



# Les réseaux du futur tissent leurs

PAR OLIVIER DESSIBOURG

Le futur des télécommunications? Des réseaux de nœuds (téléphones portables, laptops, senseurs, etc.) « autogérés » qui remplaceraient les antennes fixes. Le Pôle de recherche national MICS s'y intéresse de près.

**C**onverser à distance depuis une montagne, en train ou même au milieu d'un concert de musique classique... Tels sont les privilèges qu'offrent les téléphones portables, qui fonctionnent grâce à un réseau d'antennes fixes. Mais qu'advierait-il en cas d'endommagement de celles-ci lors d'immenses tremblements de terre ou autres ouragans? Biiiiiiip... la communication serait coupée.

Pour y remédier, l'idée est simple: pourquoi ne pas se servir des portables en nombre croissant comme relais servant à transmettre des communications? Ainsi, pour permettre à Jean d'appeler sa grand-mère se trouvant à l'autre bout de la ville, son appareil se servirait des téléphones

mobiles se situant entre eux deux, comme l'on saute entre des pierres à fleur d'eau pour traverser une rivière. Dès lors, plus besoin d'antennes fixes, ce qui supprimerait d'autant le smog électromagnétique qu'elles génèrent.

Pourtant, ce concept de réseau « autogéré » et sans entité centrale, illustré par cet exemple, est aussi simple que sa réalisation est ardue, tant les problèmes à résoudre sont légion. C'est ce à quoi s'attèlent depuis 2001 plusieurs groupes du Pôle de recherche national MICS, dont la « maison-mère » est l'EPFL. Moultes contraintes dictent ces recherches: « Qualité de transmission des données suffisante, bref délai de transfert de l'information (quelques microsecondes), garantie de la confidentialité des

communications, etc... », énumère Jacques Bovay, coordinateur du pôle. Pour les satisfaire, les chercheurs se penchent donc tant sur les aspects techniques, théoriques, qu'énergétiques voire économiques.

Aujourd'hui, ces réseaux d'un genre nouveau, qui pourraient aussi inclure tout appareil capable de communiquer à distance (ordinateur portable, agenda électronique, senseurs, etc.) ne sont certes pas encore créés. Mais les bases théoriques s'établissent au fur et à mesure que tombent les résultats des recherches. Ainsi, les questions concernant entre autres la densité critique de nœuds du réseau, le routage, la consommation d'énergie des nœuds ou encore la sécurité trouvent peu à peu des réponses (lire les encadrés).



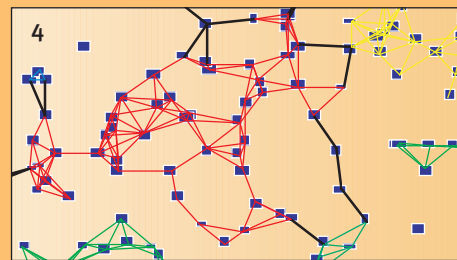
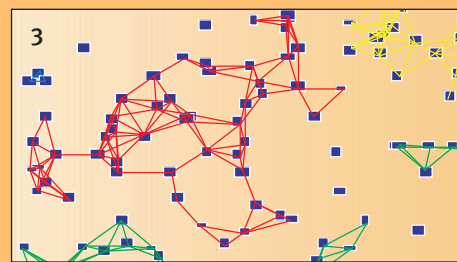
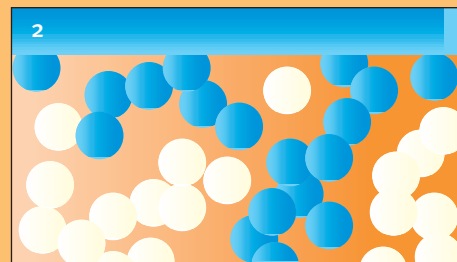
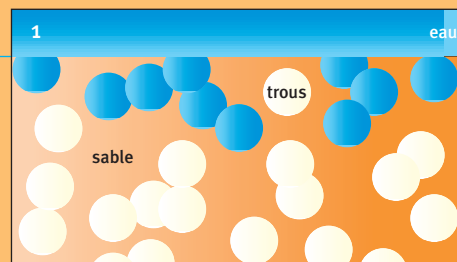
# toiles

