvre sur TCP/IP, UDP ou HTTP, sans toutefois préciser d'avantage ce protocole.

Expeerience [Bisignano, 2004] est défini comme un middleware pour le P2P sur des MANET. Le projet réalise une adaptation de JXTA sur les réseaux mobiles ad hoc. L'indépendance vis-à-vis du matériel utilisé et l'interopérabilité entre les applications, deux points clé de JXTA, sont respectées. La plate-forme fournit un point d'entrée aux applications, qui propose un ensemble d'interfaces vers les services disponibles. La gestion des multiples interfaces de communication et la découverte des ressources sont prises en charge par la plate-forme. Une originalité d'Expeerience tient dans la mobilité du code : il est possible de copier une application d'un pair sur un autre afin de mieux répartir la charge de travail dans le réseau. Le choix de JXTA est intéressant pour une extension vers les réseaux fixes. Cependant, la compatibilité avec JXTA implique la présence d'un serveur HTTP dans la plate-forme, ce qui semble lourd pour des équipements mobiles. La gestion de l'énergie des terminaux n'est pas abordée dans Expeerience. De manière générale, la faiblesse de cette plate-forme réside dans l'absence de gestion des capacités limitées des équipements mobiles.

MPP [Schollmeier, 2003], pour *Mobile Peer-to-Peer Protocol*, part sur le constat suivant : il existe de fortes ressemblances entre les réseaux P2P et les MANET. Cependant ceux-ci ne se situent pas au même niveau : les MANET sont dans la couche réseau et les réseaux P2P sont au niveau application. MPP propose d'utiliser les protocoles existant des MANET et de développer deux nouveaux protocoles : un se situant au niveau des applications (MPP), l'autre pour faire le lien entre les deux couches (MPCP). Cette organisation est intéressante car elle permet de séparer les préoccupations : d'un côté la couche basse gère l'organisation du réseau mobile ad hoc, de l'autre la couche haute gère le fonctionnement des applications. MPP repose essentiellement sur ces protocoles et il n'y a pas d'informations disponibles sur le reste de la plate-forme. De même, les protocoles restent très peu détaillés dans les articles relatifs à MPP. Le problème de la gestion de l'énergie des équipements n'est pas abordé. La plate-forme semble ne fournir que des protocoles et peu de services aux applications. Comme dans Expeerience, la

présence d'un serveur HTTP risque d'alourdir considérablement le système.

4.2 Commentaires

L'étude des plates-formes existantes nous montre des approches différentes. Certaines ont fait le choix de ne s'intéresser qu'à un seul type d'application et de fournir les outils appropriés. En comparaison aux environnements fixes, c'est l'approche classique des applications P2P. D'autres plates-formes ont fait le choix d'être généralistes et d'offrir un support à des applications de natures diverses. Nous avons également choisi cette approche pour notre plate-forme. Cependant, il existe encore des différences entre les approches existantes, certaines nous semblant trop rigides ou trop encombrantes pour des équipements mobiles aux capacités limitées. Toutefois, malgré les différences dans les approches, les quelques plates-formes que nous venons de décrire présentent des caractéristiques communes. Certaines fonctionnalités que nous retrouvons dans les précédents projets constituent les bases d'une plate-forme P2P sur des MANET. Nous retrouverons également ces fonctionnalités dans la partie suivante consacrée aux services que nous souhaitons inclure dans notre plate-forme.

5 QUELLES FONCTIONNALITES POUR LA PLATE-FORME ?

L'objectif de la plate-forme est d'effectuer une transition entre les couches physique, MANET, et logique, réseau P2P. Notre position est que cette transition ne doit pas se faire en masquant complètement le fonctionnement des MANET à la couche logique des pairs, ni l'inverse. Notre objectif est de faire coopérer les deux mondes, chacun pouvant tirer parti des informations provenant de l'autre. Une plate-forme trop hermétique n'est pas souhaitable car elle risque d'être trop restrictive pour les applications qui ainsi ne pourraient plus profiter de toutes les possibilités offertes par les MANET. Ce serait une forme d'architecture complètement intégrée peu adaptable.

