

# Le portable *en action*

Les dessous de la communication mobile



Tu trouveras des éléments multimédias et de plus amples informations dans l'édition interactive à l'adresse:  
[www.swisscom.com/portable-en-action](http://www.swisscom.com/portable-en-action)



Vidéos / animations



Galeries photos



Documents complémentaires



Liens

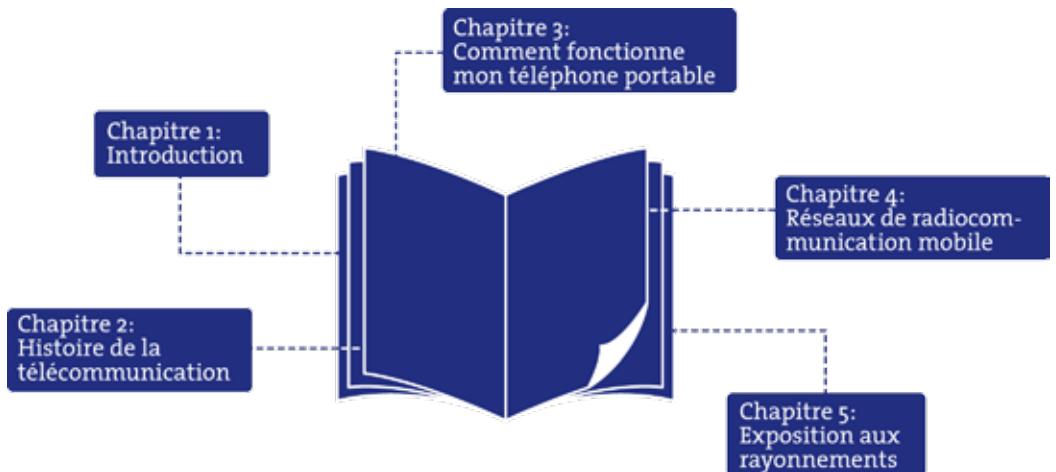


# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	3
L'invention du portable (téléphone mobile)	4
La téléphonie mobile en Suisse	4
Que vas-tu apprendre dans ce cahier de travail?	4
Questionnaire	5
<b>2 Télécommunication: téléphone et télégraphe .....</b>	6
La télécommunication	6
Télécommunication avec un téléphone à ficelle	6
Télécommunication avec le téléphone	7
Transmission d'informations avec le télégraphe morse	7
Approfondissement 1: Représentation de chiffres dans un circuit électrique	9
Questionnaire	9
Suggestions et expériences	9
<b>3 Téléphone mobile et électronique numérique .....</b>	10
Comment fonctionne mon portable?	10
Haut-parleur et microphone	10
Approfondissement 2: Courant électrique, circuit électrique et tension électrique	12
Approfondissement 3: Les composants électroniques	12
Approfondissement 4: Amplification de signaux électriques	13
Numérisation: convertisseur analogique-numérique et numérique-analogique	13
Approfondissement 5: Circuits intégrés analogiques et numériques, microprocesseurs	14
Le processeur de signal numérique	15
Approfondissement 6: Oscillations électromagnétiques et ondes	15
Transceiver: transmission sans fil des informations	16
Identification d'un portable (carte SIM)	16
Questionnaire	17
Suggestions et expériences	17
<b>4 Réseaux de téléphonie mobile .....</b>	18
Le portable, un téléphone cellulaire	18
Bande de fréquence et multiplex	20
Les bandes de fréquence de la téléphonie mobile (GSM)	20
Compression des données	20
Approfondissement 7: Les protocoles de transfert (GSM, HSCSD, GPRS, EDGE, UMTS)	21
Le réseau de radiocommunication mobile GSM	22
Etablissement d'une conversation sur réseau de radiocommunication mobile GSM	23
Questionnaire	25
Suggestions et expériences	25
<b>5 Exposition aux rayonnements: le portable rend-il malade? .....</b>	26
L'effet du rayonnement électromagnétique sur l'être humain	26
Approfondissement 8: Spectre électromagnétique: rayonnement ionisant et non ionisant	27
Un portable qui rayonne	28
Le taux d'absorption spécifique (valeur TAS)	28
Approfondissement 9: Les règles de l'OFSP pour une utilisation raisonnable du portable	29
Questionnaire	30
Suggestions et expériences	30
<b>Crédits photographiques .....</b>	31
<b>Impressum .....</b>	31

# 1 Introduction

Dans ce cahier, tu en apprendras davantage sur les thèmes suivants:



## L'invention du portable (téléphone mobile)

C'est en 1973 qu'un ingénieur américain, le Dr Martin Cooper, a développé le premier téléphone mobile au monde: le «Dyna-Tac 8000X». D'un poids de 1,2 kg, cet appareil mesurait près de 23 cm de long et 13 cm de large (illustration 1). L'autonomie atteignait 35 minutes pour une durée de charge des accus de 10 heures. L'appareil disposait juste de trois fonctions: composer un numéro, parler et entendre. Mais le Dyna-Tac était le premier radiotéléphone full-duplex portable. «Full-duplex» signifie qu'il est possible de parler et d'entendre en même temps. A titre de comparaison, l'iPhone 4 – un «smartphone» lancé en 2010 – ne pèse plus que 141 grammes, a une autonomie de plus de 6 heures et dispose de nombreuses fonctions supplémentaires auxquelles personne n'aurait songé en 1973: appareil photo numérique, accès Internet GPS, caméra vidéo, lecteur MP3, etc.

Après le développement du Dyna-Tac, il a cependant fallu encore dix ans avant d'assister à l'exploitation commerciale d'un réseau (analogique) de téléphonie mobile aux Etats-Unis (1983).

## La téléphonie mobile en Suisse

En Suisse, c'est en 1958 que les PTT de l'époque (PTT: poste, téléphone, télégraphe, précurseurs de l'actuel Swisscom) ont mis en place un réseau de télé-

phonie sans fil pour les véhicules. Bien que ce réseau ne permettait qu'une liaison unidirectionnelle, il était déjà utilisé par un millier de clients en 1960.

La téléphonie mobile à proprement parler commence en Suisse en 1978 avec la mise en place et l'exploitation par les PTT du réseau analogique partiel Natel A. Suivent plus tard des versions améliorées avec les réseaux analogiques Natel B et le Natel C. Ils représentaient les réseaux mobiles de 1<sup>ère</sup> génération. L'avancée la plus importante à laquelle nous avons assisté jusqu'à aujourd'hui a suivi en 1993 avec l'introduction du premier réseau numérique, basé sur une norme utilisée dans le monde entier, la norme GSM (Global System for Mobile Communications). C'était la 2<sup>e</sup> génération (Natel D).

Cette technologie a depuis été constamment développée, de sorte qu'elle rend désormais aussi possibles, grâce aux actuels téléphones portables de 3<sup>e</sup> génération – les «Smartphones» – et à l'introduction en 2004 du standard UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), des formes de communication basées sur des transmissions de données à haut débit telles que la vidéo-conférence ou l'accès à Internet.

## Que vas-tu apprendre dans ce cahier de travail?

Malgré sa taille réduite, le téléphone mobile (portable) actuel est l'un des appareils techniques les plus complexes jamais créés par la main de l'homme.



1 Martin Cooper avec le Dyna-Tac 8000X



2 Steve Jobs (Apple) avec l'iPhone 4 (2010)



3 Le Mobira Senator de l'entreprise Nokia

Pour comprendre le fonctionnement d'un téléphone mobile (portable) et du réseau de milliers d'antennes (stations de base) indispensable à son exploitation, tu dois avoir quelques notions de physique et, surtout, d'ingénierie:

- Comment des messages (voix et musique, mais aussi images animées) peuvent-ils être transmis sans fil sous forme de signaux électriques?
- Comment fonctionne un téléphone fixe (pas un portable) avec ses deux parties principales, le microphone et l'écouteur?
- Pourquoi, dans un téléphone portable numérique, les signaux de la voix sont-ils d'abord transformés en un «flot de chiffres» avant d'être transmis?
- Pourquoi des mini-ordinateurs très performants, que l'on appelle les processeurs de signal, sont-ils indispensables à l'exploitation d'un portable?

La technologie de radiocommunication mobile d'aujourd'hui repose sur la physique des ondes électromagnétiques. Avec des ondes électromagnétiques, il est possible de transmettre sans fil de la voix et de la musique (radio), mais aussi des images animées (télévision). Cette technique n'a rien de nouveau. Elle a été découverte en 1880 et est utilisée depuis presque 100 ans pour la radio et depuis environ 80 ans pour les retransmissions télévisées. Voir les points a) et b).

Ce qui est nouveau, c'est que, dans le cas de la radiocommunication mobile, la voix, la musique et les images animées ne sont plus transmises analogiquement, comme c'est le cas pour la radio, mais numériquement, à l'aide d'ordinateurs miniatures. Voir points c) et d).

Une transmission analogique signifie que le signal sonore produit dans l'air lorsque l'on parle est transformé dans le micro en une «image» électrique, puis directement transmise.

Une transmission numérique signifie que le signal sonore produit dans l'air lorsque l'on parle est capté par le micro d'un portable, puis converti en chiffres (environ 10'000 chiffres par seconde). Lors d'une conversation téléphonique, ce sont ces chiffres (et non pas le signal sonore) qui sont transmis sans fil au moyen d'ondes électromagnétiques. Lorsqu'il parvient au portable de destination, ce flot de chiffres est d'abord reconvertis par le haut-parleur en un signal électrique analogique, puis en un signal sonore acoustique compréhensible pour les

l'être humain.

A l'aide d'ordinateurs miniatures de la grosseur d'un ongle (processeurs de signal), l'énorme flux de données généré lors d'une conversation téléphonique est «géré», traité et acheminé pratiquement sans délai sur le réseau mobile du portable partenaire.

La technologie numérique qui a rendu cette évolution possible a débuté en 1947 avec l'invention du transistor, le composant le plus important de l'électronique d'aujourd'hui. A suivi, en 1958, le premier circuit dit intégré, qui combine plusieurs composants sur une plaquette. En 1970, a été développé le premier circuit intégré dirigé par un programme, le microprocesseur, puis, un peu plus tard, le processeur de signal. Dans le trafic de la téléphonie mobile, la technologie numérique améliore la qualité de la transmission des conversations et augmente considérablement le nombre de conversations téléphoniques ayant lieu simultanément.

Lorsque tu traites de la technologie de la radiocommunication numérique, tu en apprends par ailleurs davantage sur le métier des ingénieurs électriciens et électroniciens. Avec leur esprit créatif, des milliers d'ingénieurs ont créé la technologie de la radiocommunication mobile numérique et ouvert la voie à une branche majeure de l'économie mondiale qui génère des chiffres d'affaires annuels pesant plusieurs milliards de dollars.

Nous pouvons aujourd'hui encore moins nous imaginer une vie sans téléphone mobile qu'une vie sans Internet ou sans ordinateurs, les technologies clefs de notre époque.

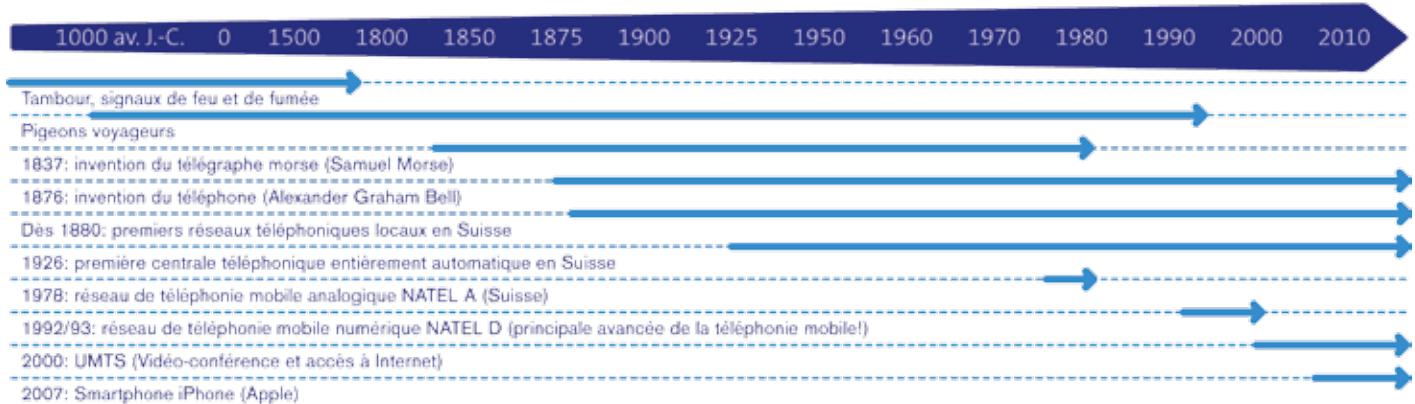
## Questionnaire



- Que signifie le terme «full-duplex»?
- Qu'est-ce qui différencie un Smartphone d'un téléphone portable «normal»?
- A quelles quatre questions de base doit-on pouvoir répondre pour comprendre le fonctionnement d'un téléphone portable?
- Que signifient les termes «analogique» et «numérique» par rapport à un portable?
- Pourquoi les ordinateurs jouent-ils un rôle déterminant dans le fonctionnement d'un portable?

# 2 Télécommunication: téléphone et télégraphe

Dans ce chapitre, tu en apprendras davantage sur l'histoire de la téléphonie mobile:



## La télécommunication

Le mot télécommunication est composé du préfixe grec «télé» qui signifie éloigné, lointain, et du verbe latin «communicare» qui signifie communiquer. De nos jours, nous comprenons sous ce terme un processus technique consistant à émettre, à transmettre et à recevoir des messages sous la forme de signes, de voix, d'images ou de sons. Autrefois, pour transmettre des messages, on utilisait des tambours, des signaux de fumée et, jusqu'au 20<sup>e</sup> siècle, des pigeons voyageurs. Dans l'ancienne Confédération, on se servait de feux placés sur des sommets pour donner l'alerte en période de conflit. On connaît 159 de ces lieux entre Genève et Schaffhouse. Les feux du 1<sup>er</sup> Août que l'on allume le jour de la fête nationale rappellent cette ancienne forme de télécommunication (illustration 5). Le message à transmettre est «porté» par une lumière (visible) qui émane du feu, qui se propage à la vitesse de la lumière (300'000 kilomètres par seconde) et qui peut être ob-

servée par l'œil d'un observateur placé à grande distance. Tout comme les ondes radio et les micro-ondes, qui se révèle d'une importance capitale pour les technologies de télécommunication des 20<sup>e</sup> et 21<sup>e</sup> siècles, la lumière visible fait également partie de la famille des ondes électromagnétiques.

Les gens communiquent entre eux avant tout avec leurs organes de la parole et l'ouïe. Lorsque je parle, mon larynx produit de petites oscillations de la pression de l'air en rythme avec la parole, ce que l'on appelle des ondes sonores. Le mot prononcé par l'enseignante représentée sur l'illustration 4 se déplace dans l'air sous forme d'onde sonore à une vitesse d'environ 340 mètres par seconde, puis parvient aux oreilles des élèves, où il est entendu. Dans le fond, la communication acoustique représente déjà une forme de télécommunication, puisque, grâce aux ondes sonores, elle est possible à une assez grande distance.

