

---

**UNIVERSITE MONTPELLIER II**  
**IUP Génie Mathématiques et Informatique**

**Travail d'étude et de Recherche**

**Routage et re-routage**  
**dans les réseaux mobiles**

**Présenté par : Estelle Colin & Fabrice Berna**  
**Dirigé par : Jean-Claude König**

**Session 2001**

<b>Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>Présentation du réseau mobile.....</b>	<b>4</b>
Le réseau GSM actuel .....	4
Cellules .....	4
Architecture .....	4
Déroulement d'un appel.....	5
Topologie en grille .....	5
<b>Routage .....</b>	<b>7</b>
Définition .....	7
Principe.....	7
E -routage.....	7
Routage X-Y.....	8
Routage en Escalier-équilibré .....	9
<b>Re-routage.....</b>	<b>10</b>
Principe du Handover.....	10
Les différentes phases du handover.....	10
Quelques techniques de re-routage.....	11
Anchor re-routing.....	11
Re-routage dynamique.....	11
Re-routage partiel.....	11
Re-routage partiel .....	12
Election du nœud de divergence.....	12
Connexion au nœud de divergence.....	13
Mise à jour du chemin .....	13
Efficacité du re -routage .....	13
<b>Conclusion.....</b>	<b>14</b>
<b>Glossaire.....</b>	<b>15</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>16</b>

---

## Introduction

L'avantage essentiel que représentent les systèmes de communication radio-mobiles par rapport aux réseaux fixes, est la *mobilité*. Cet aspect a séduit une grande quantité de personnes. L'affluence de nouveaux consommateurs a imposé aux opérateurs une amélioration rapide du réseau pour garantir la Qualité du Service offert.

Le service de mobilité permet aux usagers de communiquer sur une zone plus ou moins étendue et de pouvoir poursuivre une communication tout en se déplaçant avec toutefois, des limites en vitesse et en distance. Le système permettant d'offrir ce service au sens le plus large est le système cellulaire, en particulier le système tel que le GSM, dont la couverture peut s'étendre sur des pays voire des continents.

Dans un réseau fixe, le routage n'est effectué qu'une fois. Dans le réseau mobile, suite à des déplacements des extrémités de la connexion, il est nécessaire d'établir un nouveau chemin en effectuant un handover et un re-routage de la communication en cours.

Nous présenterons d'abord la structure du réseau GSM en parallèle à une structure réseau en grille. Puis nous étudierons les différents types de routage connus à ce jour. Enfin, nous étudierons les diverses techniques de re-routage suite à un handover, en cherchant à mettre en évidence la technique optimale pour économiser les ressources.

# Présentation du réseau mobile

## Le réseau GSM actuel

### Cellules

L'aire de service est partitionnée en petites zones géographiques nommées cellules. Les cellules sont plus ou moins grandes en fonction du nombre potentiel d'abonnés qu'elles doivent gérer (cf fig. 1.)

Les zones de couverture des cellules voient leur taille diminuer pour garantir une large bande passante aux utilisateurs.

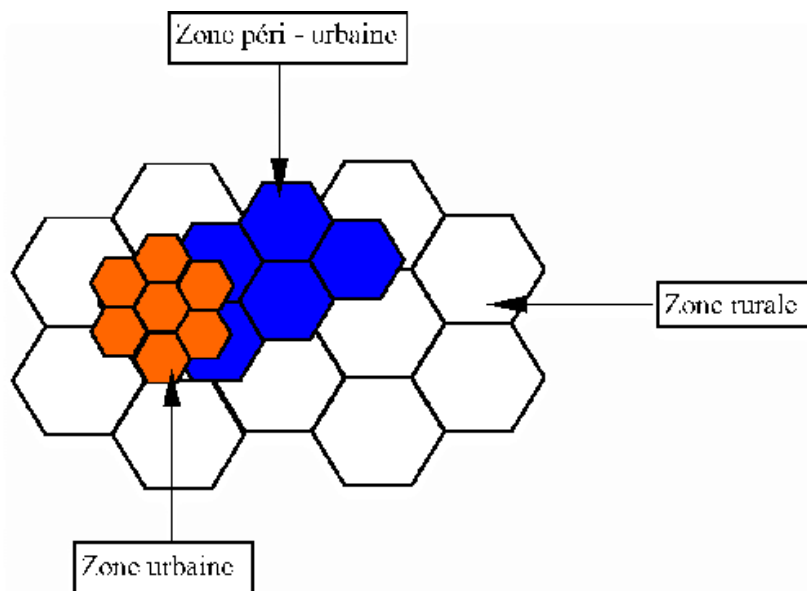


fig. 1. Réseau Cellulaire

### Architecture

Les stations de base (BTS, Base Transciever Station) assurent la couverture de l'aire de service : chaque cellule dispose d'une BTS et d'une seule.