Prisma

## Comme à travers du sable

Si les nœuds ayant une portée d'émission déterminée sont peu nombreux, le réseau n'est pas bien interconnecté. On peut alors augmenter cette portée, mais cela coûte de l'énergie dans la batterie des nœuds qui pourraient être les appareils électroniques portables. Ou alors accroître leur densité. Mais pas trop, car sinon les interférences augmentent. Et la capacité de transmission diminue au fur et à mesure que la connectivité du réseau devient (trop) bonne. Dilemme!

Pour trouver la densité idéale, le groupe du prof. Patrick Thiran à l'EPFL s'est inspiré de la percolation: « Comme l'eau à travers le sable: si la densité de trou entre les grains est assez faible, l'eau est retenue (Fig.1). Mais, un certain seuil de densité de trous passé, l'eau s'écoule (Fig.2). » De même, par des méthodes théoriques complexes, les chercheurs ont trouvé les valeurs idéales pour que la communication puisse être établie à travers presque tout un réseau entier. « C'est comme si, dès ce seuil, les connexions manquantes (Fig.4, en noir, par rapport à Fig.3) s'ajoutaient exactement là où on le voulait dès qu'on augmentait un tout petit peu leur nombre, c'est-à-dire dès qu'on augmentait la portée des nœuds », observe le professeur. Son collaborateur Olivier Dousse a poussé l'étude: « Lorsqu'il y a trop de nœuds, une solution consiste à les activer chacun à intervalles réguliers. Ou encore à leur attribuer une probabilité d'activation. Nous restait à trouver laquelle, en tentant de considérer chaque nœud localement tout en visant une organisation globale. » Ce que les chercheurs ont réussi. Des résultats qui ont été primés lors du dernier INFOCOM-IEEE, le grand raout des spécialistes des communications.



EPFL

Toutefois, concernant les téléphones mobiles, « l'idée d'un réseau entier et bon marché de nœuds mobiles est quasiment idéaliste; ils ne remplaceront pas les réseaux fixes, mais pourraient servir de compléments dans des zones où ceux-ci sont très chargés, comme les foires ou les villes », note Jacques Bovay.

D'ici cinq ans, d'autres applications verront probablement le jour, « moins gourmandes en volume de données transmises et ne nécessitant ni éléments mobiles ni immédiateté de la transmission ». ►

## Réseau mobile

Un modèle de calcul montre comment la liaison (en bleu) d'un point A à un point B peut s'établir par le biais de nœuds mobiles (en rouge) comme des téléphones portables ou des laptops.

Les senseurs pourraient être répartis sur un terrain depuis un avion et pourraient ensuite se mettre en réseau pour recueillir des données sur l'environnement.



Corbis/RDB

Ainsi, des réseaux de senseurs dispersés dans la nature et communiquant entre eux pourront surveiller l'environnement, en mesurant le taux d'ozone ou des données météo. « Et là, comme dans l'exemple des téléphones portables, la densité de nœuds représente aussi une question-clé », relève Martin Vetterli, directeur du pôle. Autre exemple: des immeubles « intelligents » truffés de senseurs interconnectés réagiront à la présence de l'homme. Enfin, une start-up commercialise déjà des systèmes