## Télécommunication avec un téléphone à ficelle

Les deux enfants (illustration 6) se parlent par le biais d'un téléphone à ficelle. Le mot téléphone est composé des mots grecs «télé» qui signifie éloigné, lointain, et «phonê» qui signifie voix ou son.

La télécommunication avec un téléphone à ficelle s'effectue au moyen de deux boîtes de conserve reliées entre elles avec une ficelle tendue.

Avec un tel téléphone, les deux enfants peuvent beaucoup mieux s'entendre que s'ils parlaient directe-

- 4 Communication acoustique: cours en classe (onde sonore)
- 5 Communication optique: feux du 1<sup>er</sup> Août (lumière)





6



7



8

ment l'un avec l'autre. Pourquoi?

Si le garçon parle dans la boîte, l'air contenu dans cette boîte, la boîte elle-même et la ficelle tendue qui y est reliée commencent alors à vibrer au rythme du son.

Ce signal est diffusé dans la ficelle vers l'autre boîte sous forme d'onde mécanique. Cette boîte de destination ainsi que l'air qu'elle contient commencent également à vibrer. Ces vibrations peuvent finalement être entendues par la jeune fille.

Comparativement à une transmission directe de ces ondes sonores dans l'air, l'énergie acoustique produite par le garçon qui parle est mieux concentrée dans la ficelle du téléphone et est en grande partie transmise par la ficelle elle-même, de sorte que l'auditrice peut entendre l'émetteur beaucoup plus distinctement.

Avec ce téléphone à ficelle, le signal acoustique que le garçon produit en parlant est transmis à la jeune fille par le biais des ondes mécaniques qui passent dans la ficelle. La boîte de gauche est le microphone, la boîte de droite est le haut-parleur et la ficelle est la ligne de cette installation très simple de transmission de la voix.

6 Téléphone à ficelle  
7 Téléphone mural des PTT (1950)

8 Téléphone numérique ISDN Tritel Biel (vers 1990)

grés, cet appareil se compose d'un «crochet» sur lequel le cornet peut être suspendu pour interrompre la conversation, d'un système de sonnerie (en haut) et du cadran typique avec les chiffres 1 à 9 et 0. Le cadran fut à son époque une innovation révolutionnaire qui permettait, via une centrale téléphonique automatique, de sélectionner directement une station partenaire sans passer par l'intermédiaire d'une standardiste.

L'illustration 8 montre un téléphone de bureau moderne avec la technologie de transmission numérique ISDN (Integrated Services Digital Network), introduite en Suisse en 1988. Malgré la technique moderne, l'utilisation directe de cet appareil n'a pratiquement pas changé par rapport à celui de 1950. A la place du cadran, on trouve un clavier avec 10 touches supplémentaires, ainsi que plusieurs touches pour les numéros mémorisés ainsi qu'un écran (display) pour afficher les numéros.

Aussi bien le téléphone analogique classique de 1950 que le téléphone ISDN numérique moderne reposent sur une technologie sophistiquée et très raffinée sur laquelle nous ne pouvons pas nous étendre ici.

## Télécommunication avec le téléphone

Dans le téléphone électro-acoustique, comme il en existe dans chaque foyer, les deux boîtes sont remplacées par un microphone et un haut-parleur, et la ficelle par un cordon électrique à deux fils avec amplificateur intégré pour la transmission du signal acoustique électrique.

L'illustration 7 montre un téléphone mural de 1950. Outre d'un cornet avec microphone et écouteur inté-

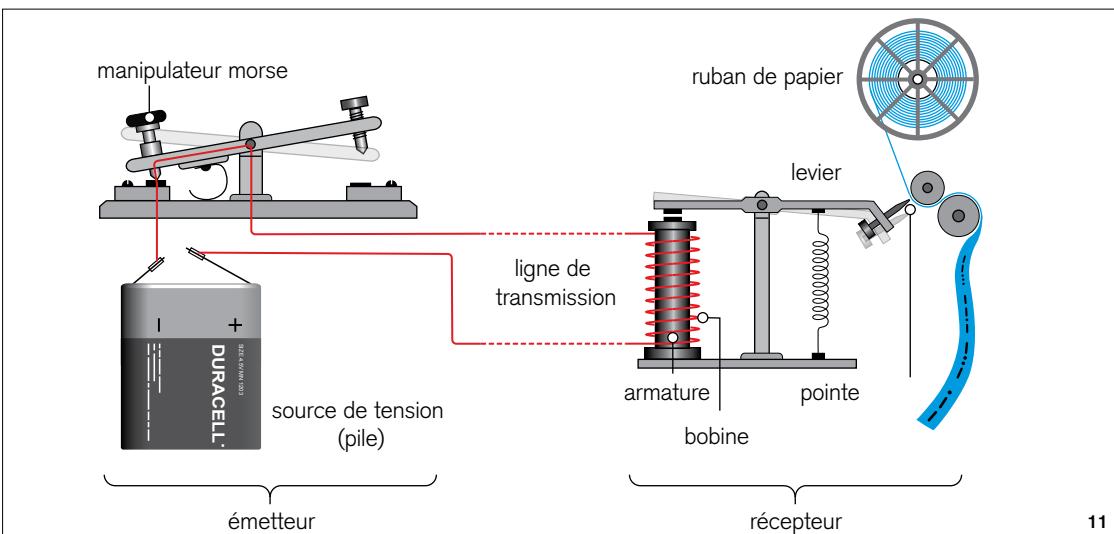
## Transmission d'informations avec le télégraphe morse

Très ancienne technologique de communication, la télégraphie morse nous intéresse dans le cadre du téléphone portable. En effet, lorsque l'on écrit en morse, les données ne sont pas transmises analogiquement, comme avec un téléphone classique, mais numériquement, comme avec un portable GSM, c'est-à-dire au

A	•—	S	•••
B	—...•	T	—
C	—•—.	U	••—
D	—..•	V	•••—
E	•	W	•—•—
F	•—•.	X	—••—
G	—•—.	Y	—•—•—
H	••••	Z	—•—..
I	•..	1	•—•—•—
J	—•——	2	••—•—
K	—•—.	3	•••—•—
L	—•..•	4	••••—
M	—•—	5	•••••
N	—•.	6	—••••
O	—•—•	7	—•—•••
P	—•—•.	8	—•—•—•
Q	—•—•—	9	—•—•—•—
R	—•—•.	0	—•—•—•—•



10



9 Alphabet morse

10 Code morse produit par signaux lumineux dans la marine

11 Le télégraphe morse

moyen d'un code déterminé.

C'est pourquoi par rapport au principe de transmission, ce que l'on appelle le protocole, c'est le télégraphe morse et non pas le téléphone analogique qui est véritablement l'ancêtre direct du téléphone portable numérique.

L'alphabet morse (code Morse) est un moyen de transmettre des caractères, des chiffres et des signes. Ce faisant, on utilise deux signes de base, le point (•, court) et le trait (—, long), pour représenter des chiffres et des lettres (illustration 9). Le code morse peut aussi être transformé en signaux lumineux et utilisé pour communiquer sans fil, comme dans la marine (illustration 10).

Le télégraphe morse fut une invention importante du 19<sup>e</sup> siècle (illustration 11). Un manipulateur morse (sorte de grand interrupteur) permet de convertir les signes du code Morse en impulsions électriques en alternant enclenchements et déclenchements d'un flux électrique. Ces signaux sont acheminés vers le récepteur par le biais d'une ligne de transmission. Arrivés à destination, ces signaux électriques actionnent au moyen d'un mécanisme magnétique (électro-aimant) une pointe qui

inscrit les codes reçus sur un ruban de papier.

Plus tard, la ligne de transmission a été remplacée par un émetteur et un récepteur radio, de sorte que les signes morse ont désormais pu être transmis sans fil sous forme d'ondes électromagnétiques.

Plus tard, la ligne de transmission a été remplacée par un émetteur et un récepteur radio, de sorte que les signaux en morse ont pu être transmis sans fil par ondes électromagnétiques.

Une version améliorée du télégraphe, le télescripteur (téléx, «ticker») a encore été utilisé jusque dans les années 1980.

Exactement de la même manière que le manipulateur morse convertit la langue écrite en code morse, dans un téléphone portable, le microphone et un élément électronique (le convertisseur analogique-numérique ADC) intégré transforment la langue parlée en un flot de chiffres par le biais d'un code chiffré.

A la place du point et du trait, on utilise dans l'électronique moderne un code avec les chiffres 0 et 1 (code binaire). Mais alors qu'un utilisateur très expérimenté transmet au maximum entre 200 et 300 signes en morse par minute, le convertisseur analogique-nu-

mérique d'un portable produit dans le même temps le nombre incroyable de 600'000 signes (octet, voir [approfondissement 1](#))!

Ainsi donc, avec un télégraphe morse comme avec un portable, les informations (caractères ou signal vocal acoustique) ne sont pas transmises directement, mais au moyen d'un code (code morse ou binaire) via des ondes radio ou des micro-ondes sans fil.

8. Combien de commutateurs faut-il pour représenter électriquement les deux nombres décimaux 19 et 77'839? Quelle est la position (on/off) de ces commutateurs?
9. Comment sont représentés les nombres décimaux 19 et 77'839 avec le code morse, sous forme de code binaire et sous forme de nombre hexadécimal?

## Questionnaire

1. Que signifie télécommunication?
2. Comment fonctionne un téléphone à ficelle?
3. De quels éléments principaux un téléphone analogique (1950) se compose-t-il? Quelles sont leurs fonctions?
4. Qu'est-ce qui différencie un téléphone numérique ISDN (1990) d'un téléphone analogique de 1950?
5. Comment fonctionne un télégraphe morse?
6. Explique les termes «analogique» et «numérique» par rapport au téléphone classique et au télégraphe morse.
7. Que comprends-tu sous le terme «bit» et sous le terme «octet»?



## Suggestions et expériences

- Construire un téléphone à ficelle.
- Expliquer et construire le télégraphe morse (circuit électrique, manipulateur, mécanisme d'écriture électromagnétique).
- Montrer des nombres binaires avec une lampe de poche.

*Pour des instructions plus détaillées, voir la version interactive sous [www.swisscom.com/portable-en-action](http://www.swisscom.com/portable-en-action)*

## Approfondissement 1

### Représentation de chiffres dans un circuit électrique



Un circuit intégré (IC) numérique travaille uniquement avec deux états électriques, par exemple 0 volt et 4,5 volts (pile), ce qui correspond aux positions «on» et «off» d'un commutateur (code binaire; bi signifiant deux). Ensemble, ces deux états («on» / «off») forment un bit. Ces deux états électriques permettent de représenter des chiffres électroniquement. On peut représenter deux états (chiffres) avec un bit (commutateur), quatre états avec deux bits, huit états avec trois bits, etc. Huit bits ensemble forment 1 octet.

#### Approfondissement:

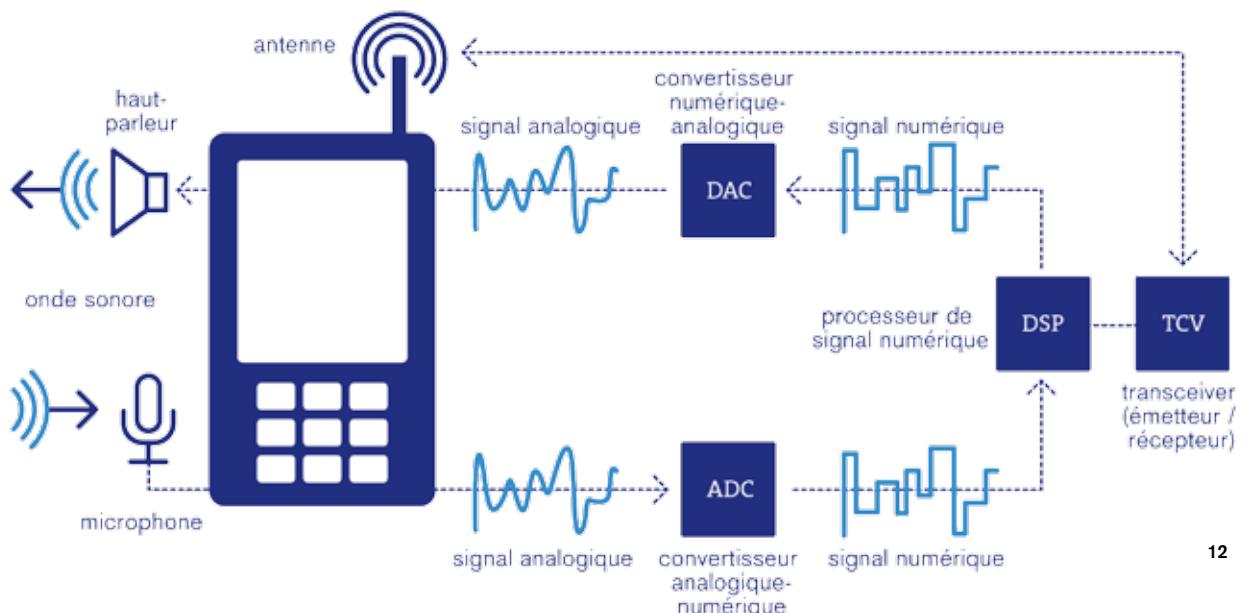
Comme le montre le tableau suivant, il est possible, avec 4 commutateurs, d'avoir 16 états de commutateur différents (on/off). Ces états de commutateur peuvent être classés en nombres décimaux de 0 à 15 (1ère colonne). Plutôt que des nombres décimaux, on utilise fréquemment de simples nombres duaux ou binaires, qui ne sont composés que des chiffres 0 et 1 (6e colonne). Le 0 correspond alors à la position «off» du commutateur, et le 1 à la position «on». A côté des nombres binaires, on utilise souvent aussi le système de nombres hexadécimaux, qui fonctionne avec les seize chiffres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F (7e colonne).

Nombre décimal	Commutateur / bit n. 1	Commutateur / bit n. 2	Commutateur / bit n. 3	Commutateur / bit n. 4	Nombre binaire	Nombre hexadécimal
0	Off	Off	Off	Off	0000	0
1	Off	Off	Off	On	0001	1
2	Off	Off	On	Off	0010	2
3	Off	Off	On	On	0011	3
4	Off	On	Off	Off	0100	4
5	Off	On	Off	On	0101	5
6	Off	On	On	Off	0110	6
7	Off	On	On	On	0111	7
8	On	Off	Off	Off	1000	8
9	On	Off	Off	On	1001	9
10	On	Off	On	Off	1010	A
11	On	Off	On	On	1011	B
12	On	On	Off	Off	1100	C
13	On	On	Off	On	1101	D
14	On	On	On	Off	1110	E
15	On	On	On	On	1111	F

Avec 8 bits ou 1 octet, on peut représenter les nombres de 0 à 255, donc  $256 = 2 \cdot 2 = 2^8$ , avec 16 bits ou 2 octets, les nombres de 0 à 65'535, donc  $65'536 = 2^{16}$

# 3 Téléphone mobile et électronique numérique

Dans ce chapitre, tu en apprendras davantage sur le fonctionnement de ton portable:



12

12 Processus de la transmission du son dans un téléphone portable

## Comment fonctionne mon portable?

A l'intérieur du téléphone portable (illustration 12), le signal vocal acoustique créé lorsque l'on parle dans le microphone est d'abord converti en signal électrique. Etant donné que ce signal est continu, nous parlons d'un signal audioélectrique analogique.

