

# Routage et reroutage dans les réseaux mobiles<sup>†</sup>

Dominique Barth<sup>1</sup>, Colette Johnen<sup>2</sup> et Véronique Vèque<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PRISM, Université de Versailles-SQ, F-78035 Versailles Cedex, France

<sup>2</sup> LRI CNRS-UMR 8623, Bat 490, Université Paris Sud, F-91405 Orsay Cedex, France

---

Dans un réseau mobile, suite à un changement de point d'accès de l'utilisateur, une connexion doit être reroutée pendant la communication, sans aucune coupure. Le reroutage d'une connexion doit satisfaire certaines contraintes afin d'être le plus transparent possible pour l'utilisateur : rapide, efficace, tolérant et sans perte de la QoS négociée ou de la bande passante réservée. Nous donnons ici une solution à ce problème qui repose sur les principes suivants : réservation de ressources, lien de capacité finie, reroutage partiel, calcul du chemin distribué dans chaque nœud et topologie de type grille. Nous justifions ces choix puis nous présentons les algorithmes que nous avons développés, ainsi que leur plan d'évaluation.

---

**Keywords:** réseau mobile ; routage distribué ; reroutage ; grille

---

## 1 Introduction

La troisième génération de réseaux mobiles est dès maintenant en cours de développement. Son principal objectif est l'intégration multi-services c'est à dire le transport intégré de la voix, des données à haut débit et plus généralement, des services multimédia [?].

Tout comme le réseau numérique large bande, dans les années 90, ces nouveaux réseaux mobiles seront capables d'offrir toute la palette de débits, fonction du service, tout en garantissant à chacun la qualité de service requise [?]. Les terminaux seront alors multi-puissance, réglant leur niveau en fonction de l'application et multi-standards, afin d'utiliser le codage, le spectre ou le réseau le mieux adapté au service demandé.

Dans un réseau fixe, le routage d'une connexion n'est réalisé qu'une fois, lors de l'établissement de celle-ci. Dans un réseau mobile, l'une ou les deux extrémités de la connexion peuvent être mobiles et changer de cellule, en exécutant un *handover* [?]. Le handover implique un reroutage de la connexion en cours de communication si, non seulement la station de base change mais aussi, le commutateur auquel elle est connectée (handover inter-commutateurs). Le reroutage de connexion doit être le plus transparent possible à l'utilisateur : rapide (en quelques ms), efficace (en échange de messages et en temps de calcul), sans coupure et sans réduction de la QoS négociée. Il implique un échange de messages de signalisation entre mobiles et stations de base, et entre stations de base et commutateurs ; ceux-ci doivent être limités au strict minimum. Nous proposons ici une solution au problème de reroutage de connexions mobiles et qui repose sur les principes suivants : connexion téléphonique, réservation de ressources, lien de capacité finie,

---

<sup>†</sup>Ces travaux ont été supportés par le BQR de l'université Paris-Sud et par l'action incitative INRIA, COMMOBIL, Routage et handover pour les télécommunications à relais mobiles, 1988-1999.

reroutage partiel, calcul du chemin distribué dans chaque nœud et topologie de type grille. En nous basant sur [?] et [?], nous pouvons classer les techniques de reroutage de connexion en trois catégories :

- la technique dénommée *Anchor rerouting* ou *chaining* consiste à rallonger le chemin vers la nouvelle destination et est souvent utilisée dans les réseaux GSM existants [?].
- le *reroutage dynamique* consiste à réallouer tout le chemin de manière à allouer un nouveau chemin tout aussi optimal ; cette technique est particulièrement adaptée à un routage centralisé.
- les techniques de *reroutage partiel* de la connexion consistent à construire un nouveau chemin à partir du commutateur à la croisée des chemins, encore appelé le nœud de divergence.