Chaque BTS est reliée à un contrôleur de station de base (BSC, base station controller).

Chaque BSC est lui-même relié à un commutateur de service mobile (MSC, mobiles services switching center).

La BTS gère la transmission radio.

Le BSC organise la supervision, l'allocation et la relâche des canaux radios, conformément aux demandes reçues du MSC.

Le MSC gère l'établissement d'appel, la relâche d'appel, et tout ce qui est lié aux identités des abonnés.

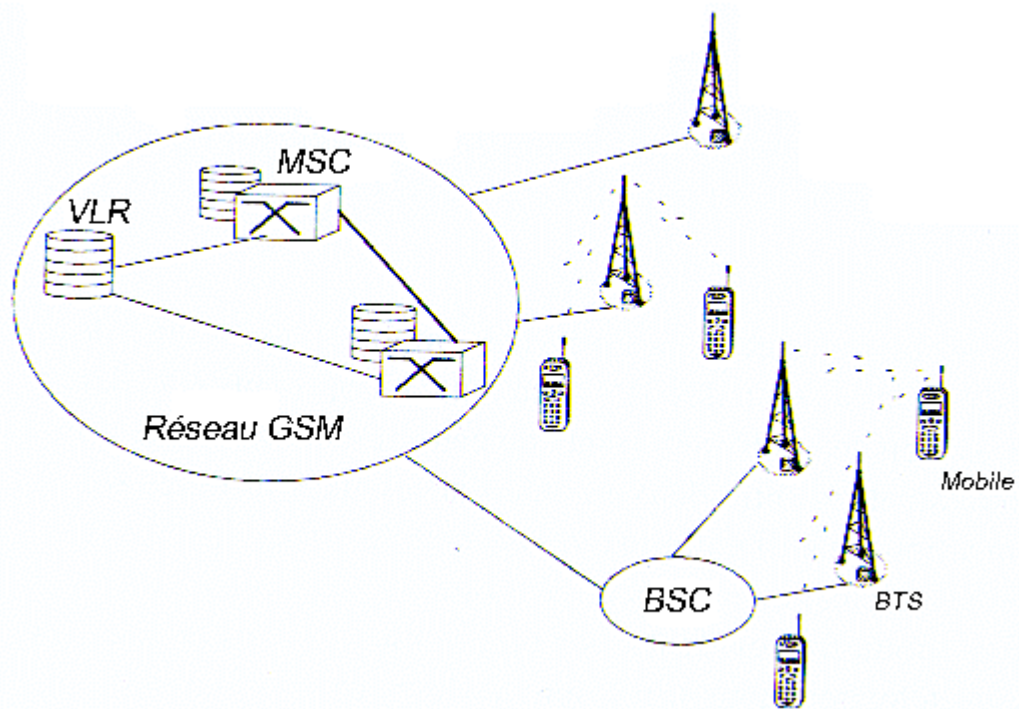


fig. 2. Réseau actuel en arbre

## Déroulement d'un appel

1. Etablissement de l'appel.  
Pour que l'abonné puisse appeler, il faut qu'il soit enregistré dans l'aire où il se trouve auprès du MSC.
2. Appel sortant.  
Le mobile établit un dialogue avec le MSC, qui :
  - alloue un canal radio au mobile
  - route l'appel vers le destinataire par le réseau GSM.
3. Appel entrant.  
A l'aide du numéro appelé, on déduit la localisation du destinataire grâce à l'enregistreur de localisation nominal (HLR).  
Le HLR fournit l'adresse du MSC, BSC, et BTS couvrant l'aire dans laquelle se trouve le destinataire.
4. Connexion  
Une fois que le destinataire est trouvé, la connexion est établie.

## Topologie en grille

Le réseau GSM utilise une structure en arbre (cf. fig. 2.). Sur ce genre de topologie, une communication ne peut suivre qu'un seul chemin. Ce chemin unique entre deux points, peut engendrer des problèmes de congestion ou encore une coupure de la connexion si une panne survient.

Nous considèrerons ici une structure en grille. Sur cette topologie, une communication peut suivre plusieurs chemins. On peut ainsi éviter les coupures au cours d'une communication en cas de panne d'un nœud en empruntant une autre chemin. Le problème de la congestion est solutionné en créant un chemin évitant les nœuds saturés par déflexion.