Les valeurs de ce signal électrique analogique sont ensuite transformées, grâce à un circuit électrique spécial, le convertisseur analogique-numérique (ADC), en intervalles temporels de même durée, par exemple de 0,1 milliseconde, de manière à générer, par exemple, un flux de 10'000 chiffres par seconde. Nous désignons ce flux de chiffres sous le terme de signal audio numérique.

Ce flux de chiffres (flux de données) est traité mathématiquement dans un processeur de signal numérique (DSP). Ensuite, dans la partie émettrice du transceiver (= transmitter + receiver, c'est-à-dire émetteur-récepteur), il est envoyé par ondes électromagnétiques vers la prochaine antenne et, de là, redirigé vers une centrale téléphonique par câble ou faisceau hertzien. De la centrale, le flux est dirigé par câble ou faisceau hertzien vers la station de base du portable récepteur qui est la plus proche et, enfin, redirigée sans fil vers le portable récepteur. Dans l'appareil, l'onde électromagnétique est

prise par la partie réceptrice du transceiver (TCV), le flux de chiffres est décrypté, traité mathématiquement et reconvertis en un signal électrique analogique dans le convertisseur numérique-analogique (DAC) et en signal acoustique dans le haut-parleur (illustration 12, en bas).

La carte SIM insérée dans le portable permet à un opérateur téléphonique, par exemple Swisscom, de reconnaître le portable et de facturer le coût de la conversation au possesseur de l'appareil.

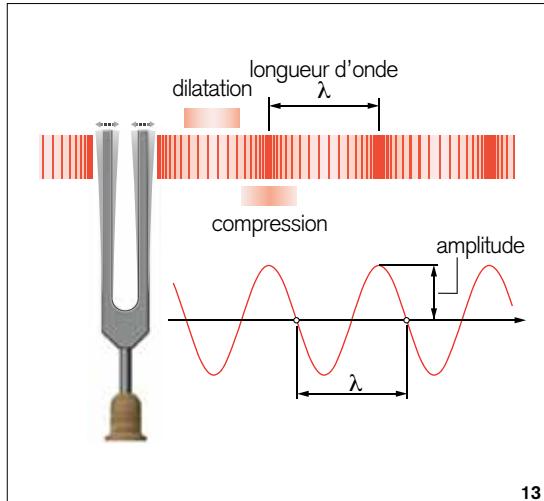
## Haut-parleur et microphone

Tout comme un diapason, un haut-parleur produit également un son ou un timbre. Mais, contrairement au diapason, le son du haut-parleur est généré par un courant électrique variable qui change au même rythme que le son reproduit, respectivement que la musique.

Un haut-parleur (dynamique) fonctionne sur le principe des forces magnétiques.

Sur l'illustration 14, nous voyons deux barres aimantées (aimants permanents) qui se repoussent (en haut) ou qui s'attirent (en bas).

Si nous remplaçons l'une de ces barres aimantées par un électroaimant, c'est-à-dire par une bobine à fil (illustration 15), cette barre aimantée et la bobine s'attirent lorsque le courant électrique va dans une direction



et se repoussent lorsque le courant va dans une autre direction via la bobine.

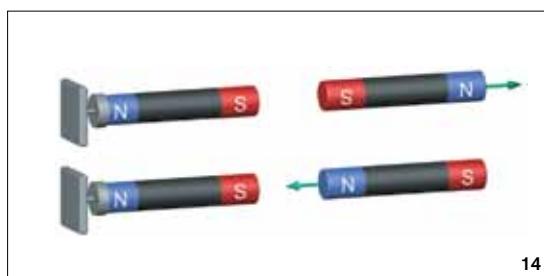
Si nous envoyons maintenant un courant électrique provenant d'un amplificateur de musique à travers cette bobine, par exemple au rythme d'un diapason (440 hertz, illustration 13), celle-ci va alors effectuer des mouvements d'aller-retour selon le même rythme.

Si nous relions cette bobine qui baigne dans un aimant permanent (bobine mobile) avec une membrane conique faite de carton ou de plastique, on obtient un haut-parleur: la membrane qui effectue des mouvements d'aller-retour au rythme du courant électrique produit des compressions et des dilatations de l'air, c'est-à-dire une onde sonore que nous pouvons percevoir avec notre oreille (illustration 16).

Inversement, si des ondes sonores touchent la membrane d'un microphone (illustrations 12 et 17), celle-ci commence alors à effectuer des mouvements très rapides d'aller-retour à la fréquence, c'est-à-dire au rythme de ces ondes sonores; elle vibre. Si cette membrane en mouvement est reliée à une bobine entourée d'un aimant permanent, apparaît alors un signal électrique ou, plus exactement, une tension électrique qui varie en fonction du temps.

C'est là le principe de fonctionnement du microphone électrodynamique, une sorte de micro qui est largement répandue. Ce principe se base sur une loi de la nature qu'un physicien anglais de génie, Michael Faraday, a découverte vers 1830: la célèbre loi d'induction.

Tout comme une pile (approfondissement 2), un microphone est donc lui aussi une source de tension électrique; cependant, la tension du microphone est beaucoup plus petite que celle d'une pile et n'est naturellement pas constante. La tension du microphone varie de valeur en fonction des ondes sonores entrantes.



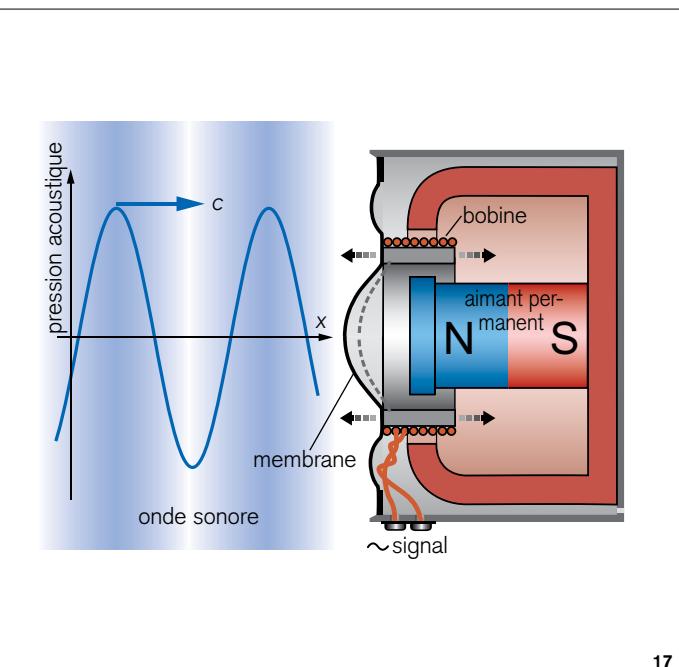
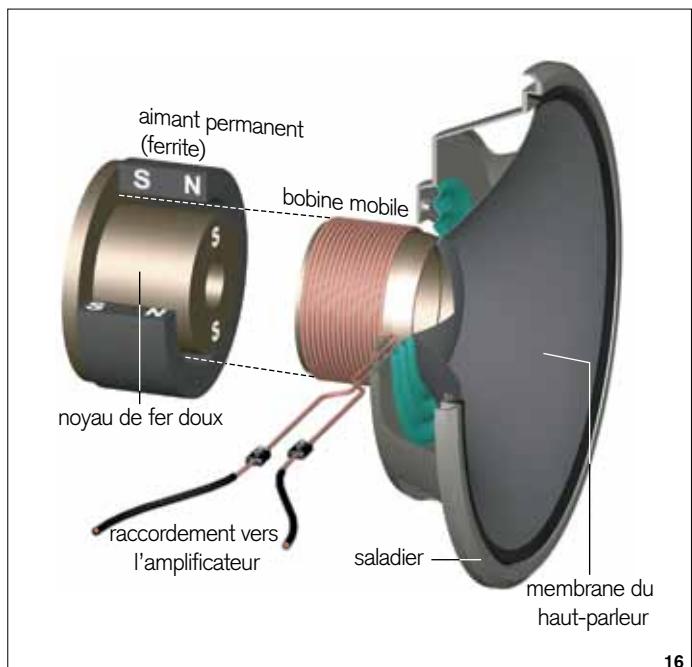
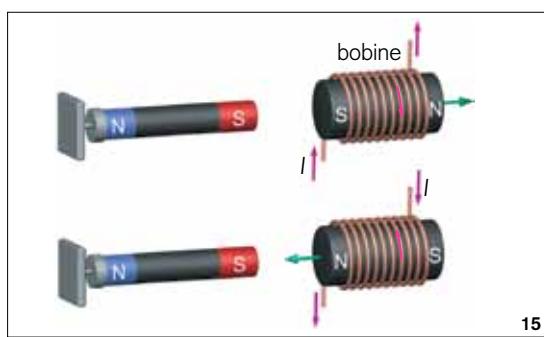
13 Lorsqu'il vibre, un diapason produit une onde sonore dans l'air ambiant

14 Les forces entre des aimants permanents

15 Les forces entre des aimants permanents et des électroaimants

16 Le principe de fonctionnement d'un haut-parleur

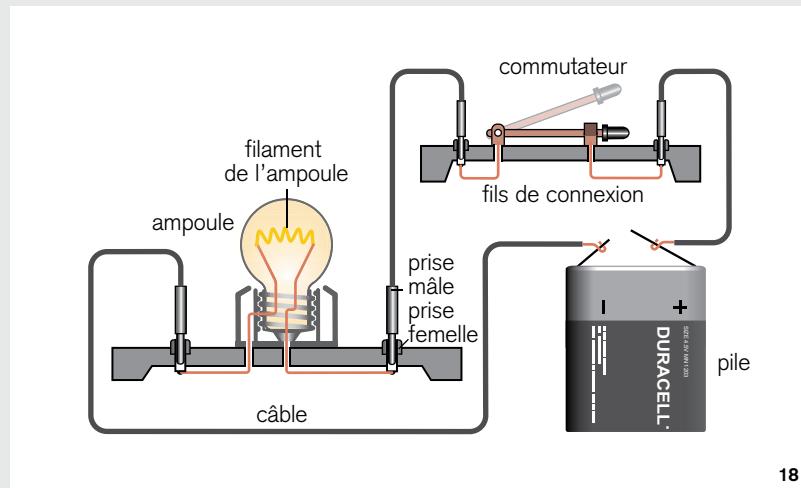
17 Le principe de fonctionnement d'un microphone à bobine mobile



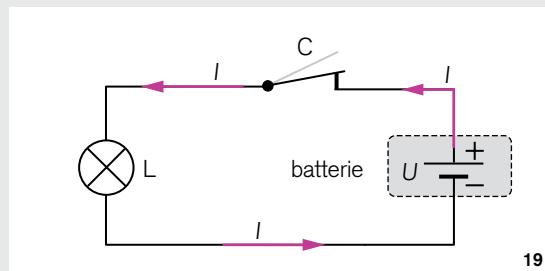


## Approfondissement 2

### Courant électrique, circuit électrique et tension électrique



18



19

18 Circuit électrique avec ampoule

19 Schéma de connexion (pile, commutateur et ampoule)

20 Résistance, condensateur et transistor

Un courant électrique s'écoule lorsque des électrons se déplacent dans le conducteur électrique (un fil de cuivre isolé) d'un circuit électrique (illustration 18). L'intensité du courant est une mesure qui indique combien d'électrons se déplacent dans ce conducteur durant d'un laps de temps déterminé. Etant donné que les électrons présentent non seulement une très petite masse, mais également une charge électrique (négative), un courant électrique indique aussi la quantité de charge électrique qui circule à travers le conducteur durant d'un laps de temps déterminé.

L'illustration 18 montre un circuit électrique simple avec une pile, une ampoule et un interrupteur.

L'illustration 19 présente le schéma correspondant. Lorsque le commutateur (C) est fermé, le courant électrique provenant de la pile circule à travers l'ampoule. Ce faisant, les électrons se déplacent depuis le pôle négatif (-) vers le pôle positif (+) de la pile.

Nous désignons également la pile comme source de tension. La tension électrique est une mesure indiquant la «force» d'une pile. La pile représentée sur l'illustration 18 a une tension électrique d'environ 4,5 volts. Plus la tension électrique est élevée, plus la force du courant électrique est élevée.

## Approfondissement 3

### Les composants électroniques



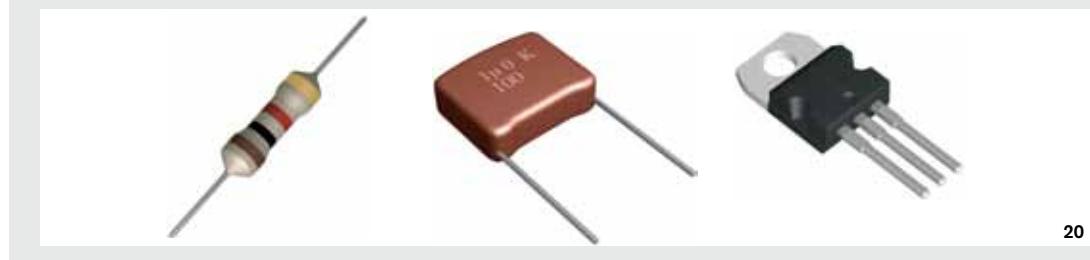
Les trois principaux composants électroniques sont la résistance (R), le condensateur (C) et le transistor (T). Tous les circuits électroniques, aussi bien les analogiques que les numériques, sont composés de ces trois composants. Vous trouverez un exemple avec le circuit d'amplification simple qui est présenté sur l'illustration 23 (approfondissement 4).

Une **résistance** détermine la force du courant électrique dans un circuit électrique, c'est-à-dire combien d'électrons circulent dans un conducteur (fil de cuivre). Plus la résistance est grande, plus la force du courant est petite.

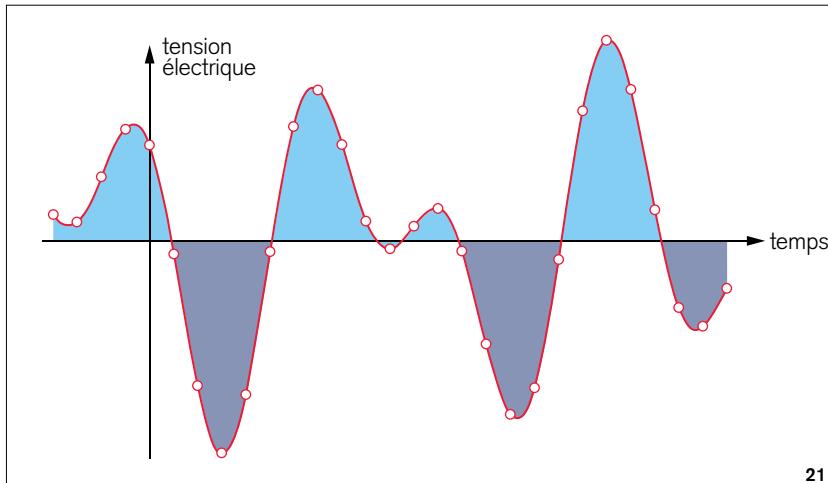
Dans le cas le plus simple, un **condensateur** est constitué de deux armatures métalliques disposées pa-

rallèlement. La capacité d'un condensateur mesure la «capacité de charge» d'un condensateur en électricité. Plus la surface de l'armature est grande, plus la capacité d'un condensateur l'est également. Si un condensateur est chargé par une pile à travers une résistance, il s'en suit que ce processus de charge se déroule plus lentement avec une grande capacité qu'avec une petite.