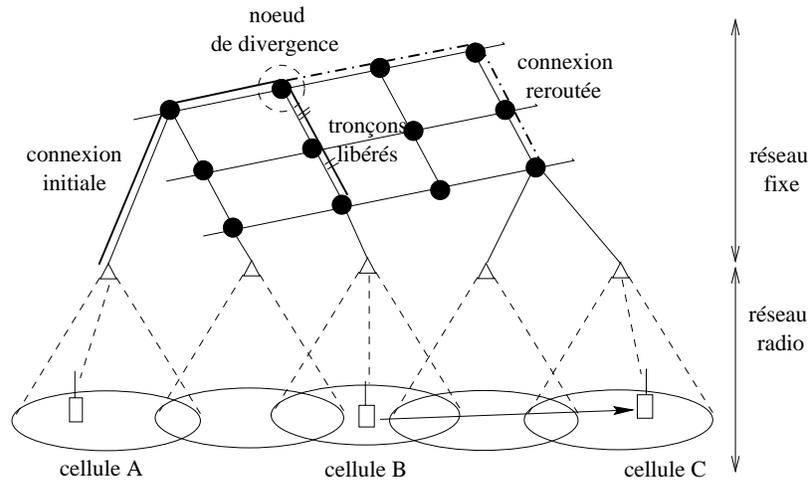


FIG. 1 – Reroutage partiel

La première technique est sans doute la plus simple et la plus rapide mais elle conduit à des chemins non optimaux après reroutage et donc coûteux en bande passante. La deuxième méthode, au contraire est optimale mais elle induit un temps de latence indéniable puisque le chemin complet est recalculé. Par ailleurs, [?] souligne le risque d'instabilité dans le cas où les deux extrémités seraient mobiles en même temps. Le calcul centralisé nécessite des échanges de messages à chaque déplacement d'un utilisateur entre son nœud d'accès et le centre de contrôle et de ce fait, il ne répond pas à la contrainte de rapidité du reroutage. Nous avons donc décidé que routage et reroutage seront effectués de manière répartie, c'est-à-dire que le chemin est calculé de proche en proche, localement dans chaque nœud en fonction des informations dont il dispose. Avec cet objectif, la technique de reroutage complet nous paraît très coûteuse en calculs car les nœuds risquent d'être surchargés par le traitement des demandes de routage ou de reroutage. C'est pourquoi, notre choix s'est tout naturellement porté sur la méthode du reroutage partiel, illustré dans la figure ??.

Nous présentons dans la suite notre propre solution au problème de reroutage avec calcul réparti des routage et reroutage de connexions. Dans la configuration réseau considérée, le territoire est quadrillé par un ensemble de cellules, chacune étant servie par une station de base connectée à un commutateur. Les nœuds sont ensuite interconnectés entre eux par un maillage, partie fixe du réseau cellulaire. Nous prenons ici comme hypothèse que la topologie de ce réseau cellulaire, où nous étudions routages et reroutages, est une grille à deux dimensions. Cette topologie particulière, choisie dans de nombreux travaux sur le routage [?, ?], permet un routage sans table et sans échanges d'informations entre voisins puisqu'un nœud peut calculer seul grâce aux coordonnées du destinataire, le chemin optimal pour le rejoindre. L'établissement d'un chemin de connexion optimal est un de nos principaux objectifs car il assure une réservation minimale des ressources du réseau. Enfin, l'utilisation de la grille présente l'avantage de bien résister à l'augmentation du facteur d'échelle ; le routage étant le même quelque soit la taille du réseau.

Les deux prochains paragraphes introduisent précisément les algorithmes de routage et de reroutage que

nous avons développés. En conclusion, nous donnons notre plan d'expérience et nous ouvrons sur quelques perspectives.

## 2 Routage

Une gestion centralisée de l'établissement des connexions nécessite une vision globale et temps réel de l'ensemble du réseau, vision qui semble de plus en plus irréaliste dans les réseaux de télécommunication. Nous considérons donc ici un routage réparti des connexions. La réservation est faite au fil de l'eau dans le réseau par l'envoi d'une demande d'établissement. Chaque nœud atteint par ce message acceptera localement d'être traversé par cette connexion – ce qui implique une réservation de ressources en ce nœud en terme de bande passante –, ou refusera la connexion – ce qui entraînera un refus en cascade vers les nœuds déjà traversés. La décision de chaque nœud d'accepter de router une telle connexion dépend donc (1) des informations locales sur la charge du réseau qui sont les capacités disponibles sur ses quatre liens de sorties et (2) des informations sur la demande de connexion : débit demandé, destination de la connexion, etc. Cette approche locale ne permet bien-sûr pas une gestion optimale des ressources de communication du réseau à tout moment, mais elle permet une meilleure répartition des messages de signalisation dans le réseau, ainsi qu'une meilleure répartition des charges de gestion du réseau entre les divers nœuds : il n'y a plus de goulet d'étranglement.