Cette structure est utilisée pour de nombreux travaux de routage car chaque nœud connaissant la grille, il peut lui même calculer le chemin optimal jusqu'au destinataire connaissant ses coordonnées.

Remarque: dans une architecture avec une topologie en grille, le routage est effectué par le matériel. (BSC et non MSC)

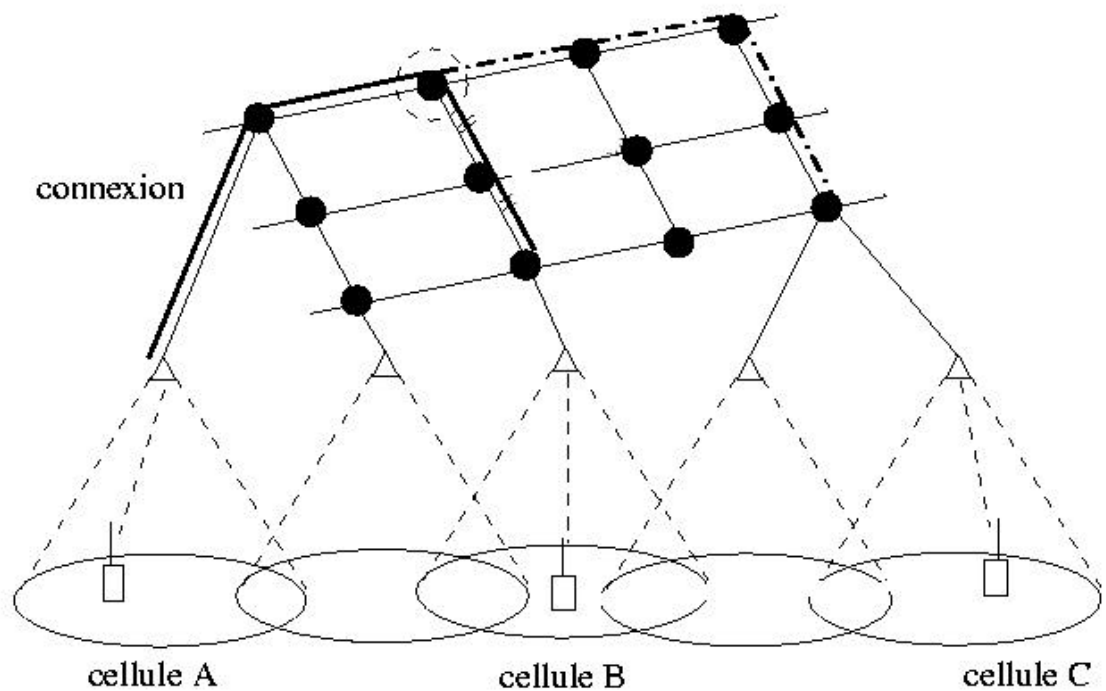


fig. 3 Structure de réseau en Grille

# Routage

## Définition

Dans la topologie grille, le routage fait intervenir une BTS et le BSC (un nœud de la grille) auquel elle est reliée. (cf fig. 3). Il implique, au niveau de la grille, la recherche d'un chemin allant de la BSC couvrant la source jusqu'à celle couvrant la destination.

C'est l'algorithme de routage qui recherche ce chemin, ce dernier doit être le plus court possible et monopoliser le moins de ressources possible.

La combinaison de ces deux conditions est le problème majeur des problèmes de routage.

Lorsqu'une demande de connexion est faite, un nœud peut accepter ou refuser de se voir localement traversé par la connexion. L'acceptation d'un nœud implique une réservation de bande passante, sinon son refus engendre un refus en cascade au niveau de tous les nœuds traités précédemment.

Une acceptation dépend :

- des informations sur la charge du réseau au niveau local, c'est à dire les capacités liées à ses quatre liens de sortie.
- des informations sur la demande de connexion (débit souhaité, destination de la connexion, entre autre)

Cette façon de voir le problème localement, au niveau des nœuds, permet une meilleure répartition des messages sur le réseau ainsi qu'une meilleure répartition des charges, c'est à dire que par ce biais, tout ne passe pas par le même côté de la grille. Ainsi, il n'existe plus de goulets d'étranglement.

## Principe

Rappel: sur une grille, contrairement à la structure en Arbre, le chemin entre deux points n'est pas unique, et il peut exister plusieurs chemins de longueur optimale.

