

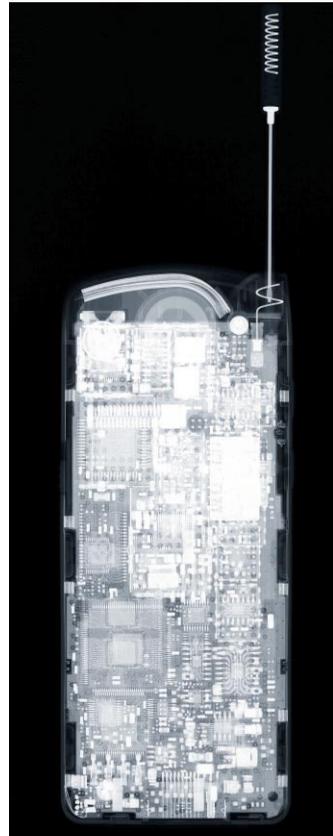
# Les dessous du téléphone portable

Daniel Krob



*Le téléphone mobile est maintenant un objet relativement banal. Qui n'a jamais vu un portable ou téléphoné avec ? Mais rares sont ceux qui ont une pensée pour la science et la technologie mises en jeu.*

Le téléphone mobile est aujourd'hui d'un usage très courant dans beaucoup de pays. Il n'y a pas si longtemps, la situation était bien différente. En 1985, existaient un grand nombre de systèmes de téléphonie sans fil, conçus, développés et commercialisés par les grands opérateurs nationaux historiques; mais ils étaient mutuellement incompatibles. Différant par leurs caractéristiques techniques, ces systèmes ne permettaient pas de communiquer d'un réseau à l'autre. Pour les rendre compatibles, il fallait donc se mettre d'accord sur tout un ensemble de spécifications techniques, c'est-à-dire sur une norme commune. Cela a débuté au cours des cinq années suivantes, quand a émergé en Europe la norme GSM (*Global System for Mobile communications*), à la suite d'une initiative de France Télécom et de Deutsche Telekom, les deux opérateurs téléphoniques français et allemand de l'époque. Les premiers systèmes commerciaux fondés sur cette norme ont alors vu le jour au début des années 1990. Mais ce n'est finalement que vers le milieu, pour ne pas dire la



*Une radiographie d'un téléphone mobile. L'électronique de cet appareil semble compliquée, mais elle ne laisse pas entrevoir les travaux de nature mathématique qui ont été nécessaires pour mettre au point la téléphonie mobile. (Cliché Stock Image)*



fin, de cette même décennie que le GSM s'est vraiment imposé comme le seul réel standard international de téléphonie mobile. Le développement actuel des réseaux mobiles de troisième génération est d'ailleurs un excellent témoin de l'importance prise par le GSM, dans la mesure où la norme sous-jacente à cette troisième génération, l'UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), constitue une extension naturelle de la norme GSM.

### *La norme GSM cache une grande complexité scientifique et technologique*

L'utilisateur a rarement conscience que, derrière les réseaux radio-mobiles, se cache une grande complexité scientifique et technologique. Par exemple, la norme GSM représente plus de 5 000 pages de spécifications techniques, difficiles à lire même pour le spé-

cialiste ! Et le GSM est loin d'être figé : d'énormes efforts de recherche et développement sont investis, tant par les grandes sociétés d'ingénierie radio-téléphonique que par les laboratoires universitaires, pour améliorer sans cesse la qualité et l'efficacité des réseaux de téléphonie mobile.

La norme GSM repose sur un ensemble de techniques élaborées provenant tant des télécommunications classiques que de l'informatique, des mathématiques et du traitement du signal. En particulier, les mathématiques et l'algorithmique jouent un rôle fondamental dans la conception et le bon fonctionnement des mécanismes internes des réseaux radio-mobiles. Les mathématiques fournissent le substrat théorique sur lequel s'appuient presque toutes les étapes fondamentales de traitement de l'information nécessaires à la gestion d'une communication téléphonique à partir d'un portable. L'algorithmique, elle, permet de transformer ces résultats fonda-



*Une antenne relais pour la téléphonie mobile GSM, en campagne, sur exploitation agricole. (Cliché REA)*



mentaux en protocoles effectifs et efficaces, pouvant être mis en œuvre concrètement au sein d'un réseau radio-mobile.