### 2.1 $\epsilon$ -routage et déflexion

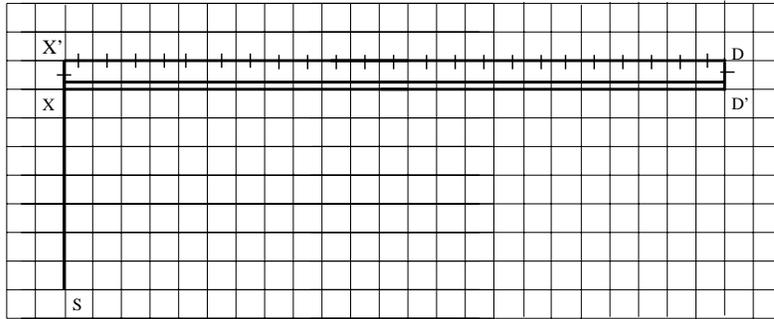
Nous avons vu que l'établissement d'une connexion implique une réservation de bande passante sur chaque lien traversé par la connexion. Le problème du routage est donc non seulement d'établir un chemin optimal mais aussi disposant de la bande passante nécessaire. Pour que la qualité de service offerte à l'utilisateur soit bonne, notamment en terme de refus de connexion, l'algorithme réparti de routage ne doit pas systématiquement refuser une demande d'établissement quand elle ne peut pas être réalisée par un circuit virtuel de longueur minimale (en termes de distance dans le graphe). En effet, cette connexion pourrait être établie avec succès en empruntant un chemin un peu plus long que le chemin minimal. Néanmoins, il est peu efficace de monopoliser "trop" de ressources pour une seule connexion : si cette demande est satisfaite, alors des demandes futures risquent de ne pas l'être, bien que le refus de cette connexion puisse permettre de satisfaire d'autres demandes. De plus, un chemin de connexion long est pénalisant pour le délai de transfert. Un compromis doit donc être trouvé entre longueur de connexion et risque de refus.

La stratégie de l'algorithme de routage est d'essayer de construire un chemin de taille minimale  $d$ . Une demande de connexion atteignant un nœud lui demandera une réservation sur un des liens de sortie la rapprochant de sa destination. Si cela n'est pas possible (d'un point de vue de réservation de bande passante), ce nœud peut soit tuer la demande de connexion en cours, soit lui proposer un autre lien de sortie l'éloignant de fait, localement de sa destination : la demande est alors *défectée* [?]. Chaque demande se voit donc initialement affecter un nombre maximal de déflexions qu'elle pourra accepter. En établissant ce nombre maximal en fonction de la distance source-destination, on peut garantir que chaque circuit virtuel connectant deux nœuds à distance  $d$  sera de longueur au plus  $d.(1 + \epsilon)$ , où  $\epsilon$  est le coefficient de déflexion fixé pour le routage. Ce type de routage sera ainsi appelé  $\epsilon$ -routage.

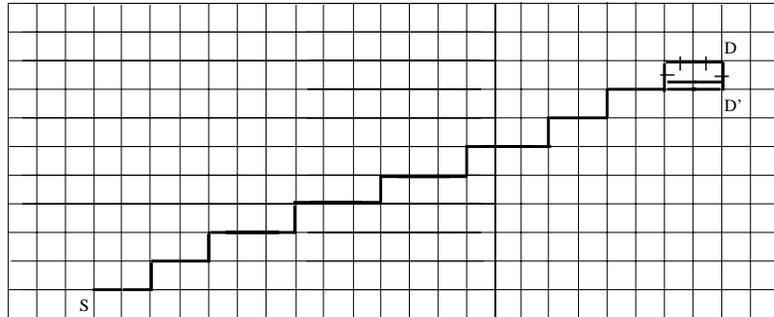
A priori, plus la valeur de  $\epsilon$  est grande, plus il y a des possibilités de construire une connexion correspondant à une demande donnée. Si la valeur de  $\epsilon$  est faible, le volume moyen de ressources du réseau utilisé par un seul circuit est petit. En moyenne, il y aura plus de demandes de connexion qui seront satisfaites. Il faut donc déterminer la valeur optimale de  $\epsilon$  pour satisfaire le plus grand nombre de demandes au cours du temps. La simulation de notre algorithme de routage apportera une première réponse à cette question.

### 2.2 Stratégies de routage dans la grille

Comme nous l'avons vu, une demande de connexion atteignant un nœud fait une réservation de capacité sur le lien de sortie le rapprochant de sa destination. La façon de sélectionner ce nœud déterminera le type de chemin associé à la connexion entre deux nœuds.



a. Reroutage sur un circuit de type XY



b. Reroutage sur un circuit de type escalier-équilibré

FIG. 2 – Divers types de routage

Il existe en effet entre deux points  $S$  et  $D$  d'une grille de nombreux chemins de distance minimale. Chacun de ces chemins est un candidat potentiel pour l'établissement d'une connexion entre  $S$  et  $D$ . Du point de vue de la stratégie de routage, tous ces chemins sont optimaux. Par contre, ces chemins ne sont pas équivalents en cas de reroutage : certains vont engendrer plus ou moins de messages de signalisation. C'est donc ce dernier critère qui influera nos choix.

