

# Concours



## Que sais-tu de la communication mobile?

Nous apprécions tous le confort qu'offre la possibilité d'être joint partout et à tout moment. Ces 10 dernières années, les opérateurs de téléphonie mobile ont créé les conditions pour y parvenir. D'immenses efforts techniques ont été et sont toujours déployés car, pour pouvoir utiliser le réseau de téléphonie mobile, il faut bien plus qu'un simple téléphone mobile. Que sais-tu de la communication sans fil et des réseaux de téléphonie mobile? Teste tes connaissances et gagne un mobile. Le concours est ouvert jusqu'au 15 mars 2011.

### Gagne un mobile!

Si tu connais les bonnes réponses, tu peux remporter un des trois mobiles. Et pas n'importe lequel! Le nouvel Sony Ericsson Hazel est un appareil intelligent et compact à clavier coulissant et vocation écolo. Le téléphone est fabriqué en matériaux recyclés respectueux de l'environnement et possède un chargeur peu énergivore. De plus, sa production a généré peu d'émissions de CO<sub>2</sub>. Les mobiles sont offerts par Sunrise.

[www.satw.ch/concours](http://www.satw.ch/concours)

## SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften  
Académie suisse des sciences techniques  
Accademia svizzera delle scienze tecniche  
Swiss Academy of Engineering Sciences

**a<sup>+</sup>** Membre des  
Académies suisses des sciences

## Communication mobile

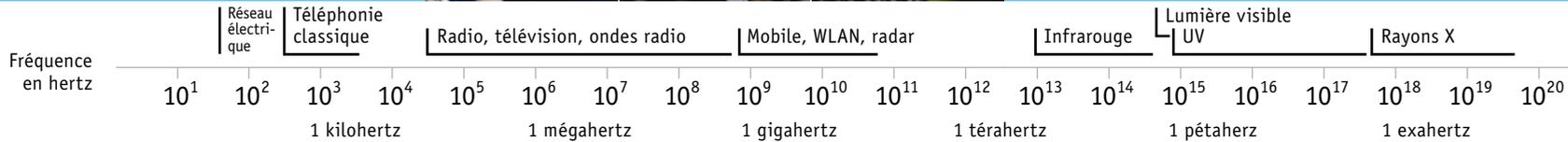


Ondes électromagnétiques

Toujours plus d'antennes

Vérifier le rayonnement

Un mobile à gagner



# La technologie décryptée

**Grâce à nos mobiles, on peut désormais nous joindre en permanence. Ce prodige est le fruit d'une technologie sophistiquée qui veille dans l'ombre à ce que les données et communications soient adressées au bon destinataire.**

Avec nos mobiles, nous échangeons quotidiennement toutes les informations possibles et imaginables avec d'autres personnes. Téléphoner, envoyer des SMS, surfer où qu'on soit et à n'importe quelle heure du jour ou de la nuit est une évidence pour nous. Et, si à un moment on n'a plus de réception, on est exaspéré. On oublie alors facilement que les ingénieurs ont dû faire preuve de génie pour qu'il soit possible de téléphoner avec un mobile.

## Où est le mobile?

Le premier défi est le suivant: en téléphonie mobile, le réseau ignore où se trouve le destinataire – une différence de taille par rapport au réseau fixe. « Lorsqu'il est allumé, chaque téléphone mobile envoie un bref signal à la station de base la plus proche », explique Pascal Leuchtmann, collaborateur scientifique à l'Institut pour la théorie des champs et la technologie des hyperfréquences de l'ETH Zurich. « Le réseau sait ainsi via quelle station de base il peut joindre le mobile – et où il se trouve approximativement. » Si le propriétaire du mobile se dé-

place, le mobile remarque à l'aide des signaux envoyés constamment par les antennes s'il entre dans le rayon d'une autre station de base. Il émet alors immédiatement un autre signal pour s'annoncer à la nouvelle station de base. En outre, la base de données où sont enregistrés tous les mobiles allumés est automatiquement mise à jour. « Ce processus transparent pour l'utilisateur garantit que nous restons joignables même en voyage », ajoute Leuchtmann.