A partir de notre étude des plates-formes existantes et des besoins des applications, nous avons établi une liste des services que doit fournir la plate-forme. Cette liste comprend des services déjà fournis par d'autres plates-formes et identifiés comme des services de base ainsi que des services absents des plates-formes étudiées et jugés intéressants.

Nous avons classé les fonctionnalités en trois groupes. Le premier groupe comporte les fonctionnalités liées à l'organisation du réseau mobile ad hoc. Ces fonctionnalités nous paraissent être indispensables car elles forment le socle de la plate-forme. Le second groupe comporte les fonctionnalités relatives au fonctionnement du pair. On trouve par exemple la gestion de l'énergie de l'objet mobile. Le troisième groupe enfin rassemble des fonctions de plus haut niveau à destination des applications. Cette organisation des fonctionnalités laisse apparaître une organisation en couche de la plate-forme.

5.1 Organisation du réseau

Identifier les pairs :

Chaque pair reçoit un identifiant unique. Cet identifiant est valable pour toutes les applications s'exécutant sur ce pair. Notons également qu'un terminal ne peut accueillir qu'un seul pair. L'unicité des identifiants pose problème dans un système distribué. Sans élément central pour leur attribution, l'unicité est difficile à garantir. Deux solutions sont pourtant satisfaisantes. La première consiste à utiliser les adresses MAC des équipements, chacune étant unique au monde. La seconde utilise une chaîne de bits générée aléatoirement et statistiquement unique de par sa longueur. La première solution est la plus intéressante dans notre cas si nous considérons qu'un seul pair est actif sur un équipement.

Identifier les ressources :

Les ressources comprennent aussi bien les messages échangés que les ressources partagées par les pairs ou encore les applications en cours d'exécution. Afin de pouvoir les identifier de façon unique dans le réseau, les ressources sont associées à un identifiant comme c'est le cas pour les pairs. Pour régler les problèmes d'unicité des identifiants dans le réseau, il est possible de s'appuyer sur l'identifiant du pair pour générer ceux des ressources. La ressource appartient à, ou est créée par, un pair, elle peut donc recevoir une partie de l'identifiant du pair dans son propre identifiant. Le reste de l'identifiant est généré en fonction du type de la ressource et d'un compteur.

Formater les messages :

Les messages échangés par les pairs dans le réseau sont formatés au niveau de la plate-forme. Nous garantissons ainsi que chaque pair peut comprendre les messages envoyés par les autres, et ce quelle que soit l'application à l'origine du message. Lorsqu'une application envoie un message, celui-ci est tout d'abord associé à l'identifiant de l'application. Un deuxième niveau d'encapsulation associe le message à l'identifiant du pair et précise les destinataires. Lorsqu'un pair reçoit un message, il peut tout d'abord savoir s'il est destinataire ou non et ensuite connaître l'application vers laquelle dirigée le message. Le message est ensuite traité par l'application.

Sécuriser les données échangées :

Les données échangées sur le réseau sont vulnérables. Elles peuvent être interceptées par un programme malicieux susceptible de les détourner ou de les altérer. Le cryptage des données semble constituer une solution satisfaisante à leur sécurisation. En couplant le cryptage à un mécanisme permettant de vérifier leur intégrité et leur provenance, la sécurité des échanges semble suffisante. La vérification de l'intégrité se fait par échange de messages entre le demandeur et le propriétaire des données. Une comparaison de la signature des données permet de savoir si elles ont été modifiées lors du transfert.

Découvrir les pairs dans le réseau :

L'existence du réseau de pair est basée sur la découverte mutuelle des pairs qui le constituent. Lorsqu'un pair démarre, il envoie un message signalant sa présence et demandant aux autres pairs de signaler leur présence. Le message ne contient que l'identifiant du pair et la profondeur de recherche, c'est-à-dire le nombre de fois où le message doit être retransmis. Si un autre pair entend ce message, il signale sa présence en retournant un message contenant son identifiant. Il transmet également le message à son voisinage si le nombre maximum de sauts n'est pas atteint. Les réponses reviennent au pair qui met à jour ses tables de connaissance des pairs dans le réseau. A partir de ce moment, il sait comment joindre un certain nombre de pairs de façon plus efficace que par inondation de messages. Cette approche ne diffère pas de celle classiquement utilisée dans les MANET qui est satisfaisante.