Un **transistor** est un élément de commutation qui, par exemple dans un microphone, permet d'amplifier la force du courant électrique ou la tension électrique à l'aide d'une pile supplémentaire. Inventé en 1947, le transistor est le composant le plus important de toute l'électronique. Il existe des milliers de types différents de transistors.



20



21

Etant donné que le signal du microphone, c'est-à-dire la tension électrique dans le microphone, est très faible, il doit toujours être amplifié. C'est à cela que servent les circuits d'amplification électroniques à transistors (approfondissements 3 et 4).

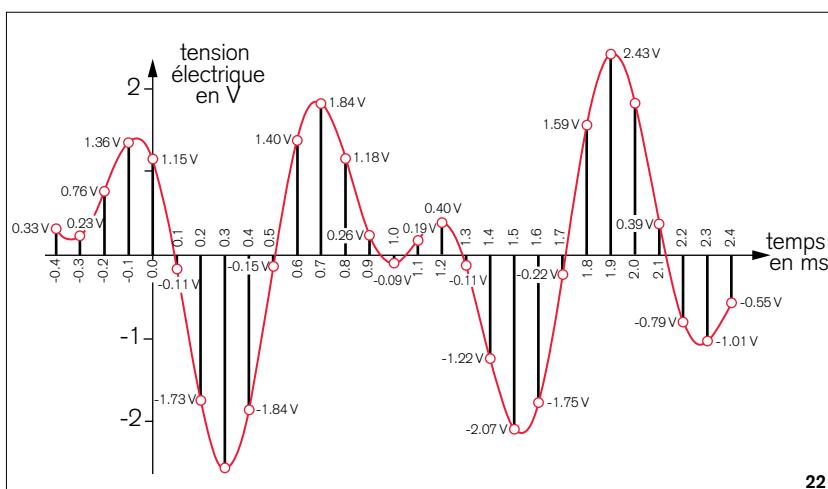
## Numérisation: convertisseur analogique-numérique et numérique-analogique

Le Natel D a été introduit en Suisse en 1993. C'est à cette occasion que fut utilisée pour la première fois la nouvelle technologie de numérisation des signaux acoustiques.

L'illustration 21 montre l'exemple d'un signal acoustique généré pendant une conversation au micro d'un portable. Avec une technologie analogique, ce signal serait directement traité, transformé (modulé) en un signal radio et transmis via une antenne.

Ce n'est pas ainsi que cela se passe avec la technologie numérique: lors de la numérisation, le convertisseur analogique-numérique (ADC, illustration 12) du portable «scanne» (illustration 22) le signal électrique analogique (illustration 21) au cours de laps de temps déterminés (intervalles), par exemple toutes les 0,1 milliseconde.

Cela signifie que la tension électrique mesurée (en volt) lors de chaque intervalle est sauvegardée conjointement à l'intervalle qui lui correspond (voir le tableau ci-dessus). L'ingénieur dit: le signal a été «scanné» avec un taux de 10'000 «samples» ou 10 «kilosamples» par seconde.



22

21 Signal acoustique électrique dans un microphone

22 Numérisation d'un signal acoustique électrique

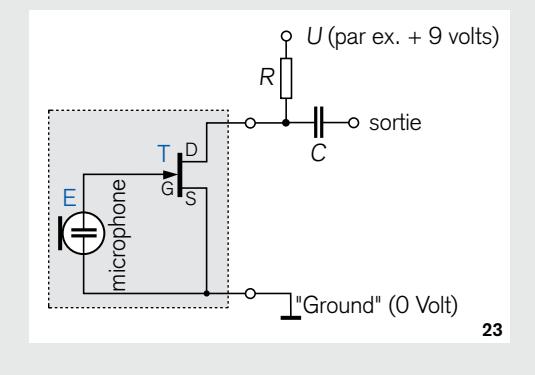
23 Amplificateur électronique simple

## Approfondissement 4

### Amplification de signaux électriques

Les signaux électriques d'un microphone sont faibles (de l'ordre du millivolt ou du microvolt) et souffrent également de pertes dans la ligne. Par conséquent, ils doivent être dans tous les cas amplifiés. La téléphonie et l'électronique d'aujourd'hui sont inconcevables sans circuits amplificateurs.

L'illustration 23 montre l'exemple du schéma d'un microphone très simple, le «micro à électret» (E).



ms	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	....
V	0.33	0.23	0.76	1.36	1.15	-0.11	-1.73	-2.53	....

Le tableau ci-dessus montre huit de ces paires de valeurs issues de la numérisation du signal acoustique de l'illustration 22. C'est ainsi que sont générées chaque seconde 10'000 valeurs numériques (!) qui doivent être traitées par processeur de signal. Etant donné que deux octets (voir approfondissement 1) sont indispensables pour la sauvegarde d'une valeur mesurée, le processeur de signal doit donc traiter un flux de données de 20 kilooctets par seconde.

En téléphonant avec un portable, on diffuse des fréquences sonores de 300 à 3400 hertz qui sont «scannées» à raison de 8000 samples par seconde. C'est ainsi que **800 · 2 · vbits par seconde = 128 kb/s** sont traités durant une conversation téléphonique! Si, à l'inverse, le téléphone mobile reçoit une conversation, la partie réceptrice du transceiver livre alors au processeur de signal numérique (DSP) un flux de données numériques qui est à nouveau transformé en un signal électrique analogique dans le convertisseur numérique-analogique (DAC), puis en signal sonore (signal vocal) dans le haut-parleur (illustration 12).



## Approfondissement 5

### Circuits intégrés analogiques et numériques, microprocesseurs

Après l'invention du transistor, Jack Kilby, ingénieur auprès de «Texas Instruments», a construit en 1958 le premier circuit intégré (IC, «puce») inaugurant ainsi la microélectronique moderne. Le Prix Nobel de physique lui a d'ailleurs été décerné en 2000 pour cette avancée technologique révolutionnaire.

Un circuit intégré contient, sur une très petite plaque de silicium, plusieurs composants électroniques (résistances, condensateurs, transistors) qui sont reliés entre eux pour constituer un circuit électrique dédié à une fonction, par exemple l'amplification.

Alors que les premiers circuits intégrés ne comportaient encore que peu de composants (10-20), les IC actuels sont composés de plusieurs centaines de millions de composants et même de quelques milliards (illustration 25).

En pratique, on fait une distinction entre les circuits intégrés analogiques et les numériques.

Un circuit intégré analogique traite des signaux électriques continus, par exemple les signaux acoustiques d'un microphone dans un amplificateur de musique.

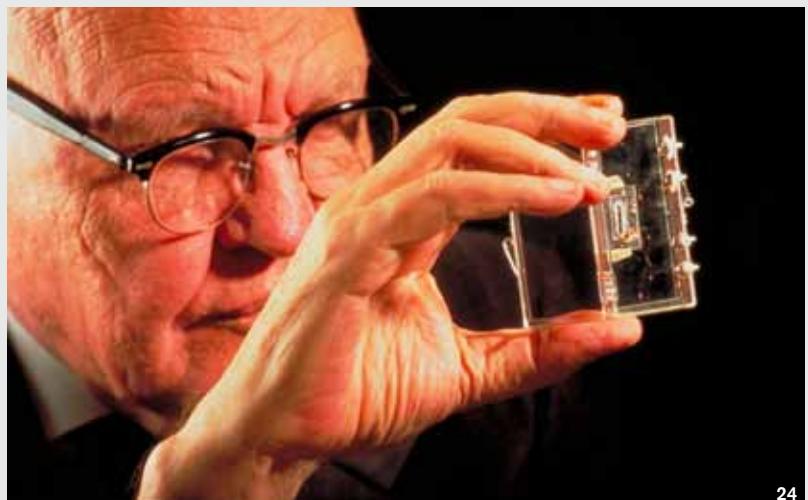
Un circuit intégré numérique (Digital-IC) traite en revanche des chiffres sous forme de représentation électronique (voir approfondissement 1).

L'illustration 26 montre l'exemple du circuit intégré TDA2030, qui, avec l'ajout de seulement quelques composants, peut servir à l'assemblage d'un amplificateur de musique à part entière.

Un circuit intégré numérique (Digital-IC) traite en revanche des chiffres sous forme de représentation électronique (voir approfondissement 1).

Le microprocesseur est l'un des plus importants circuits intégrés numériques. Contrairement à d'autres circuits intégrés numériques et analogiques, la fonction d'un microprocesseur ne peut être déterminée que par un programme. Par conséquent, il faut en premier lieu programmer le microprocesseur avant de pouvoir l'utiliser. Un microprocesseur est un ordinateur qui permet de combiner des chiffres représentés numériquement entre eux, de manière arithmétique ou logique, par exemple en les additionnant ou en les multipliant.

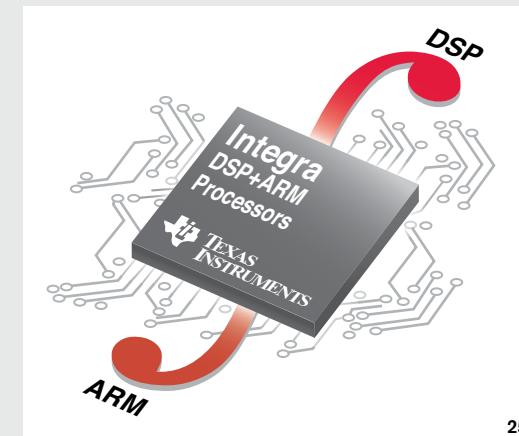
**24** Le premier circuit intégré (1958, 8 composants) de Jack Kilby



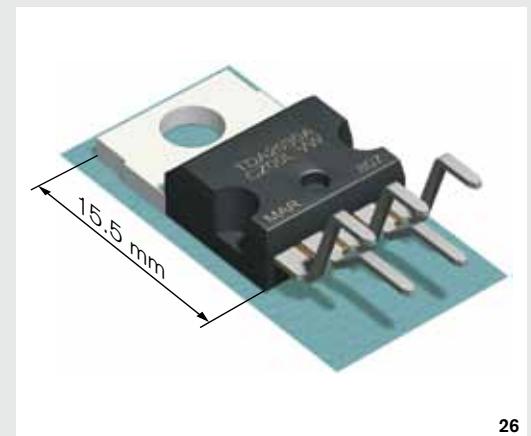
24

**25** Le processeur de signal numérique actuel DSP TMS320C6A816x (TI, octobre 2010)

**26** Le circuit intégré analogique TDA2030 A, un amplificateur audio hi-fi de 14 watts



25



26

## Le processeur de signal numérique

Pendant une conversation sur un portable, on trouve à la sortie du convertisseur analogique-numérique (ADC, illustration 12) un flux de données qui est généralement de 20 kilooctets par seconde. Pour traiter des quantités aussi importantes de données, il est indispensable de disposer d'un ordinateur spécifique, un processeur de signal numérique (DPS, illustrations 12 et 25).

Dans l'autre sens, ce processeur de signal doit aussi pouvoir traiter directement le flux de données transmis par la partie réceptrice du transceiver (TCV, illustration 12) et le rediriger vers le convertisseur numérique-analogique (DAC, illustration 12). Pour cela, il faut un programme informatique intégré que l'on désigne sous le nom de CODEC (de l'anglais Coder-Decoder).

Par ailleurs, s'exécutent aussi sur le processeur de signal numérique d'un portable des programmes contenant des procédures de calcul destinées à la compression des données, tout comme on en trouve sur les lecteurs MP3. Ils permettent de réduire considérablement l'énorme flux de données généré pendant une

conversation téléphonique et ce sans perte notable de la qualité sonore.

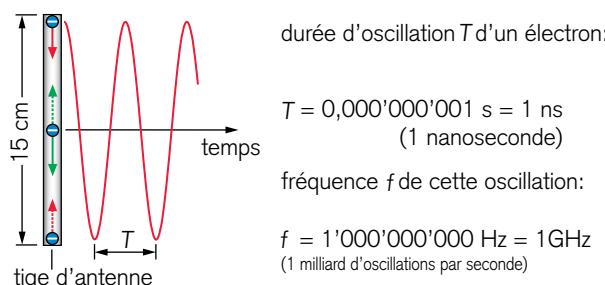
Le processeur de signal numérique (DSP) installé dans les portables est le centre de contrôle, et donc, à la fois le cœur et le cerveau de ces appareils. Le DSP est une forme particulièrement performante de microprocesseur. Il peut exécuter plusieurs centaines de millions d'additions ou de multiplications par seconde.

Notons que: Chaque téléphone mobile actuel dispose de plusieurs ordinateurs très performants (microprocesseurs et processeurs de signal) qui sont utilisés pour le traitement des signaux acoustiques numériques et leur gestion. Très répandus de nos jours, les «smartphones» disposent de fonctions supplémentaires également pilotées par processeur telles que la photographie numérique, l'accès à Internet, le GPS, etc.

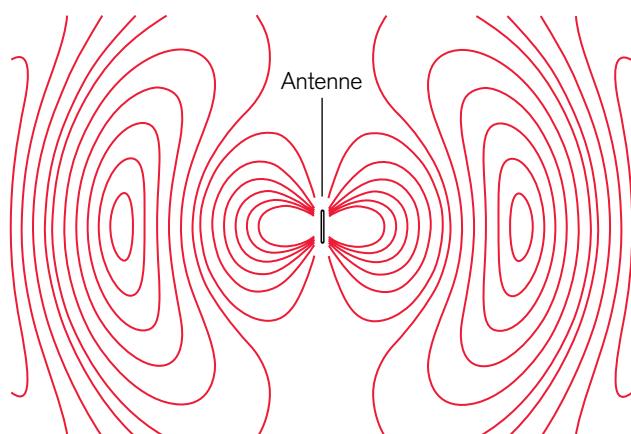
La téléphonie numérique ne serait pas possible sans ces processeurs rapides. Il y a encore trente ans, toute l'électronique embarquée à bord d'un téléphone portable actuel aurait occupé tout un étage d'un grand bâtiment.



## Approfondissement 6 Oscillations électromagnétiques et ondes



27



28

Nous enquêtons sur un électron qui se déplace très rapidement en avant et en arrière dans une tige électrique conductrice (une antenne), par exemple 1 milliard de fois par seconde dans une tige de 15 cm de long.

En vertu des lois de l'électrodynamique, les quatre équations de Maxwell, un champ magnétique et un champ électrique se créent alors en alternance: le champ magnétique est généré lorsque l'électron se déplace à sa vitesse maximale par le milieu de la tige et le champ électrique lorsque l'électron se trouve brièvement au repos en haut et en bas de la tige pendant son mouvement d'aller-retour.

Il se passe alors quelque chose d'inimaginable au cours de ce mouvement d'aller-retour de l'électron:

Le champ électrique et le champ magnétique se désolidarisent de la tige et se répandent dans l'espace environnant sous forme d'onde électromagnétique à la vitesse de la lumière  $c = 300'000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  (illustration 28).