## Le long chemin entre la parole et l'écoute

La communication proprement dite entre la station de base et le mobile commence lorsque l'utilisateur appelle un correspondant. La station de base et le récepteur émettent à présent des signaux d'une fréquence définie.

Pendant l'appel, les paroles sont d'abord transformées en signal numérique électrique par le téléphone mobile avant d'être divisées en petits paquets de données. Chaque paquet de données est crypté individuellement pour chaque téléphone mobile, est associé à une adresse et en-

voyé via l'antenne du téléphone. La station de base filtre alors parmi tous les signaux reçus les paquets ayant l'adresse adéquate pour les transmettre à un ordinateur central via un câble de réseau fixe. De là, les données sont envoyées à la station de base dont dépend l'interlocuteur à ce moment. La seconde station de base émet maintenant à son tour les paquets de données reçus sous forme d'ondes électromagnétiques. Ces ondes sont réceptionnées par le mobile du destinataire et retransformées en signaux vocaux compréhensibles.

L'échange de paquets de données entre la station de base et le téléphone mobile est différent selon le réseau. Sur l'ancien réseau GSM, les signaux des différents mobiles sont transmis avec un décalage. Par conséquent, il n'est possible de transmettre que des quantités de données relativement limitées. Sur le nouveau réseau UMTS, par contre, tous les participants actifs émettent simultanément. De cette façon, les opérateurs peuvent transmettre beaucoup plus de données sur les fréquences dont ils disposent.

## Ondes électromagnétiques

Les ondes électromagnétiques sont présentes sous différentes formes dans la nature. Elles se distinguent uniquement par leur longueur d'onde ou leur fréquence et sont donc réparties en plusieurs catégories. La forme la plus connue et la plus importante pour nous est la lumière visible, la seule forme d'ondes électromagnétiques que nos organes sensoriels peuvent percevoir directement. La lumière UV dont nous devons nous protéger lors des bains de soleil, les rayons X et les infrarouges sont aussi des ondes électromagnétiques. Les ondes électromagnétiques de longueurs d'ondes plus longues sont utilisées pour les applications techniques les plus variées, par exemple pour les radars qui surveillent le trafic aérien ou dans les fours micro-ondes pour réchauffer les aliments. En radio et en téléphonie mobile, les ondes électromagnétiques jouent un rôle central parce qu'elles conviennent particulièrement bien pour transmettre des informations très rapidement - à la vitesse de la lumière - sur de longues distances. Comme quand on veut transmettre des signaux en morse en allumant et éteignant une lampe de poche, les téléphones mobiles et les stations de base échangent aussi des informations à l'aide des ondes électromagnétiques. Pour cela, ils jouent sur la puissance et la fréquence des ondes émises.



### Stations de base

Les antennes installées à découvert sur des lignes à haute tension, des toits ou des pylônes émetteurs spéciaux rendent la communication sans fil par mobile possible. La station de base a besoin d'électricité, d'un amplificateur et d'un convertisseur de données pour une liaison avec l'ensemble du réseau téléphonique.

# Une progression fulgurante

**Le trafic de données sur le réseau mobile a fortement augmenté ces dernières années. Les opérateurs sont donc contraints de multiplier le nombre d'antennes – et de tenir compte des préoccupations à ce sujet.**

Les quatre opérateurs de téléphonie mobile suisses, Swisscom, Sunrise, Orange et In&Phone, ont installé des antennes sur plus de 15 000 sites dans le pays et prévoient d'en rajouter encore quelques milliers ces prochaines années. La raison est simple: les quantités de données transitant par le réseau de téléphonie mobile augmentent actuellement de façon fulgurante. Nous ne nous contentons pas de téléphoner et d'envoyer des SMS plus souvent et plus longtemps, nous téléchargeons aussi plus de données d'Internet vers nos mobiles. L'explosion du trafic de données sur les réseaux mobiles s'explique essentiellement par le succès des smartphones.