Annoncer les ressources :

Lorsque pair rend disponible une ressource, il publie une annonce afin de la faire connaître. Cette annonce contient un certain nombre d'éléments concernant la ressource : identifiant, type, service fourni, mots-clés ... L'annonce contient également l'identifiant du pair afin de localiser facilement la ressource. L'annonce est publiée localement, c'est-à-dire qu'elle est stockée sur l'équipement et devient accessible pour les recherches de ressources à venir. L'annonce est également envoyée au voisinage en spécifiant une certaine profondeur de diffusion de laquelle dépendra la visibilité à court terme de la ressource. A plus long terme, l'annonce se diffusera au gré des recherches d'annonces lancées par d'autres pairs.

Découvrir les ressources :

Une fois que les pairs se sont découverts, le réseau est constitué même s'il évolue en permanence. La nouvelle étape consiste à découvrir les ressources partagées par les pairs, ce partage étant le but du réseau. Les annonces émises par les pairs lors de la mise à disposition des ressources sont diffusées dans le réseau. Un pair recevant une annonce peut choisir de la conserver ou non en fonction de sa pertinence par rapport à ses besoins. Lors de la recherche des ressources, un pair a la possibilité de chercher une ressource particulière ou bien l'ensemble des ressources disponibles. Les pairs possédant des ressources ou des annonces concernant des ressources répondent à la requête du demandeur. Celui-ci consulte ensuite les annonces et choisit de les conserver ou non. Il est possible de limiter la profondeur de recherche des annonces afin d'éviter d'inonder le réseau de messages de recherche.

5.2 Gestion locale du pair

Gérer l'énergie des équipements :

Les équipements mobiles dans les MANET ont une quantité d'énergie limitée. Les applications doivent prendre ce facteur en compte et adapter leur comportement en fonction des réserves disponibles. La

plate-forme gère la quantité d'énergie disponible et demande aux applications de modifier leur comportement si les réserves sont jugées trop basses. La plate-forme peut également décider de limiter la participation du pair au réseau afin de réduire la consommation d'énergie.

Fournir des statistiques sur l'utilisation du pair :
Le pair participe à un réseau dans lequel il joue plusieurs rôles : demandeur ou fournisseur de ressources et routeur de requêtes. Les statistiques portent sur ces trois rôles. Elles comprennent par exemple le nombre de demandes du pair, le nombre de fois où il a été fournisseur de ressources, la proportion de messages envoyés par rapport aux messages routés ou encore la popularité des ressources. Les statistiques sont destinées aussi bien à la plate-forme qu'aux applications ou aux utilisateurs. La plate-forme peut tirer parti de ces informations en adaptant sa participation au réseau ou bien en annonçant certaines de ses ressources qui sont peu utilisées. Les applications peuvent connaître leur popularité et leur visibilité dans le réseau (on peut imaginer des applications rémunérant l'utilisateur).

Récompenser le comportement des pairs :
Le bon fonctionnement des réseaux P2P est basé sur la participation active de chacun des pairs. Si un pair réclame des ressources, il doit en proposer en contrepartie. Cependant, il est difficile d'éviter les utilisateurs ne participant que dans un sens. Une solution consiste à récompenser les bons participants et à punir les mauvais [Blanc, 2005]. Une manière de procéder consiste à attribuer des points à un pair en fonction de sa participation. S'il partage beaucoup de ressources et route de nombreux messages, il se voit récompensé par de nombreux points qui lui permettent de demander des ressources pour son propre compte. Un pair consommant plus de ressources qu'il n'en propose finit par ne plus avoir de point et ne peut plus participer au réseau à son avantage. Ce système déjà à l'essai sur des réseaux P2P fixes semble fonctionner correctement.