### *Des algorithmes pour numériser l'information, la découper en paquets, la crypter, etc.*

Pour illustrer l'impact de ces deux disciplines en téléphonie mobile, regardons un peu plus en détail la manière dont une communication téléphonique est gérée lorsqu'un utilisateur compose un numéro sur son appareil. Tout d'abord, toutes les données transmises au sein d'un réseau radio-mobile sont uniquement numériques: elles sont en effet constituées de « paquets », c'est-à-dire de suites de 0 et de 1 de longueur fixe, émis tous les quarts de seconde, qui contiennent l'ensemble des informations (parole, identification du portable, qualité de réception telle que la mesure le mobile, etc.) liées à une communication téléphonique donnée. Outre la gestion de la mobilité des utilisateurs, la grande différence entre la téléphonie mobile et la téléphonie fixe classique réside bien entendu dans le fait que les paquets d'information numérique sont transmis par ondes hertziennes et non par câbles; cela a nécessité la mise au point d'un ensemble de techniques algorithmiques et mathématiques très spécifiques. Celles-ci font intervenir à la fois de l'algorithmique répartie, de l'optimisation combinatoire, du traitement numérique du signal, de la géométrie algorithmique ou du codage correcteur d'erreurs, pour ne citer que quelques domaines parmi beaucoup d'autres.

Les paquets d'information ne sont en effet pas transmis de manière brute. Pour assurer la confidentialité des communications, chaque

paquet est crypté à l'aide d'un protocole cryptographique spécifié par la norme et utilisant des clefs secrètes propres à chaque opérateur (et l'on sait que les méthodes cryptographiques reposent sur des techniques et concepts algébriques ou géométriques souvent très élaborés). La gestion de la transmission hertzienne proprement dite nécessite elle-même un traitement préalable de chaque paquet d'information. Le canal hertzien est en effet soumis à plusieurs types de perturbations qui affectent les signaux émis par un portable. Par exemple, les absorptions et réflexions des ondes hertziennes par les bâtiments entraînent une atténuation et un déphasage de chaque signal émis par un portable. De même, chaque signal engendre de nombreux échos, dont il faut tenir compte. Aussi, une partie de chaque paquet d'information est spécialement dévolue à la récupération du signal d'origine au sein de la mer d'échos dans laquelle il est noyé.

Ces problèmes ont bien entendu été étudiés depuis longtemps, tant au niveau théorique que pratique. Les contraintes d'ingénierie propres aux réseaux radio-mobiles ont néanmoins nécessité de développer et d'adapter une partie importante de l'appareil mathématique classiquement utilisé dans ces contextes.

### *De la théorie des graphes pour allouer convenablement les fréquences*

L'apport de l'algorithmique et des mathématiques ne se limite pas à la chaîne de traitement de l'information numérique que nous venons (très rapidement) d'esquisser. Les techniques algorithmiques sont en particulier fon-



damentales pour gérer efficacement les fréquences radio dont dispose chaque opérateur. Les pouvoirs publics louent — relativement cher — à chaque opérateur la bande de fréquence qu'il peut utiliser ; cependant, seul un petit nombre, de l'ordre de 300, de fréquences est réellement utilisable au sein de cette bande. Deux communications réalisées en même temps par deux portables différents, mais géographiquement proches, ne peuvent être acheminées sur des fréquences voisines sous peine d'interférences affectant la qualité des transmissions. Il est donc nécessaire de savoir répartir de façon optimale les fréquences disponibles parmi tous les utilisateurs — qui sont bien plus nombreux que les fréquences. On peut démontrer qu'un être humain n'est pas capable de résoudre exactement ce type de problème en un temps raisonnable. Les méthodes algorithmiques, fondées sur des modèles mathématiques tels que la théorie des graphes, ont ici été déterminantes pour réaliser des logiciels de planification qui permettent effectivement de résoudre — de manière approchée — ces problèmes d'allocation de fréquences. Tous ces problèmes ont une grande importance du point de vue industriel, et font encore l'objet de recherches très actives.

*Daniel Krob*

*Directeur de recherches au CNRS et  
directeur du LIAFA (Laboratoire d'informatique  
algorithmique : fondements et applications),  
Université Paris 7 et CNRS*

### *Quelques références :*

- D. Krob et E.A. Vassilieva, « Performance evaluation of demodulation methods : a combinatorial approach », *Proceedings of DM-CCG, Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, pp. 203-214 (2001) (disponible en ligne : <http://dmtcs.loria.fr>).
- X. Lagrange, P. Godlewski, S. Tabbane, *Réseaux GSM-DCS* (Hermès, 1997).
- J. G. Proakis, *Digital communications* (McGraw-Hill, 3<sup>e</sup> édition, 1995).
- C. Servin, *Télécoms : de la transmission à l'architecture de réseaux* (Masson, 1998).