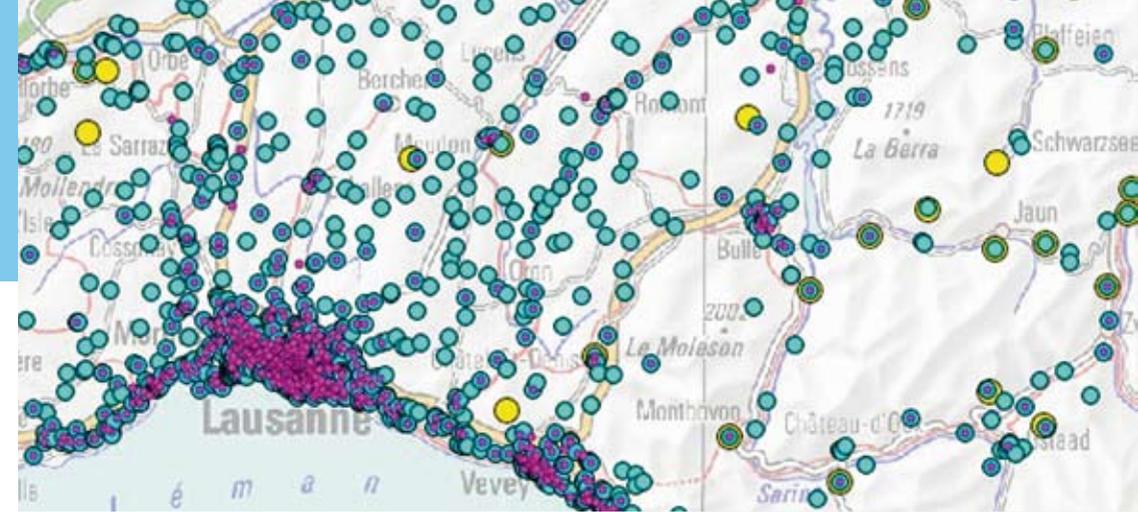
### Identifier à temps les goulots d'étranglement

Mais toute médaille a son revers: les limites des réseaux de téléphonie mobile sont régulièrement atteintes et les opérateurs sont alors contraints d'installer de nouvelles antennes pour faire face à la demande.

«Contrairement à une antenne radio qui permet de couvrir une infinité de récepteurs radio dans une région donnée, une antenne de téléphonie mobile ne peut desservir qu'un nombre limité de clients simultanément», explique Michael Burkhardt, Director External Affairs chez Sunrise. «Cette limitation est surtout due au fait que chaque téléphone mobile doit communiquer séparément avec l'antenne et que des données sont échangées dans les deux sens.»

Les quatre opérateurs observent attentivement le degré de sollicitation de leurs réseaux dans les différentes régions. «Chaque semaine, nous analysons le trafic et les quantités de données échangées pour pouvoir détecter les saturations le plus rapidement possible», déclare Burkhardt. «Lorsque nous décrochons une nouvelle grosse entreprise comme client, la demande peut considérablement changer dans une région déterminée.»

**«Les trois opérateurs observent attentivement le degré de sollicitation de leurs réseaux dans les différentes régions.»**



### Photos de stations de base

Tous les sites d'installations suisses sont répertoriés par l'Office fédéral de la communication et sont repris sur une carte. Jaune = radio, bleu = téléphonie mobile GSM, rose = téléphonie mobile UMTS. La carte est disponible pour le grand public: [www.funksender.ch](http://www.funksender.ch).

### Un exercice périlleux

Le lieu d'implantation idéal d'une nouvelle station de base se calcule avec précision à l'aide de modèles informatiques. Mais, dans la réalité, les choses sont un peu plus compliquées: il arrive souvent que les nouvelles antennes ne puissent pas être implantées à l'endroit optimal d'un point de vue technique, le propriétaire de la maison refusant d'avoir une antenne sur son toit, le bâtiment n'étant pas assez solide pour supporter le poids de cette installation ou la protection du patrimoine culturel émettant des réserves. En principe, un équilibre doit être trouvé pour l'exploitation du réseau: la puissance des émissions de la station de base doit garantir la réception uniforme dans toute la cellule correspondante, c'est-à-dire la zone alimentée par cette antenne; en même temps, les valeurs-limites doivent être respectées partout. «Beaucoup de personnes pensent que l'exposition aux rayonnements serait moins forte s'il y avait moins d'antennes de téléphonie mobile», souligne Burkhardt. «Mais cette conclusion est fautive: plus la zone alimentée par l'antenne est grande, plus le signal émis doit être puissant.»