Si deux chemins sont optimaux entre deux points, ils sont tous deux candidats éventuels pour mener la connexion. Ce qui fait qu'un chemin va être choisi plutôt qu'un autre dépend de la stratégie de routage choisie initialement.

## e-routage

Lors d'une demande de connexion, le nœud de départ calcule le chemin optimal jusqu'à la destination. Ce chemin n'est pas forcément libre, car des nœuds de ce chemin peuvent refuser la connexion. Le chemin est construit ensuite de proche en proche à partir du nœud initial, lorsque cette demande atteint un nœud, une réservation du lien la rapprochant de la destination lui est demandée. Si cela n'est pas possible, ce nœud peut :

- Tuer la demande de connexion.
- Lui proposer un autre lien de sortie qui l'éloignera de la trajectoire idéale, la connexion est alors défectée.

Le chemin optimal ne pouvant pas toujours exister, on permet que ce chemin dévie un petit peu de la trajectoire idéale. La tolérance instaurée est 'mesurée' grâce à un coefficient, qui limite l'écart de cheminement, c'est le coefficient  $e$  ; d'où le nom de e-routage.

A chaque demande de connexion est assimilé un nombre maximal de déflexion, en fonction de la longueur source-destination.

Ainsi, tout au long du chemin, la connexion ne peut être défectée qu'un certain nombre de fois, garantissant que le chemin virtuel construit n'étant pas optimal, ne sera pas pour autant trop coûteux. De plus, on peut connaître ainsi la longueur de ce chemin, sachant que la longueur du chemin optimal est 'd', la longueur du chemin final sera au plus 'd.(1+ e)'.

De ce fait un chemin s'éloignant trop du « trajet optimal », ne sera pas retenu, car trop coûteux, il se peut aussi qu'un chemin ne soit jamais terminé car le nombre de déflexion autorisé est prématurément atteint.

Plus ce coefficient est important, plus grande est la possibilité de construire un chemin reliant la source et la destination. Plus e est petit, plus la quantité de ressources utilisées est petite, donc il est plus dur de créer un chemin utilisant peu de ressources.

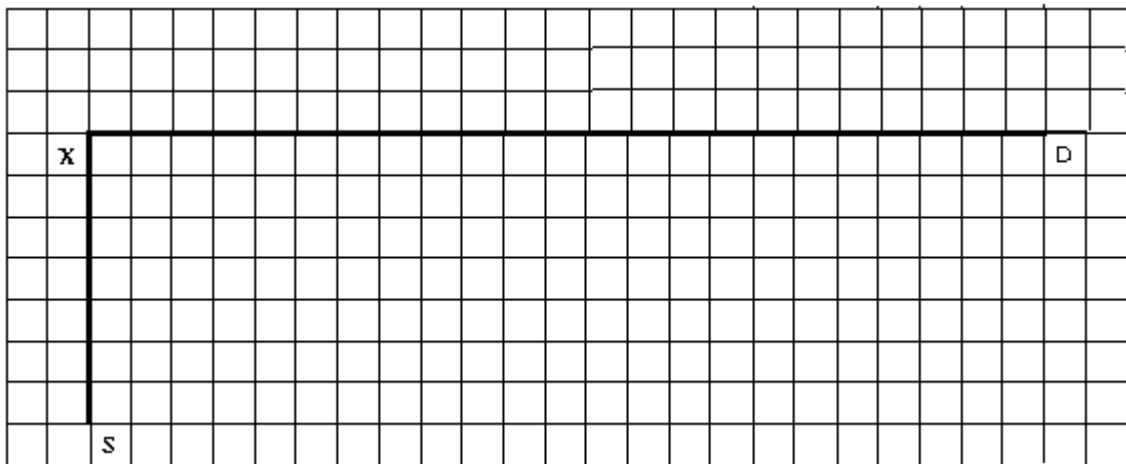
## ***Routage X-Y***

Ce routage consiste à construire un chemin sur deux axes. Soit un plan orthonormé, le chemin entre S (la source) et D (la destination) sera fait de :

- Un segment vertical partant de S et remontant jusqu'à l'axe horizontal passant par D, et un autre segment horizontal partant de ce point d'intersection jusqu'à D.
- ou - Un segment horizontal partant de S et allant jusqu'à la droite verticale passant par D, et un autre segment vertical allant de ce point d'intersection jusqu'à D.

En fait le chemin est fait de deux segments orthogonaux, un passant par S, l'autre passant par D.

La construction de ce chemin est très simple mais, un re-routage partiel sur ce type de stratégie est très coûteux.