5.3 Services aux applications

Gérer les communications :
Les communications entre les pairs doivent être maintenues au dessus du MANET qui présente des communications multi sauts. Lorsqu'un pair veut communiquer avec un autre qu'il a parfaitement identifié, il déclare établir une connexion avec lui. Localement, la plate-forme remonte des informations sur les routes disponibles pour atteindre ce pair. Les routes sont classées à l'aide d'une fonction de coût. L'objectif à présent est de maintenir une route vers le pair distant. Des messages de recherche de route sont donc envoyés à la couche MANET. Une fois contacté et informé de cette connexion, le pair distant fait de même et tente de maintenir la connexion. Les pairs intermédiaires sont informés du désir des deux pairs de maintenir une connexion entre eux. Ils prennent en compte cette information en traitant prioritairement les messages

venant de ces deux pairs. Les communications de un pair vers plusieurs se déroulent de façon identique à plusieurs communications de un vers un. Ce mécanisme peut sembler coûteux mais il reste relativement simple à maintenir.

Gérer les groupes :
Les groupes permettent aux pairs de se constituer en communautés dont l'accès est restreint. Un groupe est vu comme une ressource du réseau qu'un pair peut choisir d'utiliser. Comme toutes les ressources, il possède un identifiant et est annoncé dans le réseau. Les groupes peuvent être à accès restreint, c'est-à-dire qu'un pair doit posséder une autorisation pour y appartenir. L'autorisation peut être une simple demande effectuée auprès d'un membre du groupe ou bien elle peut être fondée sur un système de clefs.

Représenter la topologie du réseau :
Il peut être intéressant pour certaines applications de disposer d'une représentation de la topologie du réseau. Il ne s'agit bien sûr pas d'une topologie complète du réseau mais seulement d'une représentation de l'environnement proche d'un pair. Les informations obtenues lors de la découverte des pairs sont utiles pour représenter le réseau. Un pair souhaitant établir la topologie du réseau l'entourant en fait la demande à ses voisins. Ceux-ci répondent à la requête en envoyant la liste des pairs qu'ils connaissent et les chemins pour les atteindre. Le pair reçoit les réponses et compare les voisinages des différents pairs. Par recoupement, il construit une représentation du réseau centrée sur lui-même. Cette représentation est utile pour un utilisateur soucieux de retrouver un pair précis dans son voisinage. Il est également possible d'imaginer que certaines applications utilisent cette représentation pour inciter les utilisateurs à se déplacer dans une direction afin de se rapprocher d'un autre et améliorer la connectivité du réseau.

Assurer la confidentialité de certaines données :
Les utilisateurs conservent sur leurs équipements des informations qu'ils ne souhaitent pas partager dans le réseau. La plate-forme doit être en mesure de compartimenter les données de manière à rendre les informations personnelles complètement inaccessibles. Ceci peut être fait grâce à l'attribution de zones de la mémoire entièrement dédiées à la plate-forme et par extension aux applications s'exécutant dessus. La plate-forme isole complètement ses données et ne considère pas les autres. Les applications doivent respecter l'organisation des données afin de les rendre accessibles à l'ensemble du réseau.

6 CONCLUSION

Les MANET représentent un support matériel encore peu exploré. Leurs caractères spontané et dynamique permettent d'envisager de nouvelles applications réparties ne nécessitant pas d'infrastructure particulière. Parallèlement, le modèle P2P a fait ses preuves dans les

réseaux fixes au travers des applications d'échange de fichiers. Les ressemblances entre ces deux modèles de réseau sont très prometteuses. Il est ainsi possible de créer un ensemble d'applications mettant en jeu des équipements mobiles capables de communiquer spontanément dans des relations d'égal à égal.

La plate-forme que nous souhaitons concevoir et développer permet d'effectuer le lien entre les MANET, des réseaux physiques, et les réseaux P2P, des réseaux logiques. Elle a pour objectif de fournir une abstraction des MANET aux applications P2P tout en utilisant avantageusement les possibilités offertes par les MANET. La plate-forme offre également une sous-couche commune à l'ensemble des applications s'exécutant au dessus ce qui garantit une forme d'interopérabilité entre celles-ci.

Nos travaux sont pour le moment au stade de définition du projet. L'analyse des plates-formes existantes nous a permis de définir certains besoins basiques du P2P sur les MANET, ainsi que les manques dans ce domaine. Les idées présentées dans cet article doivent encore être analysées en détail afin de connaître leur faisabilité. Les prochaines étapes consistent en la spécification des fonctionnalités de la plate-forme et la conception de l'architecture de la plate-forme. Nous nous intéresserons également à l'opportunité de créer une plate-forme compatible avec JXTA dans le but de permettre une extension des applications vers des environnements fixes.