## Un tapis composé d'innombrables cellules

Un réseau de téléphonie mobile est divisé en nombreuses cellules alimentées par une station de base. La taille de ces cellules dépend non seulement de la topographie, des constructions et des valeurs-limites légales mais aussi de la demande dans la région en question. Les stations de base voisines émettent avec des fréquences propres - (GSM) ou autres codes (UMTS) - afin d'éviter toute perturbation entre les signaux de chaque cellules.

En Suisse, il existe deux types de réseaux de téléphonie mobile: les anciens réseaux GSM et les nouveaux réseaux UMTS appartenant à la troisième génération de réseaux mobiles (3G). La norme GSM a été mise au point en 1993 et a permis une rapide diffusion de la téléphonie mobile dans les années 1990. Depuis lors, elle a été sans cesse étendue pour améliorer le trafic de données. Les réseaux UMTS sont utilisés en Suisse depuis environ 2003 et permettent de véhiculer nettement plus de données. Ici aussi, des innovations techniques sont sans cesse apportées pour augmenter encore les capacités.



Andreas, Franziska, Alexandra, Andris, Lisa et Ken visitent la chambre de mesure et de test. Les pyramides de mousse bleue placées sur les murs empêchent la réflexion des ondes émises par les mobiles et augmentent nettement la précision des mesures.

La tête jaune est une tête normalisée standardisée. Ses dimensions couvrent 90 % de la taille de la tête de soldats américains – en d'autres termes, seuls 10 % des hommes américains ont une tête plus grosse.

▲ Alexandra règle l'appareil de test des mobiles pour que le rayonnement de tous les modes de fonctionnement des téléphones puisse être mesuré séparément.

Le Professeur Niels Kuster explique comment le rayonnement de téléphones mobiles est mesuré selon une méthode standardisée internationale: le bras du robot jaune plonge le capteur très précisément dans le liquide contenu dans la cuve en forme de tête. Le téléphone émettant des ondes est placé sous la cuve. ▶

## Pour limiter les émissions des mobiles

**Le rayonnement électromagnétique d'un téléphone mobile ne doit pas dépasser une valeur-limite déterminée. Des autorités du monde entier vérifient le respect de cette disposition à l'aide d'appareils de mesure de TAS de la société zurichoise Speag.**

On ne s'attendrait pas à trouver ici un leader du marché des technologies: c'est dans une arrière-cour au cœur du Zürcher Kreis 4 que sont développés les appareils de détermination du TAS (voir encadré) de téléphones mobiles du monde entier. Plus de 50 ingénieurs électriciens, spécialistes en logiciels et techniciens s'attellent à l'amélioration constante de tels instruments de mesure dans les laboratoires et bureaux de la société Speag. Niels Kuster, à la fois président de Speag et professeur au Département Technologie de l'information et Electrotechnique à l'ETH Zurich, s'occupe depuis 1987 de la mesure de rayons électromagnétiques. En 1992, le gouvernement allemand l'a chargé de mettre au point un procédé de mesure de TAS précis. La technologie développée à cette occasion était à la base de la fondation de la société Speag il y a 16 ans.

### Un bras de robot dans la tête

Lorsqu'on visite les laboratoires de recherche et développement de l'entreprise, les appareils de mesure du TAS sont partout. Il s'agit de bras de robot jaunes terminés par une sonde de mesure et situés au-dessus d'un genre de baignoire dont le renfon-

cement représente une demi-tête. Cette cuve d'un genre spécial est remplie de liquide ayant des propriétés électromagnétiques très semblables à celles du tissu de notre tête. Le téléphone mobile dont il faut mesurer les émissions est installé sous cette forme de tête, à hauteur de l'oreille. Le bras du robot plonge le capteur dans le liquide et cherche l'endroit dans la tête le plus exposé aux rayons électromagnétiques. A partir de là, il mesure le rayonnement dans un bloc défini par les autorités de contrôle internationales. L'ordinateur déduit de cette mesure la valeur TAS définitive du téléphone mobile. Le cœur de l'appareil est composé d'une sonde munie de trois capteurs intégrés, de la taille d'une tête d'allumette. C'est ici que réside tout le secret de la firme. Tandis que les premières sondes TAS du marché présentaient encore des écarts de plus de 60 %, les derniers modèles Speag en sont à moins de 7 %. Chaque jour, des ingénieurs de l'équipe de Kuster s'attellent à optimiser ces sondes.