**fig. 4 Circuit de type XY**



## Re-routage

La structure cellulaire, si elle offre le principal avantage de pouvoir desservir des densités d'abonnés importantes, a pour principal inconvénient de devoir assurer les transferts de communication entre cellules. Le mécanisme assurant cette fonction est appelé *handover* et se produit uniquement en cours de communication.

Le handover vise à maintenir une qualité de communication acceptable entre le mobile et le réseau tout en minimisant le niveau d'interférences global. Cet objectif est atteint en impliquant de la part du mobile un changement de cellule. Le handover peut être considéré comme le processus le plus complexe et le plus important des réseaux de communication cellulaire. Afin de faciliter la croissance rapide de la demande, de petites cellules ont été introduites, ce qui augmente le nombre de handovers nécessaires dans un réseau.

Le handover est sans conteste la procédure la plus critique puisqu'elle doit assurer la continuité de l'appel alors que d'un autre côté la ressource radio change. Les performances de la procédure de handover jouent un rôle particulièrement important dans la qualité de service offerte à l'abonné.

### Principe du Handover

Pendant la communication, le lien radio est mesuré et évalué périodiquement. La détection d'une situation anormale déclenche une alarme du contrôleur de station de base (BSC) vers le commutateur de service mobile (MSC). A la réception de cette alarme, le commutateur identifie une nouvelle cellule. S'il en trouve une, alors il déclenche un handover, sinon la communication continue sur le même canal et des handovers sont périodiquement tentés. Après un handover réussi, l'ancien canal est libéré.

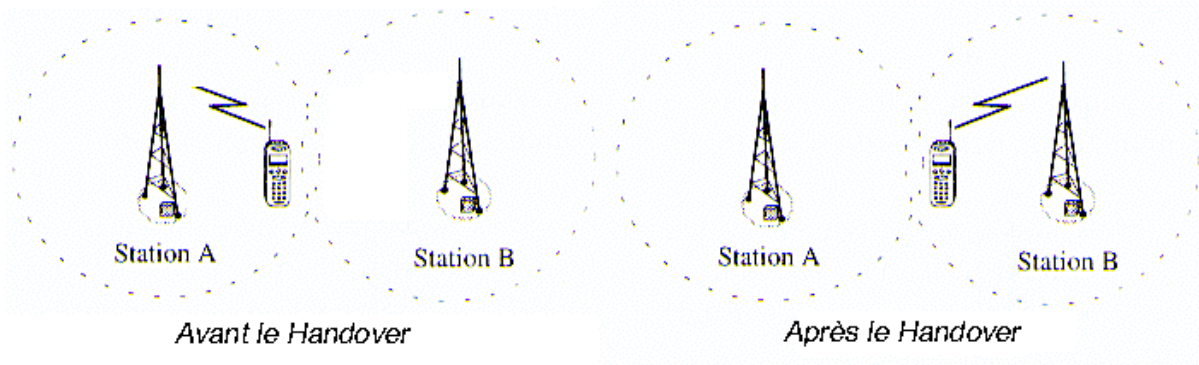


fig. 6 Déroulement d'un Handover inter-cellulaire

### Les différentes phases du handover

La procédure de handover est partagée en trois phases qui sont les suivantes :

- phase de réalisation des mesures
- phase de détermination de la cellule cible et de déclenchement du handover
- phase d'exécution du handover (transfert effectif des liens)

## Quelques techniques de re-routage

### Anchor re-routing

Technique simple et rapide, elle consiste à utiliser le chemin de communication actuel, et à le rallonger pour atteindre la nouvelle cellule (cf. : fig. 7)

Cette technique est souvent utilisée dans les réseaux GSM actuels :

- re-routage très rapide
- algorithme de re-routage simples
- mais conduit à des chemins non optimaux, ce qui équivaut à une consommation de bande passante importante