Les équations de Maxwell permettent de décrire la manière dont ces électrons qui oscillent produisent des ondes électromagnétiques (ondes radio). Mais quant à la question de savoir pourquoi tel est le cas, nous n'en savons rien!

**27** Apparition d'une onde électromagnétique

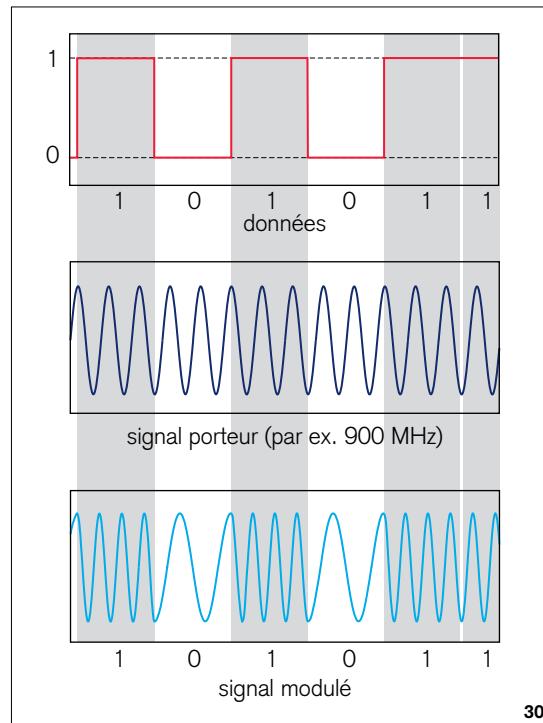
**28** Diffusion des ondes électromagnétiques dans l'espace environnant



29 Le transceiver d'une station de base de téléphonie mobile (Base Transceiver Station)

30 Modulation par déplacement de fréquence (FSK)

31 Carte SIM avec puce à détacher



## Identification d'un portable (carte SIM)

Un téléphone mobile doit pouvoir être clairement identifié par toutes les stations de base avec lesquelles il peut entrer en contact. Ce n'est qu'ainsi qu'il est possible aux opérateurs, par exemple Swisscom, de reconnaître l'utilisateur du portable ou de lui facturer les coûts de conversation. C'est à cela que servent les numéros IMEI et IMSI. Ces numéros sont sauvegardés sur la carte SIM (Subscriber Identity Module) (illustration 31).

Le numéro IMEI (International Mobile Equipment Identification) peut être utilisé pour exclure un portable volé du réseau GSM, donc pour le bloquer. Ce numéro identifie uniquement l'appareil, mais pas son utilisateur.

Le numéro IMSI (International Mobile Subscriber Identity = identification internationale de l'abonné mobile) identifie l'utilisateur sur des réseaux GSM ou UMTS et contient des informations relatives au pays, à l'opérateur et à l'utilisateur. La carte SIM est insérée dans l'appareil par l'opérateur mobile au moment de l'achat.

Outre des informations relatives à l'identification, la carte SIM génère également un numéro PIN (Personal Identification Number = numéro d'identification personnelle) qui doit être introduit lors de la mise en marche du téléphone mobile et qui le protège d'une utilisation par des personnes non autorisées. La carte SIM sert par ailleurs à sauvegarder les derniers numéros utilisés et des messages SMS. A côté des cartes SIM personnelles, il existe aussi des cartes SIM prépayées et impersonnelles qui ne nécessitent pas un abonnement auprès d'un opérateur. La personne qui l'acquiert doit cependant présenter ses papiers d'identité lors de l'achat.

## Transceiver: transmission sans fil des informations

Chaque téléphone mobile contient un émetteur-récepteur radio combiné, le transceiver (TCV, illustration 12), qui peut transmettre respectivement recevoir des ondes électromagnétiques à des fréquences de 900 MHz, 1800 MHz, 850 MHz ou 1900 MHz (quatre bandes de fréquence). Cela correspond à des longueurs d'onde de 33,3 cm, 16,7 cm, 35,3 cm et 15,8 cm. Ces ondes électromagnétiques font partie de la famille des micro-ondes.

Un transceiver est constitué de composants électroniques tels que des condensateurs, des bobines, des résistances et des transistors. Ces composants permettent de construire des circuits électroniques. Ces circuits peuvent produire (émettre) des oscillations électromagnétiques sur une antenne ainsi que recevoir des ondes électromagnétiques sur la même antenne.

En raison de la numérisation des signaux acoustiques, les données doivent être envoyées avec une «onde porteuse» (900 MHz, 1800 MHz, 850 MHz ou 1900 MHz) de manière à ce qu'il soit possible de faire une distinction entre les états «zéro» (0) et «un» (1); on appelle ce processus modulation (illustration 30).



## Questionnaire

1. De quelles fonctions essentielles un téléphone portable (mobile) est-il composé?
2. Comment fonctionnent les microphones et les haut-parleurs électroodynamiques?
3. Qu'est-ce qu'un signal audio analogique? Comment est-il produit?
4. Que comprends-tu lorsque l'on parle de numérisation d'un signal audio analogique?
5. Les signaux musicaux d'un compact disc sont scannés à 44'100 samples par seconde. Chaque sample nécessite un espace de stockage de 2 octets (16 bits). La musique est enregistrée en stéréo, c'est-à-dire qu'il faut traiter deux signaux musicaux indépendants, un pour le canal (haut-parleur) gauche et un pour le canal droit. Quelle doit être la capacité de stockage minimale d'un CD pour pouvoir sauvegarder 74 minutes de musique?
6. Pourquoi des ordinateurs très performants sont-ils indispensables au fonctionnement d'un portable?
7. Que comprends-tu sous le terme de CODEC?
8. Que comprends-tu sous le terme de compression des données? Pourquoi celle-ci est-elle indispensable?
9. Que comprends-tu sous le terme d'ondes acoustiques (ondes sonores)? Comment sont-elles produites?
10. Que comprends-tu sous le terme d'ondes électromagnétiques (ondes radio)? Comment sont-elles produites?
11. Que comprends-tu sous le terme de modulation d'une onde électromagnétique?
12. A quoi sert la carte SIM dans un portable?



## Suggestions et expériences

- Expérience avec la carte son, le microphone et le haut-parleur d'un PC. Par exemple avec le logiciel «Overtone» d'Ae.
- Fabrication d'un détecteur très sensible, le «HF-Sniffer» (syntoniseur HF) pour les ondes électromagnétiques situées dans les zones de fréquence OUC et les micro-ondes (portables) (100–2'500 MHz, exigeant).
- Produire le manuel d'utilisation de son propre portable.

*Pour des instructions plus détaillées, voir la version interactive sous [www.swisscom.com/portable-en-action](http://www.swisscom.com/portable-en-action)*

# 4 Réseaux de téléphonie mobile

**Dans ce chapitre, tu en apprendras davantage sur le fonctionnement d'un réseau de téléphonie mobile:**



## Le portable, un téléphone cellulaire

L'idée géniale qui se trouve derrière le système de téléphonie mobile est la subdivision d'une ville ou d'un pays tout entier en petites cellules radio munies d'antennes émettrices et réceptrices (ce que l'on appelle les stations de base). La puissance de l'émetteur d'une telle station de base est si petite qu'il n'a une portée que de quelques kilomètres ou moins.

La portée de cet émetteur forme ce que l'on nomme une cellule (raison pour laquelle le portable est aussi appelé téléphone cellulaire). A l'extérieur de cette cellule, l'émetteur de la station de base qui y correspond n'est plus efficient; il ne peut plus être reçu et ne crée donc pas de perturbations si la même fréquence d'émission est à nouveau utilisée par une autre station de base.

Il est ainsi possible d'utiliser à plusieurs reprises les (peu nombreuses!) fréquences d'émission à disposition. Ainsi, malgré le peu de fréquences disponibles (570 canaux pour le Uplink et 570 pour le Downlink), des centaines de milliers de conversations téléphoniques ont lieu en même temps en Suisse.

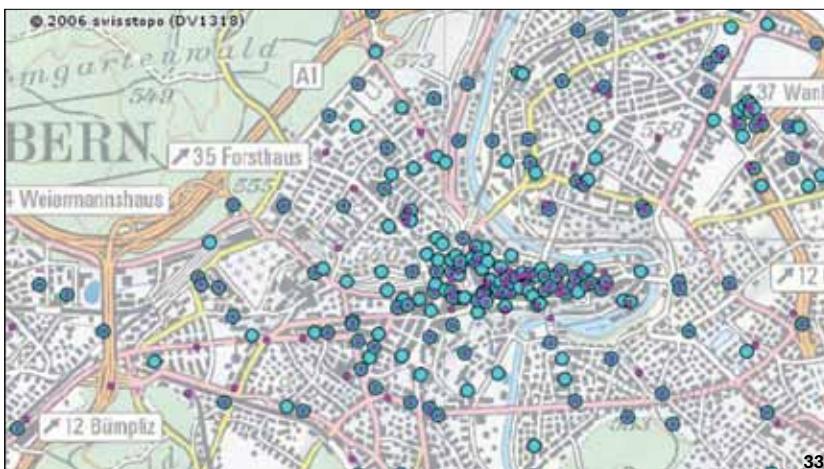
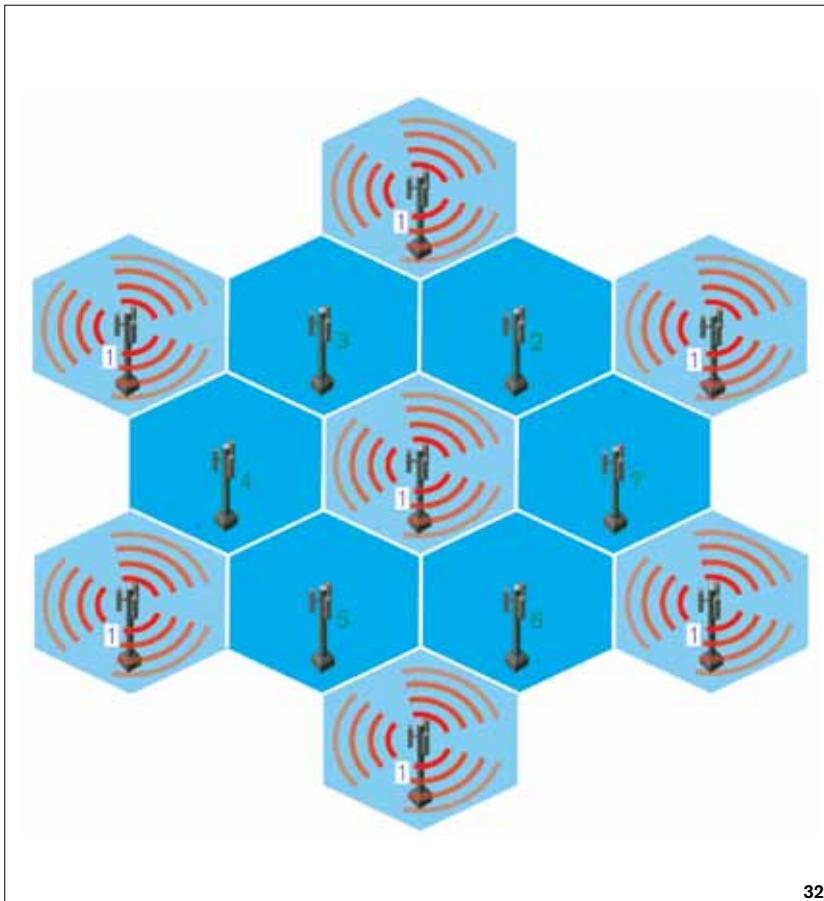
Avec cette méthode, si l'on veut pouvoir téléphoner sur l'ensemble d'un pays, on a besoin d'un réseau dense de stations de base munies d'antennes émettrices et réceptrices. Le nombre de stations de bases disponibles (environ 11'000 en Suisse) détermine combien de conversations téléphoniques peuvent être

menées en même temps.

Pour faire simple, admettons que le territoire soit subdivisé en cellules hexagonales en forme de nid d'abeille (illustration 32). En raison d'interférences (perturbations) mutuelles, des stations de base qui sont voisines ne peuvent pas travailler avec la même fréquence.

Les 570 liaisons full-duplex théoriquement possibles doivent donc être réparties sur 7 stations de base. C'est pourquoi il n'y a par station de base que 81 (soit 570:7) liaisons full-duplex, c'est-à-dire 81 conversations téléphoniques possibles en même temps. Les stations de base des cellules qui ne sont pas adjacentes (illustration 32, cellules numéro 1) peuvent à nouveau utiliser la même fréquence, car elles ne sont plus perturbées par la station de base de la cellule d'origine (illustration 32, numéro 1 au centre). Ceci est possible du fait que la puissance électromagnétique des stations de base est si faible qu'elles ne peuvent plus atteindre les stations de bases qui ne leur sont pas adjacentes. Les portables eux-mêmes n'ont qu'une petite puissance d'émission. Leur portée atteint au maximum quelques kilomètres. Si la station de base (récepteur) se situe à hors de cette portée, il n'est alors plus possible d'établir de liaison.

Ces considérations correspondent à une représentation graphique très simplifiée. En réalité, le réseau cellulaire n'est pas uniformément réparti sur l'ensemble du pays sous forme d'hexagones équilatéraux. On distingue des picocellules (diamètre jusqu'à 100 m) pour



32 Structure cellulaire des stations de base (antennes pour portables)

33 Localisation des stations de base de téléphonie mobile à Berne et environs

les espaces densément peuplés, des microcellules (de 100 m à 2 km) et des macrocellules (de 2 à 50 km) pour les espaces non urbains. L'illustration 33 montre la structure cellulaire dans la région de Berne. Plus le réseau cellulaire est dense, plus la puissance d'émission de chaque station de base est faible. Chaque station de base GSM émet sur une fréquence déterminée un signal continu que le portable reconnaît lorsqu'il est mis en marche. Ensuite, le portable transmet ses données d'identification à la station de base. Puis, le portable signale périodiquement à la station de base, selon une réitération allant de quelques minutes à quelques heures, qu'il est prêt pour un échange de don-

nées. C'est pourquoi le réseau électronique sait déjà dans quelle cellule se trouve un utilisateur de portable lorsqu'un appel arrive pour lui.

Si l'utilisateur de portable se déplace, par exemple en voiture, et change de cellule, ce changement (appelé Handover) est communiqué à la station de base. C'est pourquoi le trafic des conversations est assuré de manière ininterrompue, même pendant un changement de cellule. Un portable peut même être annoncé auprès de plusieurs stations de base. Grâce à ce que l'on appelle des accords de roaming (d'itinérance) passés entre les opérateurs de téléphonie mobile, un téléphone portable peut être utilisé en dehors de son propre réseau, par exemple à l'étranger.