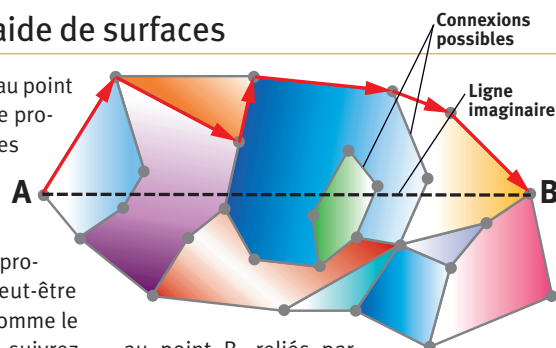
de capteurs gérant une chaîne du froid. Quant à la crainte que de tels réseaux autonomes, qui ne possèdent pas d'entité centrale, puissent souffrir de piratage ou virer à l'anarchie, elle constitue aussi la motivation des chercheurs du MICS: « C'est justement pour mieux comprendre ces risques que nous menons ces recherches », affirme Martin Vetterli, qui se réjouit que MICS réunisse autant de jeunes scientifiques connectés en réseau pour atteindre un seul objectif. ■

### Atteindre son but avec l'aide de surfaces

Comment aller au plus vite du point A au point B pour établir une communication? Le problème du routage est peut-être l'un des plus compliqués de ces réseaux de nœuds.

« Imaginez que vous vous êtes perdu à Genève, explique Roger Wattenhofer, professeur d'informatique à l'EPFZ. Peut-être apercevez-vous un point de repère, comme le jet d'eau. Pour vous y rendre, vous suivrez alors les rues qui y mènent le plus directement. » De même, si le lieu du destinataire d'un message est connu, un concept similaire peut être appliqué pour le routage dans un réseau mobile. Ceci même si chaque nœud ne connaît que son proche voisinage dans le réseau. « Et si l'on débouche dans une impasse ou devant un obstacle, on essaiera de faire un détour aussi petit que possible », poursuit le chercheur.

Concrètement, les connections possibles entre les nœuds – comme les rues sur un plan de ville – permettent de dessiner une sorte de pavage de surfaces. Pour aller du point A



au point B, reliés par une ligne imaginaire, il suffit de suivre le bord de la première surface traversée par cette ligne, jusqu'à la frontière avec la deuxième surface que coupe cette ligne. Et ainsi de suite jusqu'à destination.

Avec cette technique combinée à d'autres, R. Wattenhofer et ses collègues Fabian Kuhn et Aaron Zollinger ont développé un algorithme de routage, dont les preuves mathématiques montrent qu'il permet d'atteindre le but rapidement. Outre une meilleure compréhension du routage sur Internet, ces travaux aident aussi à la résolution du même problème, mais lorsque le destinataire n'est pas localisé.

### Préserver l'inviolabilité des communications

Les réseaux mobiles devraient garantir une communication sécurisée. Jean-Pierre Hubaux et son équipe y travaillent.

« Aucun réseau autogéré de téléphones portables n'est envisageable si la sécurité n'est pas assurée », affirme d'emblée le professeur Jean-Pierre Hubaux de l'EPFL. Actuellement, l'inviolabilité des communications est en général directement assurée par les opérateurs téléphoniques. Afin de sécuriser les réseaux mobiles, l'idée est de se passer d'une telle autorité centrale.

« Les nœuds s'échangeraient directement des clés de cryptage et leurs adresses; pour ce faire, par infrarouge, ils doivent se rencontrer physiquement au moins une fois. Cela garantit que les personnes se connaissent. Nous nommons donc « amis » ces deux nœuds », explique le chercheur. Si donc A et B sont amis et établissent un canal sécurisé entre eux, ils peuvent communiquer sans que le message ne soit intercepté. Et si B connaît la clé de cryptage et l'adresse de C, sans toutefois que l'inverse soit vrai, A peut contacter C avec l'aide de B. Mais par contre C ne peut pas créer un lien sécurisé avec A, car il ne connaît pas toutes les clés de cryptages nécessaires.

Longtemps, on a supposé que de telles contraintes de sécurité empêchaient le bon fonctionnement des réseaux autonomes. « Mais grâce à nos simulations, nous avons montré que l'établissement de la sécurité par ces relations de « pair à pair » ne constitue pas un frein à la bonne marche du réseau, mais que la mobilité peut au contraire aider à consolider cette sécurité », se réjouit le professeur.