### Outil pour les fabricants de téléphones mobiles

Mais l'activité de Speag ne se résume pas à la production d'appareils de mesure pour les autorités de

contrôle. Kuster montre aussi un bloc rectangulaire noir de la taille d'une batterie de voiture. Les 256 micro-capteurs qui s'y trouvent peuvent mesurer en moins de trois secondes l'intensité du rayonnement d'un téléphone mobile sur le corps ou – avec un appareil légèrement modifié – sur la tête. Les fabricants de téléphones mobiles peuvent ainsi procéder aux premières mesures en cours de production et tester, pour les prototypes, les répercussions de petites modifications du design du téléphone sur la valeur TAS. En effet, plus les téléphones mobiles sont petits et plats, plus l'antenne est proche de la tête de l'utilisateur et plus il est difficile pour les développeurs de respecter les valeurs-limites de TAS. C'est pourquoi des équipes entières sont aujourd'hui chargées de la conception des antennes et de la réduction des rayonnements chez les fabricants de téléphones mobiles. Pour y parvenir, ils utilisent aussi des programmes de simulation mis au point par l'entreprise zurichoise. Ces logiciels permettent de calculer sur ordinateur le rayonnement futur du mobile à partir de sa construction et de son design. Kuster présente deux images: un diagramme de mesure de TAS sur le modèle de tête et une simulation informatique pour le même téléphone mobile. Les images sont pratiquement identiques, ce qui prouve la précision des modèles informatiques. Toutefois, chaque mobile doit toujours être testé sur le

modèle de tête avant d'être commercialisé. Les experts ignorent à ce jour si un contact fréquent avec des ondes électromagnétiques plus faibles que la valeur-limite, résultant par exemple par de longues communications régulières avec le mobile, est nocif pour la santé. «Les téléphones mobiles ne sont utilisés par de larges couches de la population que depuis une quinzaine d'années et par les enfants depuis moins de 10 ans; nous n'avons donc pas d'études fiables à long terme», explique Kuster. C'est pourquoi une mesure précise du rayonnement et le respect des valeurs-limites sont importants. «Et nous voulons continuer à développer la meilleure technologie au monde», conclut Kuster.



### Valeur TAS

Le TAS est l'abréviation de «Taux d'Absorption Spécifique». Il mesure l'absorption de l'énergie électromagnétique transformée en chaleur

corporelle. La valeur TAS est exprimée en watts par kilogramme de masse corporelle (watt/kg). Pour les téléphones, la valeur-limite de champs électromagnétiques reconnue par la plupart des pays est de 2 watts/kg. Avec cette valeur, l'augmentation locale maximale de la température du corps est limitée à moins de 0,2°C.



▲ Dimitra commence par examiner les minuscules MEMS au laboratoire avec l'analyseur de réseau avant qu'elles ne soient intégrées dans des antennes.



▲ L'antenne de test commerciale n'est utilisée que dans la chambre de mesure et doit être orientée avec précision.

◀ Dans la chambre de mesure aux murs recouverts de pyramides en mousse absorbant les rayonnements, Dimitra peut étudier les émissions des systèmes d'antennes qu'elle fabrique.

## Des perspectives de recherche rayonnantes

**Dimitra Psychogiou, doctorante à l'ETH Zurich, rédige une thèse sur les systèmes d'antennes intelligentes. Pour cela, elle fabrique de nouveaux récepteurs et étudie le rayonnement électromagnétique. La mise au point de nouvelles technologies est en marche.**

J'ai 24 ans et je viens de Grèce. Il y a deux ans, j'ai été diplômée ingénieure-électricienne à l'Université de Patras. J'ai commencé par travailler six mois dans une haute école anglaise avant de devenir doctorante à l'ETH Zurich. Depuis un an, je travaille sur les antennes et champs électromagnétiques à l'Institut pour la théorie des champs et la technique des hyperfréquences.