## Bande de fréquence et multiplex

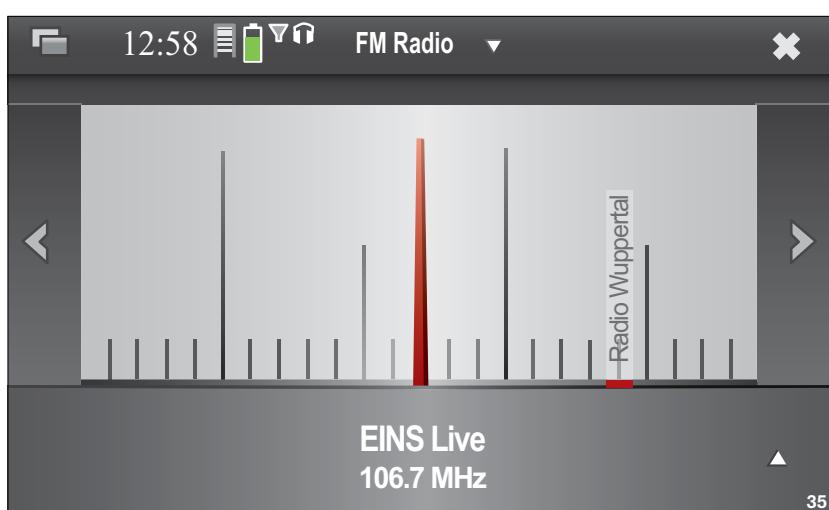
Un portable travaille de la même manière qu'une radio OUC. Mais à la différence essentielle que le portable, outre un récepteur radio, dispose également d'un émetteur radio.

OUC signifie ondes ultra-courtes et désigne la bande de fréquence des ondes électromagnétiques utilisées pour la transmission des programmes de radio stéréo avec une technologie analogique. Celle-ci s'étend de 87,5 à 108,0 MHz.

L'illustration 34 montre un récepteur d'OUC et d'ondes moyennes avec trois boutons de réglage: un



34



35

34 Un modèle assez ancien de radio OUC (FM) et ondes moyennes (AM)

35 Echelle de fréquence d'un récepteur OUC (modèle récent)

pour le volume (à gauche), un pour le choix des fréquences (Tune, à droite) et un pour éteindre le poste ou choisir entre les ondes moyennes ou OUC (OFF/FM/AM).

L'illustration 35 montre l'échelle graduée d'une radio OUC moderne, qui travaille toujours avec une transmission analogique du signal, mais qui présente déjà des «Features» de la technologie numérique, comme une horloge numérique et, à côté de l'échelle de fréquence analogique et de l'indicateur de fréquence (pointeur rouge), également un affichage numérique de la station.

Nous nous y sommes certes habitués, mais c'est véritablement un miracle de la technologie que nous puissions capter plusieurs programmes (émetteurs) avec un récepteur radio!

Ceci est possible parce qu'avec les ondes radio, il est possible de diffuser différents programmes (émetteurs radio) sur différentes fréquences. Nous parlons

alors de multiplexage fréquentiel. Le mot latin «multiplex» signifie multiple, varié.

On ne peut pas mettre autant d'émetteurs que l'on veut dans une zone (bande) de fréquence déterminée. Comme nous le voyons dans le segment de la bande OUC situé entre 106 MHz et 107 MHz (illustration 35), il n'y a de la place que pour 10 émetteurs, soit un par la «largeur de bande» de 0,1 MHz = 100 kHz. Il y a exactement une station qui «occupe» chaque trait de l'échelle, par exemple «Radio Wuppertal» sur 107,4 MHz. Si l'on réduit la largeur de bande, par exemple à 50 kHz, comme en Italie, la qualité de la transmission devient alors plus mauvaise.

Dans le domaine des portables, les longueurs d'onde sont de 10 à 20 fois plus courtes et les fréquences environ 10 fois plus grandes que dans le domaine des OUC. De plus, la puissance d'émission d'une station de base est beaucoup plus faible que celle d'un émetteur OUC. A cela s'ajoute le fait qu'avec la radiodiffusion, tous les auditeurs captent le même programme d'une station de radio, alors qu'avec la téléphonie mobile, chacun mène sa propre conversation en tant qu'émetteur et récepteur.

C'est pour toutes ces raisons que la téléphonie mobile nécessite un réseau d'émetteurs beaucoup plus dense que la réception d'OUC. En Suisse (41'000 km<sup>2</sup>), il existe aujourd'hui environ 11'000 stations de base (antennes de téléphonie mobile).

## Les bandes de fréquence de la téléphonie mobile (GSM)

Chaque téléphone mobile dispose d'un Transceiver (émetteur-récepteur radio) qui peut émettre et capter des ondes radio avec des fréquences de 900 MHz, 1800 MHz, 850 MHz ou 1900 MHz (quatre bandes de fréquence).

Selon le nombre de ces zones (bandes) de fréquence qu'un portable peut capter, on parle alors d'un portable dual-band, tri-band ou quad-band. Un téléphone tri-band ou quad-band est nécessaire si l'on veut téléphoner en Europe et aux Etats-Unis, car les bandes 850MHz/1900MHz que l'on utilise aux Etats-Unis ne sont pas compatibles avec la norme internationale 900MHz/1800MHz.

## Compression des données

La vitesse de transfert des données de 128 kbit par seconde (kb/s) calculée au paragraphe «Haut-parleur et microphone» n'est de loin pas atteinte avec le standard GSM originel, qui permet un maximum de 9,6 kbit par seconde. Ce type de transmission est environ 13 fois trop lente pour y parvenir. Pourtant, une téléphonie entièrement numérique par ondes radio était déjà possible avec le standard GSM. Comment cela est-il possible?

Ainsi que nous l'avons déjà vu, la réponse est la compression des données! Nous en trouvons une autre utilisation avec les lecteurs MP3. La compression des données signifie que le flux de données nécessaire à la transmission du signal peut être très fortement réduit, et ce pratiquement sans perte de qualité. Pour ce faire, on a recours à des méthodes sophistiquées de calculs

mathématiques qui, au cours d'une conversation téléphonique découpée en intervalles de 20 millisecondes, calculent d'avance le nouveau signal électrique entrant à l'aide des signaux précédents. Cette méthode permet de transmettre ensuite le signal avec un flux de données beaucoup plus petit. Nous ne pouvons pas entrer ici davantage dans les détails.

## Approfondissement 7

### Les protocoles de transfert (GSM, HSCSD, GPRS, EDGE, UMTS)

Un protocole de transfert de données est une sorte d'accord (généralement international) qui définit la manière dont on transfert des données (numériques) entre deux appareils, dont on contrôle les erreurs de transmission, dont on comprime les données (numériques), etc.

Le terme «protocole» provient à la base de la diplomatie, domaine dans lequel un protocole définit l'étiquette dans les relations entre Etats, et avec toute une série de règles qui doivent être observées le plus scrupuleusement possible. C'est ainsi que l'on applique des règles contraignantes pour les visites d'Etats, mais également pour le code vestimentaire, le plan de tables, etc.

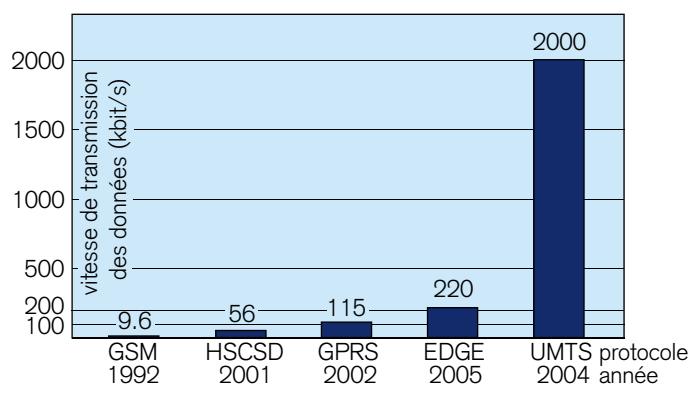
Introduit en 1992 (en 1993 en Suisse), le «Global Système for Mobile Communications» (GSM) reste aujourd'hui encore le principal protocole de la téléphonie mobile. Il s'agit d'une norme pour les réseaux de radiocommunication mobile entièrement numériques. Celui-ci est principalement utilisée pour la téléphonie mobile, mais aussi pour le transfert de données ainsi que pour le système de messages courts (SMS). Le GSM a constitué une avancée révolutionnaire! C'est n'est qu'avec lui que la téléphonie mobile telle qu'on la conçoit aujourd'hui est devenue possible. Le GSM est la première norme de ce que l'on appelle la deuxième

génération. Les protocoles de première génération se réfèrent quant à eux aux systèmes de téléphonie mobile analogique (réseau A, réseau B et réseau C). Le GSM est la norme de téléphonie mobile la plus répandue dans le monde. Si l'on compte toutes les normes de téléphonie ensemble, on dénombre environ 4 milliards de portables en activité dans le monde (fin 2009).

Le GSM est un système de téléphonie mobile permettant à ses utilisateurs d'être mobiles au niveau mondial et qui est adapté à la norme de téléphonie fixe numérique ISDN (Integrated Service Digital Network) ainsi qu'aux réseaux de téléphonie analogique traditionnels.

Afin d'assurer une transmission plus rapide des données, on a introduit depuis 1992 plusieurs perfectionnements de la norme GSM, tels que le HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), le GPRS (General Packet Radio Service) et l'EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution).

L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) est quant à lui une norme de radiocommunication mobile de troisième génération avec une vitesse de transmission des données nettement plus élevée qui, outre la téléphonie audio, permet également la videotéléphonie et l'accès à Internet (illustration 36).



36 La vitesse de transfert des données pour différents protocoles de téléphonie mobile

## Le réseau de radiocommunication mobile GSM

Un réseau de radiocommunication mobile GSM est hiérarchique, c'est-à-dire construit de bas en haut et scindé en trois sous-systèmes subordonnés (illustration 37).

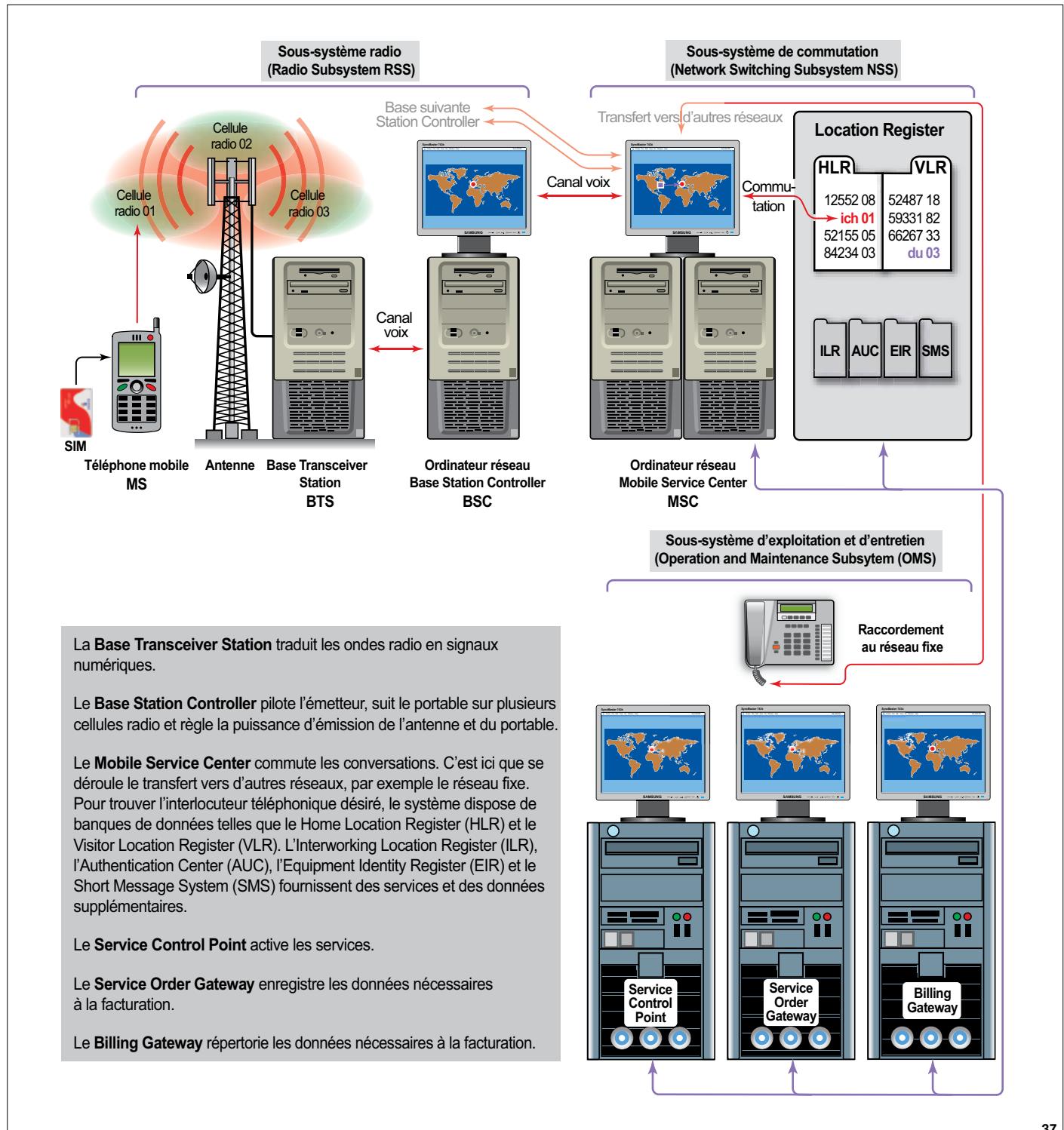
- Un sous-système radio (Radio Subsystem RSS) composé de plusieurs antennes (Base Transceiver Station BTS), de fréquences radio et de com-

mandes électroniques qui leur correspondent, ainsi que d'un ordinateur de réseau (BSC, Base Station Controller)

- Un sous-système de commutation (Network Switching Subsystem NSS)
- Un sous-système d'exploitation et d'entretien (Operation and Maintenance Subsystem OMS)

Un téléphone mobile (MS: Mobile Station) prend contact par ondes radio avec la station de base (BTS) la plus

37 Réseau de radiocommunication mobile GSM



proche (illustration 38, les deux antennes en haut). La station de base BTS convertit les signaux radio (analogiques) reçus en signaux numériques.

Un sous-système radio RSS est composé de plusieurs stations de base qui sont reliées à une station de contrôle (BSC: Base Station Controller) par câble ou par faisceau directionnel sans fil (illustration 38, antenne ronde en bas à droite).

La station de contrôle suit le portable sur plusieurs cellules radio et, au besoin, dirige le changement de cellule (Handover). Elle détermine la puissance et le mode (par ex. Multiplex, Burst, Frequency-Hopping, etc.) de transmission des antennes qui lui sont subordonnées.

Les stations de contrôle sont de leur côté à leur tour reliées par câble ou faisceau directionnel à un ordinateur

de commutation (MSC: Mobile Service Center) dans le sous-système de commutation (NSS).

L'ordinateur de réseau MSC commute les conversations avec un autre portable du réseau mobile ou du réseau fixe de l'opérateur, mais peut aussi les faire transiter vers des réseaux concurrents ou étrangers.

Diverses banques de données électroniques sont à disposition pour l'identification de l'appel entrant et de l'interlocuteur souhaité. Les principales sont le registre VLR, le registre HLR et le registre Auc (illustration 37).