Le circuit entre  $S$  et  $D$  présenté dans la figure ??a, est du type XY. Lors du routage, il est extrêmement simple de construire un circuit de type XY. Malheureusement un reroutage partiel est très coûteux. Etudions sur la figure ??a le reroutage partiel après le déplacement de l'utilisateur en  $D$  vers  $D'$ . Tous les nœuds de  $D$  à  $X$  (le nœud de divergence) sont impliqués dans le reroutage, ainsi que tous les nœuds sur le nouveau chemin de  $D'$  à  $X$  : ce reroutage concerne au moins  $2 \cdot \text{dist}(D', X)$  nœuds.

Etudions un autre type de routage, dit en *escalier-équilibré* (figure ??b) : le chemin entre  $S$  et  $D$  est un escalier où toutes les marches sont quasiment de même profondeur ( $pdf$  ou  $pdf + 1$ ). Le coût des reroutages s'accroît linéairement en fonction du nombre de reroutages déjà effectués. Le reroutage partiel, après le déplacement de l'utilisateur de  $D$  en  $D'$  implique  $2 \cdot pdf$  nœuds. Le  $n$ ième reroutage impliquera au plus  $2 \cdot n \cdot (pdf + 1)$  nœuds.

### 3 Stratégie de reroutage

L'objectif du reroutage partiel est de profiter du déplacement d'un utilisateur pour établir (1) un circuit virtuel de taille minimale en (2) réutilisant au maximum le circuit virtuel préexistant. Ainsi, on libère des ressources utilisées inutilement le plus rapidement possible, ce qui n'implique qu'un nombre minimum de nœuds.

Considérons une connexion  $C$  établie entre deux nœuds  $S$  et  $D$ , et imaginons que le destinataire se déplace de  $D$  vers un nœud voisin  $D'$ . Afin de maintenir la communication, une réservation est effectuée sur le lien



sont traduites en termes de taux d'utilisation des liens, de taux d'utilisation du réseau et de la charge de signalisation (ou nombre de messages de reroutage échangés) qui découle directement du nombre de nœuds impliqués dans le calcul du reroutage. Une de nos expérimentations porte sur le trafic écoulé en fonction de la valeur de  $\epsilon$  et de la charge des demandes de connexion.

Le routage de type escalier-équilibré assure que le coût d'un déplacement est quasi-minimal en moyenne. Nous nous proposons d'étudier d'autres types de routage ; par exemple, des algorithmes qui assurent que les  $k$  premiers déplacements seront de coût minimaux, mais les déplacements suivants ne le seront pas. Une nouvelle étude statistique sur le nombre moyen de déplacements lors d'une communication permettrait de déterminer le type de routage optimal.

## Références

- [BC95] J.T. Brassil and R.L. Cruz. Bounds on maximum delay in networks with deflection routing. *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Sys.*, 6(7):724–732, 1995.
- [dR94] J. de Rumeur. *Communications dans les réseaux d'interconnexion*. Masson, 1994.
- [dSBAF96] J.A. Schwarz da Silva, B. Barani, and B. Arroyo-Fernandez. European Mobile Communications on the Move. *IEEE Communications Magazine*, 34(2), 02 1996.
- [Max87] N. Maxemchuk. Routing in the manhattan street network. *IEEE Trans. on Comm.*, COM35(5):503–512, may 1987.
- [MP92] M. Mouly and M.B. Pautet. *The GSM System for Mobile Communications*. Mouly, 1992.
- [OR99] P.V. Orlik and S.S. Rappaport. On the hand-off arrival process in cellular communications. In *Wireless Communications and Networking Conference, WCNC. 1999 IEEE*, Volume: 2, 1999.
- [RLPKT98] R. Ramjee, T. La Porta, J. Kurose, and D. Towsley. Performance Evaluation of Connection Rerouting Schemes for ATM-Based Wireless Networks. *IEEE Trans. on Networking*, 6(3):249–261, june 1998.
- [Sa97] M. Shafi and al. Wireless Communications in the Twenty-First Century: a Perspective. *Proc. of the IEEE*, 85(10):1622–1637, oct 1997.
- [WC95] T.H. WU and L.F. Chang. Architectures for PCS Mobility Management on ATM Transport Networks. In *Proc. ICC'95*, pages 763–768, , November 1995.