### Des capteurs contre les feux de forêt

Lors de ma première année à l'ETH, je me suis consacrée aux antennes spéciales pouvant être utilisées, par exemple, pour les réseaux de capteurs. Ce genre de réseau peut se représenter comme suit: des capteurs sont répartis dans une immense forêt. Dès qu'un incendie se déclare quelque part, le capteur le plus proche l'enregistre et envoie des signaux à un ordinateur central via des ondes électromagnétiques. Les pompiers savent alors précisément où l'incendie s'est déclaré. Une autre application de tels réseaux est la

surveillance en temps réel de l'état de santé de patients à l'aide de capteurs sans fil.

Dans la recherche sur les antennes, nous nous concentrons sur les capteurs qui doivent émettre non seulement dans une direction déterminée mais dans plusieurs directions de façon ciblée, automatique et simultanée pour établir en permanence une connexion avec la centrale. Pour examiner de tels systèmes, nous avons au laboratoire une chambre anéchoïde revêtue de mousse absorbant les rayonnements – comme un studio d'enregistrement de musique. Là, nous pouvons tester des appareils sans influences de rayonnement externes, comme les émissions de mobiles, et vérifier dans quelles positions un récepteur continue à recevoir des signaux d'une station d'émission. Nous avons découvert à cette occasion qu'un récepteur – il pourrait aussi s'agir d'un téléphone mobile – a besoin de plus

qu'une antenne pour pouvoir recevoir des signaux de différentes directions dans toutes les situations et positions souhaitées.

### Recherche fondamentale fascinante

Mon doctorat est aussi axé sur les MEMS. Il s'agit de microsystèmes électromécaniques de la taille de quelques micromètres. Du fait de leur taille, les MEMS ont des propriétés très spécifiques. Nous pouvons les intégrer, par exemple, dans des antennes-capteurs pour y changer de façon ciblée les propriétés de l'antenne de sorte à filtrer le rayonnement électromagnétique en fonction de sa fréquence. On peut alors commander au récepteur très précisément quel type de rayonnement il doit recevoir. Ces systèmes sont déjà utilisés

de nos jours dans les satellites notamment. A l'avenir, on les retrouvera peut-être aussi dans chaque mobile. Ce domaine de recherche est encore très récent; ça me fascine! Pendant mon

doctorat, j'aimerais vraiment découvrir le potentiel de cette technologie.

L'ETH Zurich est le lieu idéal pour ce genre de recherches. Les laboratoires sont très bien équipés et je peux y mener des expériences avec des appareils très complexes et très chers. C'est capital dans mon domaine de recherche. En Grèce, d'où je viens, ce n'est pas évident. Il y a certes beaucoup de bons

étudiants mais il leur manque souvent une bonne infrastructure pour faire des expériences et apprendre. Jusqu'ici, je n'ai pas encore le mal du pays et je me sens très bien à Zurich. Je suis aussi persuadée que les trois ans de doctorat ici sont une excellente base pour trouver un job passionnant ensuite. Je ne sais pas encore si je vais m'orienter vers une

carrière académique dans une haute école ou préférer engranger de l'expérience dans l'industrie – par exemple chez un fabricant de téléphones mobiles. Pour l'instant, je me consacre exclusivement à ma thèse.

«Les laboratoires sont très bien équipés et je peux y mener des expériences avec des appareils très complexes et très chers.»

# AHA!



Le Musée de la communication avec l'exposition permanente «Téléphone – tout ouïe» et la nouvelle exposition temporaire «T'es où?»

## Pourquoi les personnes qui téléphonent beaucoup s'installent-elle devant dans le train?

Lorsque nous téléphonons avec notre téléphone mobile dans le train, nous quittons sans cesse la zone couverte par la station de base à laquelle nous sommes connectés. Le réseau de téléphonie mobile connecte alors le téléphone à la prochaine station de base pour que nous puissions poursuivre notre conversation sans interruption. Si un grand nombre d'utilisateurs doivent changer plus

ou moins simultanément de station sur une ligne ferroviaire très fréquentée, les premiers pris en compte sont ceux qui arrivent en premier dans la zone desservie par la nouvelle station de base – c'est-à-dire les personnes assises devant dans le train. S'asseoir au bon endroit est donc un petit avantage quand les capacités du réseau sont déjà très sollicitées.