- Le VLR (Visitor Location Register) est un registre de localisation dans lequel sont stockées des informations sur les abonnés mobiles qui se trouvent justement dans la zone de rayonnement du MSC.
- Le HLR (Home Location Register) est un registre des données clients de tous les téléphones mobiles et fixes de l'opérateur du réseau concerné (par ex. Swisscom), avec les numéros de téléphone mobile, l'International Mobile Subscriber Identity (IMSI), etc.
- L'AuC (Autentication Center) est la centrale d'autentification, la banque de données avec laquelle l'utilisateur est identifié (authentifié) à l'aide de données et d'une clef secrète sur la carte SIM du portable. Si cette authentification aboutit, le HLR peut alors gérer la carte SIM et les services de radiocommunication mobile demandés par l'utilisateur. Une clef secrète pour la communication entre le portable et le réseau GSM est également générée. Ceci est nécessaire pour éviter un clonage frauduleux du numéro SIM et que la carte SIM du portable avec lequel on est en train de téléphoner se fasse passer pour une autre.

Le sous-système d'exploitation et d'entretien (OMS: Operation and Maintenance Subsystem) calcule les frais de commutation, surveille les deux autres sous-systèmes, optimise le trafic des données sur le réseau GSM et est en charge de la localisation et de la correction des erreurs.

## Etablissement d'une conversation sur réseau de radiocommunication mobile GSM

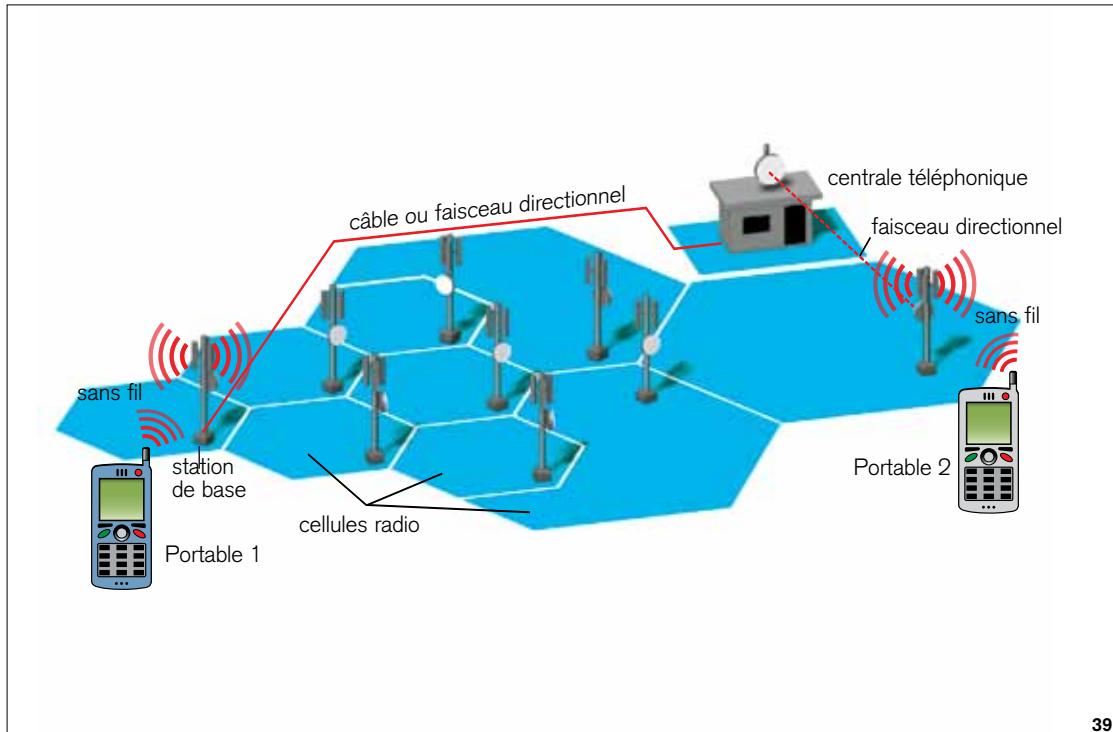
Admettons que tu allumes ton portable. Après un moment, une amie tente de t'appeler. Que se passe-t-il alors dans ton portable et sur le réseau GSM?

- Après avoir été allumé, le téléphone mobile recherche le canal de contrôle, ce que l'on appelle le signal SID (System Identification Number). En Suisse, il s'agit d'un numéro entre 23'040 et 23'167. Ce code SID est attribué à la carte SIM par l'opérateur du réseau au moment de l'achat du portable. Le canal de contrôle est une fréquence spéciale sur laquelle le portable et la station de base peuvent communiquer. Si le portable ne capte aucun canal de contrôle, il «sait» alors qu'il ne se trouve pas à portée d'une

38 Station de base BTS



38



39

39 Conversation sur réseau de radiocommunication mobile GSM

antenne de téléphonie mobile et qu'il est donc «Out of Range». L'indication «pas de réception» apparaît alors sur l'écran du téléphone.

- Si le portable capte un code SID, celui-ci est alors comparé avec le code SID stocké sur la carte SIM. Si les deux nombres concordent, le portable «sait» que la cellule avec laquelle il est en liaison appartient au système GSM de son opérateur de réseau (par ex. Swisscom).
- Conjointement à la demande SID, le portable envoie aussi une demande d'enregistrement dans le VLR (Visitor Location Register), ce qui permet au NSS (Network Switching Subsystem) de garder la localisation de ton portable en mémoire. C'est pourquoi le NSS connaît la cellule du réseau dans laquelle tu te trouves, ainsi que la cellule du réseau à partir de laquelle ton amie t'appellera.
- Le NSS capte l'appel de ton amie et tente de te trouver. Pour ce faire, le NSS recherche la cellule dans laquelle tu te trouves dans la banque de données VLR.
- Le NSS sélectionne une paire de fréquences sur laquelle ton téléphone doit à la fois émettre et capter.
- Le NSS communique ces deux fréquences à ton portable sur le canal de contrôle. Dès que ton téléphone et l'émetteur de la station de base sont commutés sur cette station de base, la connexion est établie. Tu peux alors t'entretenir en duplex avec ton amie de vos dernières nouvelles les plus importantes.

Si tu te déplaces avec ton portable vers la limite de la cellule 1, dans laquelle tu te trouves, la station de base correspondante (RSS 1) constate que la force du signal de ton portable diminue. Dans le même temps, la sta-

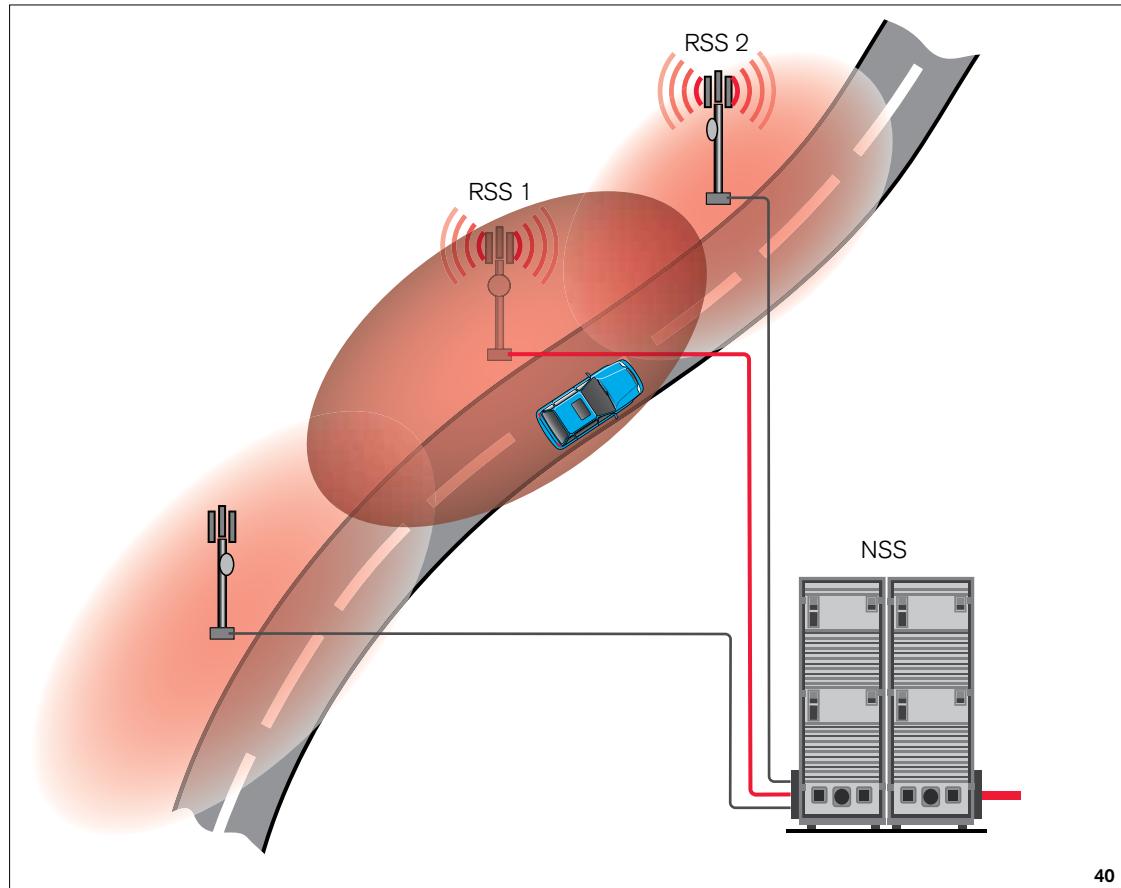
tion de base RSS 2 de la cellule 2, vers laquelle tu te diriges, constate que la force du signal de ton portable augmente.

Via le NSS, les deux stations de base RSS 1 et RSS 2 coordonnent la remise du contrôle, et la station de base RSS 2 attribue à ton portable une nouvelle paire de fréquences sur laquelle celui-ci devra dès maintenant capter et émettre. Ce «Handover» (changement de main) commute ton portable sur la nouvelle cellule RSS 2 (illustration 40).

Si l'ancienne cellule RSS 1 se trouve en Suisse, mais que la nouvelle cellule RSS 2 et la station de base correspondante se situe à l'étranger et qu'elle appartient par conséquent à un autre «Service Provider», par exemple Telecom Italia à la place de Swisscom, la connexion n'est pas interrompue, mais transmise au système GSM du nouveau provider. On désigne cette procédure sous le terme de «Roaming». Le portable «remarque» ce changement, parce que le nombre SID envoyé sur le canal de contrôle de Telecom Italia ne correspond plus au nombre SID Swisscom de ton portable.

Le NSS de la cellule RSS 2 de Telecom Italia contacte maintenant le MTSO de la cellule RSS 1 de Swisscom, qui recherche le nombre SID de ton portable dans son Visitor Location Register et qui confirme à la cellule RSS 2 de Telecom Italie que ton nombre SID est valable.

Le contrôle de ton portable est ensuite repris («tracked») par la cellule RSS 2 de Telecom Italia aussi longtemps que tu te tiens à portée de cette cellule. Ce processus se déroule en quelques petites secondes, mais peut provoquer des coûts élevés auprès du «Service Provider» étranger. Parmi les conditions nécessaires pour procéder à ce «Roaming» international entre des



40

40 Changement de cellule pendant un déplacement en voiture

vers des technologies de réseau différentes, il est notamment nécessaire de disposer de portables spéciaux: des portables tri/quad-band et des portables multimode.

### Questionnaire

1. Pourquoi un portable est-il aussi parfois appelé «téléphone cellulaire»?
2. Que comprends-tu sous le terme de cellule radio?
3. Pourquoi les fréquences d'émission peuvent-elles être utilisées plusieurs fois dans un réseau de radiocommunication mobile?
4. Pourquoi est-il possible d'avoir davantage de conversations téléphoniques simultanées dans une ville dotée d'un réseau dense de cellules radio qu'en campagne, où il n'y a que quelques stations de base?
5. Quels sont les avantages et les inconvénients d'un réseau dense de cellules radio?
6. Que signifient pour toi les termes «Handover» et «Roaming»?
7. Qu'est-ce qu'une bande de fréquence? Qu'est-ce que le multiplexage en fréquence?
8. Que comprends-tu sous le terme de protocole de transmission des données?
9. Comment s'appellent les deux principaux protocole de radiocommunication mobile? Qu'est-ce qui les différencie?
10. Comment un réseau de radiocommunication mobile est-il construit? Quelles sont les fonctions des trois sous-systèmes?



### Suggestions et expériences

- Travail à effectuer: fonctionnement d'un système de radiocommunication mobile: expliquer la partie analogique et la partie numérique d'un portable ainsi que les sous-systèmes d'un réseau de radiocommunication mobile (par exemple un court exposé).
- Expérience avec une diode à haute fréquence, par exemple BAT 45 et le HF-Sniffer
- Expérience avec le HF-Sniffer et la carte son d'un PC



*Pour des instructions plus détaillées, voir la version interactive sous [www.swisscom.com/portable-en-action](http://www.swisscom.com/portable-en-action)*

# 5 Exposition aux rayonnements: le portable rend-il malade?

Dans ce chapitre, tu en apprendras davantage sur l'exposition aux rayonnements dus au portable:



## L'effet du rayonnement électromagnétique sur l'être humain

Pour évaluer les effets néfastes du rayonnement et des ondes électromagnétiques sur la santé des êtres humains, il faut prendre en compte aussi bien l'intensité (force) que l'énergie de ce rayonnement.

Il est particulièrement important de faire une distinction entre le rayonnement ionisant (par exemple, le

rayonnement ultraviolet, les rayons X ou le rayonnement gamma) à haute énergie et le rayonnement non ionisant (par exemple le rayonnement micro-ondes d'un portable) à basse énergie.

Le rayonnement ionisant, tel par exemple celui apparu suite au dégagement de grandes quantités de substances radioactives (comme l'iode 131 ou le caesium 137) après la catastrophe du 11 mars 2011 dans la centrale nucléaire japonaise de Fukushima, est bien plus dangereux pour l'être humain que le rayonnement non ionisant. Le rayonnement ionisant peut briser des liaisons chimiques et endommager des molécules telles que celles qui forment l'ADN humain (illustration 41); le rayonnement non ionisant ne peut en revanche pas avoir de tels effets.

Un laboratoire virtuel livre un aperçu de quelques rayonnements auxquels les êtres humains sont quotidiennement exposés.



41

41 Les rayons X endommagent l'ADN

## Approfondissement 8

### Spectre électromagnétique: rayonnement ionisant et non ionisant



Le rayonnement émis par un portable et les stations de base se situe dans des fréquences allant de  $f_1 = 900$  MHz à  $f_2 = 1800$  MHz et fait partie des ondes électromagnétiques non ionisantes. Les longueurs d'onde correspondantes atteignent environ

$$\lambda_1 = \frac{c}{f_1} = \frac{300'000'000}{900'000'000} \text{ m} \approx 0.33 \text{ m} \text{ resp. } \lambda_2 = \frac{c}{f_2} = \frac{300'000'000}{1800'000'000} \text{ m} \approx 0.17 \text{ m}$$

La lumière visible est aussi une onde électromagnétique. Sa longueur d'onde se situe entre environ  $\lambda = 0,00007$  cm (700 nanomètres) et  $\lambda = 0,00004$  cm (400 nanomètres).