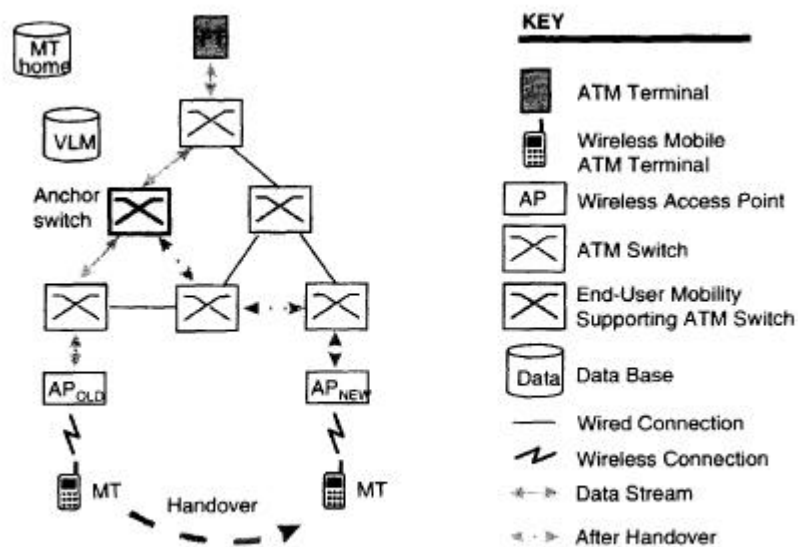


fig. 6 Anchor re-routing

### Re-routage dynamique

Cette technique consiste à recalculer tout le chemin de communication de la source jusqu'à la nouvelle destination. Le re-routage dynamique est bien adapté en terme d'économie de bande passante, car le chemin de communication est toujours optimal. Mais cette technique pose quelques problèmes :

- le temps de re-routage est élevé puisque tout le chemin est recalculé
- le re-routage peut devenir instable en cas de déplacement simultané des deux extrémités

### Re-routage partiel

Nous travaillerons sur cette technique qui est un bon compromis entre l'anchor re-routage et le re-routage dynamique.

## Re-routage partiel

Cette technique consiste à allonger le chemin (cf. anchor re-routing) existant jusqu'au nouveau nœud, puis à reconstruire un nouveau chemin de taille minimale entre la source et la nouvelle destination à partir d'un point du chemin : le nœud de divergence, en réutilisant au maximum le chemin de communication existant.

Elle offre des avantages :

- la totalité des nœuds n'est pas impliquée dans le re-routage, donc le re-routage est rapide
- le nouveau chemin calculé est optimisé

Le re-routage partiel se déroule en trois étapes :

- élection du nœud de divergence
- connexion au nœud de divergence
- mise à jour du chemin

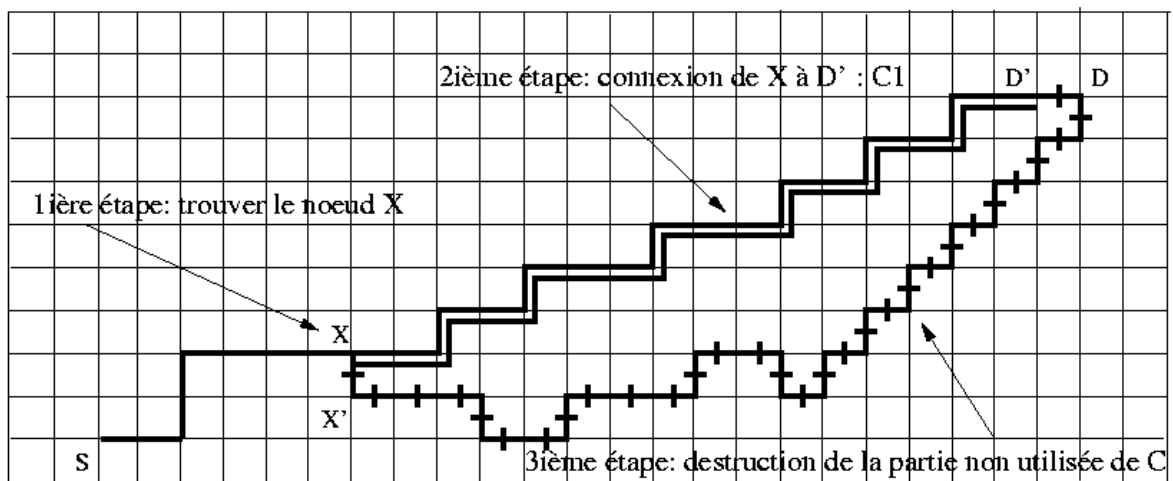


fig. 7 Etapes du re-routage partiel

## Election du nœud de divergence

Suite à un handover, le chemin est allongé jusqu'à 'D''. On recalcule alors un nouveau chemin optimisé de 'S' à 'D'' pour libérer des ressources réseau (bande passante). Cette opération commence par l'élection du nœud de divergence.

Le nœud de divergence (X) est un nœud tel que :

- il appartient au chemin actuel
- il est le plus loin possible de la source (S)
- le chemin de S à X est optimal
- la distance qui le sépare de la nouvelle destination (D') est inférieure à la distance qui sépare son successeur (X') de l'ancienne destination (D)

L'élection du nœud de divergence se fait par l'envoi par 'D'' d'un message de signalisation. Le message va remonter le chemin en direction de la source 'S'. Il contient entre autre la localisation de 'D' et 'D''.