## L'exposition aux rayonnements est-elle plus grande pour l'UMTS que pour le GSM?



Avec un téléphone mobile, l'exposition aux rayonnements est toujours importante quand l'appareil émet et que les signaux de la station de base sont faibles. Lorsque le téléphone entre en contact avec celle-ci, il commence toujours par émettre un signal maximal sur le réseau GSM par sécurité. La station de base dit ensuite au téléphone jusqu'à quel point il peut réduire sa puissance d'émission. Sur le réseau UMTS, c'est précisément l'inverse: le téléphone mobile commence par envoyer un signal de faible puissance et l'augmente s'il ne reçoit pas de réponse de la station de base. Cette différence est surtout importante quand on se déplace, car le téléphone mobile doit sans cesse entrer en contact avec de nouvelles stations de base. Dans ce cas, l'exposition aux rayonnements peut être jusqu'à 10 fois plus faible sur le réseau UMTS que sur le réseau GSM pour la même quantité de données.

## A lire

### Emplacement des émetteurs

[www.funksender.ch](http://www.funksender.ch)

### Effet biologique

des champs électromagnétiques

[www.mobile-research.ethz.ch/var/emf-info\\_broschuere.pdf](http://www.mobile-research.ethz.ch/var/emf-info_broschuere.pdf)

### Systèmes radio

[www.simplyscience.ch](http://www.simplyscience.ch) > Aha! > Dossiers

## Formation

### Electronicien/ne

<http://www.orientation.ch/dyn/1109.aspx?id=94&searchsubmit=true&search=Electronicien>

### Ingénieur/e-électricien/ne HES

[www.berufsberatung.ch/dyn/6036.aspx?id=3806&searchabc=E](http://www.berufsberatung.ch/dyn/6036.aspx?id=3806&searchabc=E)

### Ingénieur/e en télécommunications HES

[www.berufsberatung.ch/dyn/6036.aspx?id=3811](http://www.berufsberatung.ch/dyn/6036.aspx?id=3811)

### Electrotechnique et technologie de l'information

<http://www.orientation.ch/dyn/1109.aspx?id=714&searchsubmit=true&search=Ing%c3%a9nieur+%c3%a9lectricien>

ETH Zürich [www.ethz.ch/prospectives/programmes](http://www.ethz.ch/prospectives/programmes)

EPFL [bachelor.epfl.ch/genie-electrique](http://bachelor.epfl.ch/genie-electrique)

### Systèmes de communication

[bachelor.epfl.ch/syscom](http://bachelor.epfl.ch/syscom)

## A voir

### Musée de la communication

Bricoler, s'étonner, expérimenter, apprendre et jouer – le Musée de la communication à Berne permet tout cela. Trois expositions permanentes sont consacrées à l'histoire et au développement de la poste, de la télégraphie, de la téléphonie, de la radio et télévision et de l'ordinateur. La nouvelle exposition «T'es où?» (jusqu'au 3.7.2011) montre de façon ludique et interactive l'évolution et le succès du téléphone mobile.

[www.mfk.ch](http://www.mfk.ch)

### Impressum

SATW Technoscope 3/10, décembre 2010  
[www.satw.ch/technoscope](http://www.satw.ch/technoscope)

Concept et rédaction: Dr Béatrice Miller  
Collaborateurs rédactionnels: Dr Felix Würsten, Samuel Schläfli  
Photos: Franz Meier, Fotolia, Sunrise, OFCOM, Itis Foundation, Musée de la communication  
Photo de couverture: Andrea, Franziska et Andris dans la salle de test de SPEAG

### Abonnement gratuit et commandes

SATW, Seidengasse 16, CH-8001 Zürich  
E-Mail [redaktion.technoscope@satw.ch](mailto:redaktion.technoscope@satw.ch)  
Tel +41 (0)44 226 50 11

Le Technoscope 1/11 à paraître en avril 2011.