Pour clore cet article, je tiens à remercier chaleureusement mes encadrantes de thèse, Isabelle Demeure pour Télécom Paris et Déborah Baruch pour France Télécom R&D, pour leur soutien et leurs nombreux conseils au cours de mes travaux.

BIBLIOGRAPHIE

[Abolhasan, 2004] Abolhasan M., Wysocki T., Dutkiewicz E.: "A review of routing protocols for mobile ad hoc networks". *Ad Hoc Networks*, Elsevier, Vol. 2, Issue 1, p. 1-22 (2004).

[Bisignano,2004] Bisignano M., Di Modica G., Tomarchio O.: "An infrastructure-less peer-to-peer framework for mobile handled devices". *Special Issue of European Transactions on Telecommunications on P2P Networking and P2P Services*, Vol. 15, Issue 6, p. 599-612 (2004).

[Blanc, 2005] Blanc, A., Yi-Kai L., Vahdal A.: "Designing incentives for peer-to-peer routing". *Proceedings of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. INFOCOM 2005*.

[Chisalita, 2002] Chisalita L., Shahmehri N.: "A peer-to-peer approach to vehicular communication for the support of traffic safety applications"., 2002. In *Proceedings of the IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Page(s):336 – 341 (2002).

[Chlamtac, 2003] Chlamtac I., Conti M., Liu J. J.-N.: "Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges". *Ad Hoc Networks*, Elsevier, Vol. 1, Issue 1, p. 13-64 (2003).

[Cohen, 2003] Cohen B.: "Incentives Build Robustness in BitTorrent". *Proceedings of the 1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems*, Berkeley, USA (2003).

[eMule] <http://www.emule-project.net/>

[Klemm, 2003] Klemm A., Lindemann C., Waldhorst O. P.: "A Special-Purpose Peer-to-Peer File Sharing System for Mobile Ad Hoc Network". *Proceedings of the Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, Sophia-Antipolis, France (2003).

[Kortuem,2001] Kortuem G., Schneider J., Preuitt D., Thompson T. G. C., Fickas S., Segall Z.: "When Peer-to-Peer comes Face-to-Face: Collaborative Peer-to-Peer Computing in Mobile Ad hoc Networks". *Proceedings of the 1st International Conference on Peer-to-Peer Computing*, Linköping, Sweden (2001).

[Milojicic, 2003] Milojicic D. S., Kalogeraki V., Lukose R., Nagaraja K., Pruyne J., Richard B., Rollins S., XU Z.: "Peer-to-Peer Computing". *Technical report*, HP Laboratories Palo Alto. HPL-2002-57 (R.1). (2003).

[Papadopouli, 2001] Papadopouli M., Shulzrinne H.: "Effects of Power Conservation, Wireless Coverage and Cooperation on Data Dissemination among Mobile Devices". *Proceedings of the ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking*, Long Beach, USA (2001).

[Ripeanu, 2002] Ripeanu M., Iamnitchi A., Foster I.: "Mapping the Gnutella Network". *Internet Computing*, IEEE, Vol. 6, Issue 1, p. 50-57 (2002).

[Ruiz, 2003] Ruiz R.M., Vidal R.B., Palma C.C.: "P2PEOPLE: P2P common interest search engine and collaboration platform". In *proceedings of EUROCON 2003. Computer as a Tool. Volume 2*, Page(s):397 - 401 vol.2, (2003).

[Schollmeier, 2001] Schollmeier R.: "A definition of Peer-to-Peer Networking for the Classification of Peer-to-Peer Architectures and Applications". *Proceedings of the 1st International Conference on Peer-to-Peer Computing*, Linköping, Sweden (2001).

[Schollmeier, 2002] Schollmeier R., Gruber I., Finkenzeller M.: "Routing in Mobile Ad Hoc and Peer-to-Peer Networks. A comparison". *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2376, p. 172-186 (2003).

[Schollmeier, 2003] Schollmeier R., Gruber I., Niethammer F.: "Protocol for Peer-to-Peer Networking in Mobile Environments". *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Communications and Networks*, Dallas, USA (2003).

[Skype] <http://www.skype.com/>