## Connexion au nœud de divergence

Une fois que le nœud de divergence a été élu, il calcule le chemin optimal vers la nouvelle destination. Il tente ensuite d'établir un chemin de X à D' selon la règle de routage  $\Theta$ -routage (cf. partie « Routage »).

## Mise à jour du chemin

Si le nœud de divergence réussit à établir un chemin optimal jusqu'à la nouvelle destination, le chemin de S à D' devient la concaténation du chemin de S à X, et du chemin calculé de X à D'.

Le chemin et les ressources de X à D sont alors libérées.

## Efficacité du re-routage

L'efficacité du re-routage partiel dépend :

- du temps nécessaire pour élire le nœud de divergence
- du temps nécessaire pour établir le nouveau chemin de X à D'

Plus le nœud de divergence est proche de D', plus le re-routage sera rapide (peu de nœuds traversés par le message envoyé par D', et peu de nœuds utilisés pour le re-routage).

Donc, la technique de routage est importante pour favoriser ensuite un re-routage optimal. Dans la figure 7, on voit que le nœud de divergence est proche de S. Dans certains schéma de routage, S peut même devenir le nœud de divergence.

Dans un schéma du type escalier-équilibré (fig. 8), le nœud de divergence se trouve sur la dernière marche. Dans ce cas, l'efficacité du re-routage dépend du nombre de marches. L'avantage est que dans tous les types de déplacement de la destination (dans n'importe quelle destination), le premier re-routage est optimal. Cependant, on ne peut garantir que le routage en escalier-équilibré est adapté à de nombreux déplacements successifs.

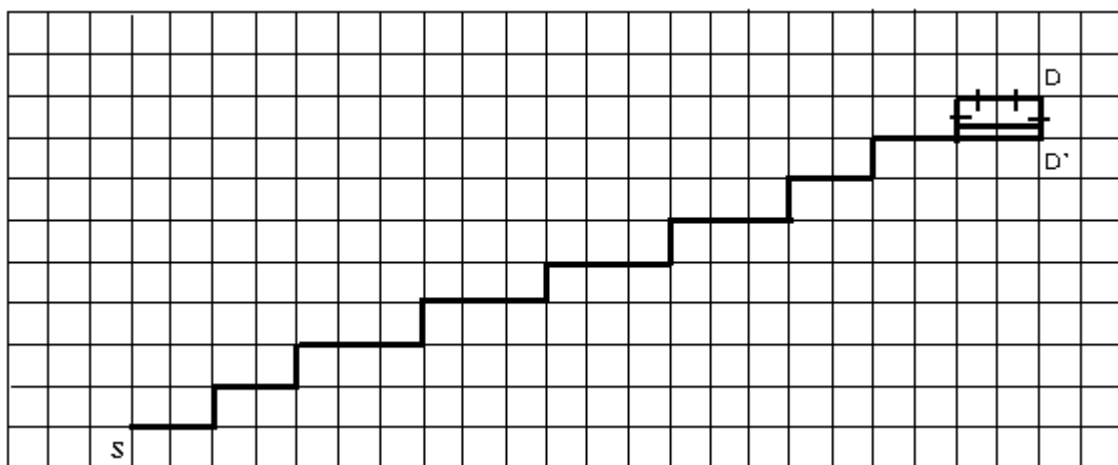


fig. 8 Re-routage sur escalier-équilibré

## Conclusion

Nous avons évoqué un avantage (disparition des goulets d'étranglement grâce à la pluralité des chemins optimaux), que pourrait apporter une topologie en grille, qui n'est pour le moment que chimérique sur un grand réseau, et aussi montré une solution possible aux problèmes de routage et re-routage.

Le routage en escalier-équilibré permet l'établissement d'un chemin optimal lors du premier re-routage qui sera rapide et coûtant un minimum de ressources. Son efficacité sur plusieurs re-routage successifs est le sujet d'études en cours.

L'e-routage permet une meilleure approche dans un réseau appauvri en ressources, et ce avec des calculs minimum, évitant ainsi trop de refus de connexions ou encore des connexions trop chères.

L'efficacité d'un réseau, le routage ou le re-routage d'une connexion lors d'un déplacement de mobile à moindre coût, constituent l'un des problèmes les plus traités dans le monde de la télécommunication.

En effet, la gestion de la mobilité (*mobilité radio* avec le *handover* et *mobilité réseau* avec le mécanisme de sélection/re-sélection des cellules et la gestion de l'itinérance) est la principale différence entre les systèmes fixes et les réseaux radio-mobiles.

L'importance de ces différentes procédures est d'autant plus grande que l'on observe une augmentation à quatre niveaux de l'impact de la mobilité dans les réseaux de télécommunications.

Premièrement, au niveau *spatial*, car en quelques années la mobilité est passée de locale (les systèmes privés) à régionale, puis nationale (avec les réseaux cellulaires) et enfin à une mobilité internationale (avec la possibilité de changer de pays). L'arrivée du GMPCS (*Global Mobile Personal Communications Systems*), utilisant les satellites, permettra une mobilité à l'échelle du globe.

Deuxièmement, au niveau de la densité d'abonnés qui ne cesse de croître et a dépassé toutes les prévisions les plus optimistes.

Troisièmement, au niveau du trafic des abonnés, puisque les abonnés passent de plus en plus de communications même à proximité d'un poste fixe et que le débit va se faire de plus en plus grand grâce aux nouveaux services qui sont en train de se mettre en place, comme l'UMTS, ou encore le service HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) du nouveau service GSM.

Et enfin quatrièmement, au niveau des services offerts aux abonnés. Aujourd'hui nous avons la voix, mais demain nous aurons la télécopie, des services de données, multimédia, la vidéo et peut-être un jour des services comme la télévision.

# Glossaire

<b><u>ATM</u></b>	Asynchronous Transfer Mode Cette technologie est représentée comme la technologie du futur. Elle permet de transporter à la fois voix, vidéo et données à des hauts débits et cela sur de grandes distances. ATM subdivise les données en unités appelées cellules.
<b><u>BSC</u></b>	Contrôleur de station de base - Base Station Controller Tout "Contrôleur de station de base" (BSC) surveille et commande une ou plusieurs station de base. Un réseau GSM en comporte plusieurs.
<b><u>BTS</u></b>	Station de base - Base Transceiver Station La fonction essentielle des stations de base est d'assurer la transmission du signal radio de et vers le mobile.
<b><u>Cellule</u></b>	Zone recouverte par une BSC. Elle est représentée dans la théorie par un hexagone.
<b><u>Congestion</u></b>	Afflux trop important d'informations au niveau d'un nœud (BSC) qui ne peut les traiter. (Syn. : saturation)
<b><u>Grille</u></b>	Réseau assimilé à un quadrillage où toutes les intersections sont des émetteurs qui communiquent entre eux.
<b><u>GSM</u></b>	Global System Mobiles Réseau de téléphonie mobile actuel.
<b><u>Handover</u></b>	Changement de cellule lors d'une communication.
<b><u>HLR</u></b>	Registre de localisation nominale - Home Location Register Le HLR est la base de données qui contient et gère les abonnements. Il contient un certain nombre de données statiques ou dynamiques : les informations relatives aux abonnés, telles que leur identité, leur numéro d'appel, les services auxquels ils ont droit, la position géographique, etc.
<b><u>MSC</u></b>	Centre de commutation radio mobile - Mobile Services Switching Center Ils forment le cœur du réseau GSM en assurant les fonctions de commutation, assurée par le commutateur, reliant les mobiles entre eux ou à des réseaux fixes. Les MSC sont interconnectés et sont reliés à de nombreux BSC.
<b><u>Routing</u></b>	Construction d'un chemin de communication entre deux téléphones mobiles.
<b><u>Re-routing</u></b>	Construction d'un nouveau chemin de communication après un handover.
<b><u>UMTS</u></b>	Universal Mobile Telecommunication System. Réseau mobile de troisième génération.
<b><u>VLR</u></b>	Registre de localisation des visiteurs - Visitors Location Register Le VLR, associé à un ou plusieurs MSC, reçoit des HLR les informations concernant tous les abonnés mobiles qui pénètrent dans son secteur. Lorsque l'abonné en déplacement veut appeler ou lorsqu'un correspondant cherche à le joindre, les VLR fournissent aux MSC les données nécessaires au traitement de l'appel.

---

## Bibliographie

- [1] TABBANE SAMI. Réseaux mobiles. Edition Hermès, 1997.
- [2] France Télécom Recherche. Mémento 12 : Les Mobiles. Octobre 1998.
- [3] BARTH D., JOHNEN C., VEQUE V., Routage et reroutage dans les réseaux mobiles.
- [4] GONZALVEZ SEMPERE J., An Overview of the GSM System.