L'illustration 42 présente la totalité du spectre électromagnétique avec des fréquences allant de 1 hertz (ondes ultra-longues) jusqu'à  $10^{27}$  hertz (rayonnement gamma et cosmique).

Les longueurs d'onde correspondantes se situent entre 300'000 kilomètres ( $3 \cdot 10^8$  mètres, ce qui correspond approximativement à la distance Terre-Lune) et 3 attomètres ( $3 \cdot 10^{-18}$  mètres, ce qui correspond à environ le millième de la taille d'un noyau d'atome).

Le spectre électromagnétique englobe (avec des longueurs d'ondes qui vont en diminuant et des fréquences qui vont en augmentant) ce que l'on appelle les ondes ultra-longues, les ondes longues, les ondes moyennes, les ondes courtes, les ondes ultra-courtes (OUC), des micro-ondes, la lumière infrarouge, visible et ultraviolette, ainsi que les rayons X de la médecine, le rayonnement gamma des substances radioactives et

le rayonnement cosmique en provenance de l'espace.

Ce sont les ondes radios (depuis les ondes longues jusqu'aux OUC) que l'on utilise pour la radio, les transmissions sans fil, le radar et la télévision. Et de nos jours, on priviliege surtout l'utilisation des ondes ultra-courtes et des micro-ondes allant de 100 mégahertz ( $10^8$  hertz) à pratiquement 100 gigahertz ( $10^{11}$  hertz). Comme nous l'avons vu, les ondes électromagnétiques permettent de transmettre sans fil des signaux sonores, mais aussi visuels.

En 1905, avec son hypothèse sur les quantas de lumière, Einstein a démontré que nous devons nous représenter la lumière, c'est-à-dire le rayonnement électromagnétique, non seulement sous forme d'onde, mais en même temps sous forme de particules. Ces particules de lumière s'appellent les photons.

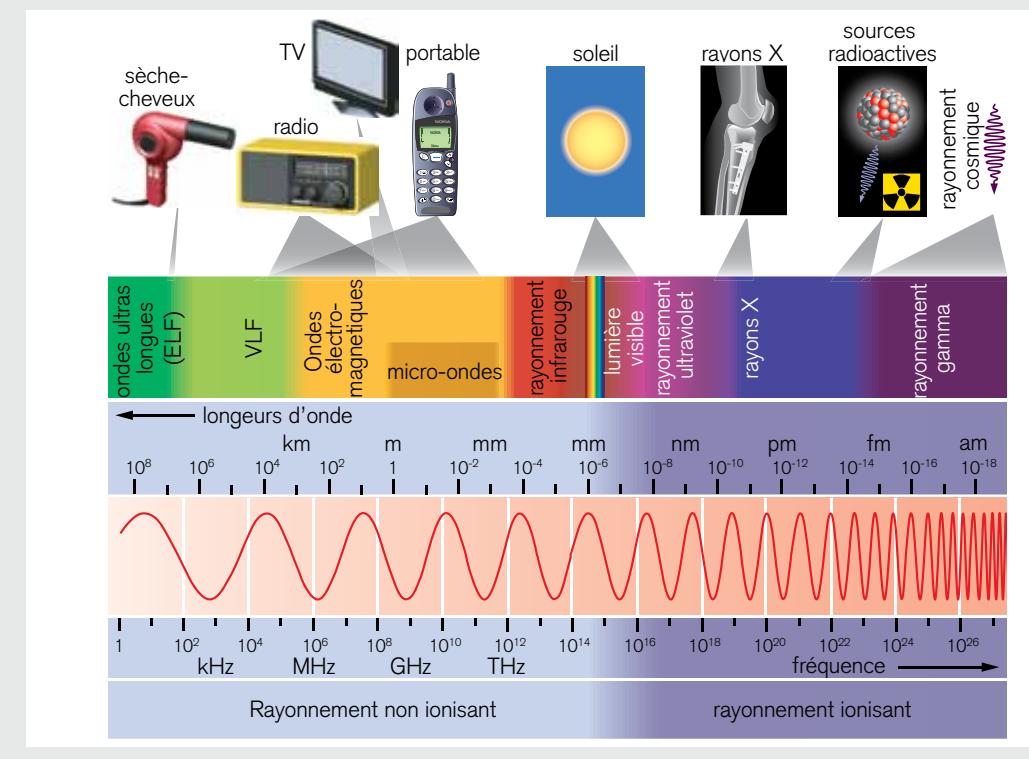
L'énergie  $E$  des photons augmente avec l'augmentation de la fréquence  $f$  et la diminution de la longueur d'onde  $\lambda$ . Selon la formule d'Einstein:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}, \text{ où } c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ et } h = 6.626 \cdot 10^{-34} \frac{\text{J} \cdot \text{s}}{\text{}}$$

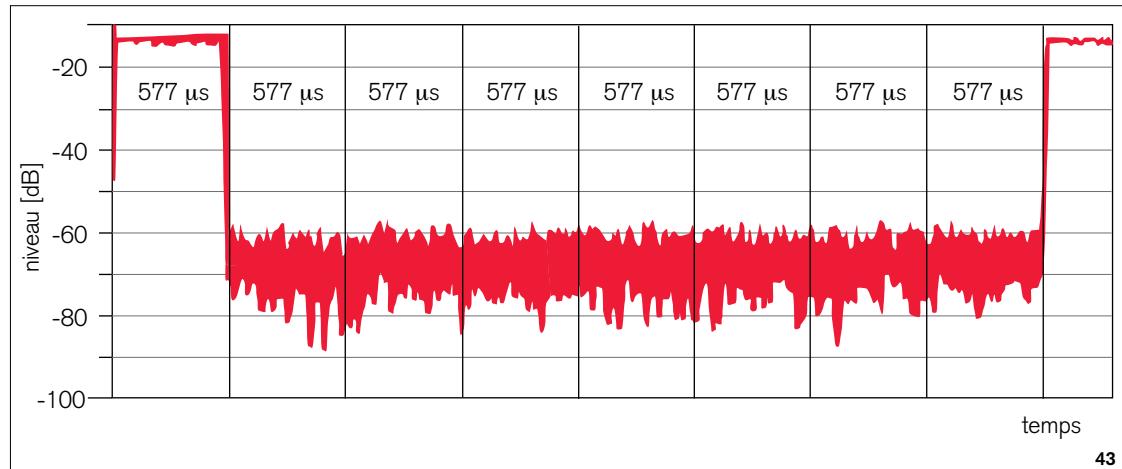
$h$  étant une constante de la nature, aussi appelée quantum d'action ou constante de Planck.

C'est pourquoi nous devons faire une distinction entre l'énergie et l'intensité (force) d'une source de rayonnement (source de lumière) électromagnétique:

L'énergie d'un rayonnement électromagnétique est déterminée par sa fréquence, respectivement par sa longueur d'onde, alors que l'intensité est déterminée par le taux de photons, c'est-à-dire par le nombre de photons que la source de photons (par exemple un émetteur radio ou une lampe) émet.



43 La force du signal d'émission d'un portable GSM en fonction du tempsZeit



43

## Un portable qui rayonne

Le téléphone mobile (portable) ne représente donc que l'une des nombreuses sources de rayonnement électromagnétique auxquelles nous sommes exposés de manière continue ou par intermittence dans notre quotidien. Etant donné que d'innombrables portables sont en service de par le monde, il est important de connaître les risques potentiels auxquels on s'expose avec la téléphonie mobile.

Comme nous le savons, un téléphone mobile (portable) nous permet de communiquer indépendamment d'un lieu via un réseau de stations de base. L'information est transmise du téléphone mobile vers une station de base, puis renvoyée, grâce à un rayonnement électromagnétique (ondes radio) à haute fréquence.

Vu qu'un portable GSM (mais pas un portable UMTS) travaille avec une procédure de multiplexage temporel (TDMA), c'est-à-dire qu'il est allumé puis à nouveau éteint pendant 0,577 milliseconde toutes les 4,616 millisecondes, l'utilisateur est en plus exposé à une pulsation électromagnétique de basse fréquence  $f = \frac{1}{0,004616} \text{ Hz} \approx 217 \text{ Hz}$  (illustration 43).

## Le taux d'absorption spécifique (valeur TAS)

La mesure physique qui représente l'absorption («ce que l'on absorbe en soi») du rayonnement électromagnétique dans les tissus biologiques – et donc aussi humains – est appelée taux d'absorption spécifique ou valeur TAS. Celle-ci est calculée en watt par kilogramme. L'absorption du rayonnement électromagnétique conduit toujours à un échauffement du tissu. Le four à micro-ondes constitue une utilisation bien connue de ce principe, puisque les aliments sont chauffés par

le biais de l'absorption d'un rayonnement micro-ondes de 2'455 MHz.

La différence entre un portable et un four à micro-ondes réside dans la puissance électromagnétique qui est environ 1000 fois plus élevée dans un four, ce qui, en cas de rayonnement direct, serait dommageable pour le corps humain, voire mortel, en raison d'un échauffement du tissu. C'est pourquoi la porte d'un four micro-ondes doit être soigneusement étanchéifiée pour éviter des rayonnements vers l'extérieur.

La valeur TAS des téléphones portables se situe entre 0,1 et 1,99 watt par kilogramme. Avec la puissance d'un portable à une valeur TAS de 1 watt par kilogramme, on peut élever la température de 1 kilogramme d'eau d'au maximum 0,9°C en une heure.

Lorsque l'on téléphone avec un portable, la tête est beaucoup moins fortement échauffée, car une grande partie de l'énergie absorbée est continuellement évacuée par conduction thermique vers tout le corps et vers le milieu environnant.

On détermine pour chaque modèle de téléphone la valeur TAS à l'aide d'une tête modélisée (illustration 44). Le résultat est publié sur Internet ainsi que sur le mode d'emploi de l'appareil. La valeur TAS des téléphones mobiles est mesurée selon un scénario du «worst-case», c'est-à-dire dans les conditions les plus défavorables, et s'applique à la puissance d'émission maximale.

Mais un portable dispose d'un réglage de la puissance. C'est pourquoi la valeur TAS atteinte lorsque le téléphone est utilisé est habituellement plus petite que la valeur indiquée dans le mode d'emploi de l'appareil. Cette valeur dépend aussi de la structure du réseau de radiocommunication mobile. C'est ainsi que, si le téléphone mobile émet dans des réseaux bien construits, avec une densité élevée de stations de base, sa puissance d'émission est plus réduite que sur des réseaux mal construits.



44

44 Tête fantôme pour la détermination de la valeur TAS

C'est pourquoi, lorsque l'on téléphone, l'exposition est généralement plus limitée dans des régions avec une densité élevée de stations de base que dans des régions avec une densité faible. Lorsque l'on se tient dans des véhicules et des bâtiments (en particulier ceux en béton armé), la puissance d'émission nécessaire augmente, ce qui expose davantage la personne qui téléphone au rayonnement. Remarquons enfin qu'il n'y a rayonnement que lorsque le téléphone émet, et

par conséquent pas lorsque l'appareil est en veille. Par ailleurs, le rayonnement diminue fortement lorsque l'on s'éloigne du téléphone.

Le rayonnement (à haute et à basse fréquence) est surtout élevé à proximité de la source de rayonnement, par conséquent près de l'antenne du téléphone. C'est pourquoi la tête (zone de l'oreille) est exposée à une intensité de rayonnement relativement élevée, puisqu'on tient le portable collé à l'oreille lorsque l'on téléphone.

## Approfondissement 9

### Les règles de l'OFSP pour une utilisation raisonnable du portable



Publiée en mai 2010, une vaste étude internationale (Etude Interphone) consacrée à la relation entre tumeurs du cerveau et utilisation du portable n'a constaté aucune élévation du risque de tumeur en cas d'utilisation régulière ou d'utilisation sur une période de plus de 10 ans. C'est uniquement pour les utilisateurs intensifs, qui présentent la plus longue durée de conversation cumulée, qu'il y avait de faibles indices d'une augmentation de la fréquence des tumeurs.

Les auteurs de l'étude remarquent cependant qu'en terme d'utilisation intensive du portable, les résultats ne permettent pas de tirer des conclusions définitives et fiables pour les raisons suivantes: parce que les patients atteints d'une tumeur ont tendance à surestimer leur utilisation du portable et parce qu'il n'existe aucune relation établie entre la dose et l'effet.

En raison de ces incertitudes dans l'interprétation de l'étude, il n'est pas possible de tirer des conclusions définitives sur la relation entre utilisation du portable et tumeurs du cerveau. Mais pour celui qui

entend limiter son exposition à titre préventif, l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) recommande les mesures suivantes:

- Ne téléphonez JAMAIS pendant que vous conduisez un véhicule, même avec un kit mains libres (illustration 45)!
- Utilisez un kit mains libres (écouteurs / oreillette avec ou sans fil) pour réduire la charge absorbée par la tête.
- Lors de l'achat du téléphone, veillez à ce que la valeur TAS soit faible.
- Soyez bref lors de vos conversations ou préférez les SMS. Ceci est spécialement recommandé aux enfants et aux adolescents.
- Dans la mesure du possible, ne téléphonez que si la liaison est bonne.
- Attention aux accessoires de protection censés réduire le rayonnement. Ils peuvent altérer la qualité de la liaison et donc forcer le téléphone à émettre plus fortement.
- Les porteurs d'implants médicaux actifs devraient respecter une distance de 30 cm entre le téléphone mobile et l'implant.



45 Campagne de prévention de TCS et de Renault



## Questionnaire

1. Explique quelles sont les sortes de rayonnement dans le spectre électromagnétique.
2. Que comprends-tu sous le terme de rayonnement ionisant?
3. Explique l'effet du rayonnement ionisant et du rayonnement non ionisant sur le corps humain.
4. Explique la différence entre l'énergie et l'intensité du rayonnement électromagnétique.
5. Pourquoi est-il beaucoup plus difficile d'étudier les effets du rayonnement électromagnétique d'un portable sur le corps humain que les effets d'un rayonnement d'origine radioactive?
6. Que comprends-tu sous le terme de valeur TAS d'un portable?
7. De combien de degrés centigrades un portable présentant une mauvaise valeur TAS de 2 W / kg réchauffe-t-il en une heure un kilogramme d'eau se trouvant dans un récipient isolé, sachant que la totalité du rayonnement est absorbée? Eau:  $4182 \text{ W} \cdot \text{s} / (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
8. Quels types d'utilisation du portable présentent-ils le plus grand danger pour la santé humaine?
9. Décris l'exposition au rayonnement représentée sur l'illustration du chapitre, à la page 26. Quelles sont les sortes de rayonnement qui sont particulièrement nuisible à l'être humain?



## Suggestions et expériences

- Compare la construction et l'exposition au rayonnement de deux appareils à micro-ondes: le portable et le four à micro-ondes. Pour ce faire, rends-toi sur le site Internet de l'Office fédéral de la santé publique.

*Tu trouveras les liens correspondant dans la version interactive sous [www.swisscom.com/portable-en-action](http://www.swisscom.com/portable-en-action)*

## Crédits photographiques

P. 5, Illust. 1/2: Wikimedia Commons  
P. 5, Illust. 3: WonderHowTo  
P. 6, Illust. 4/5: Wikimedia Commons  
P. 7, Illust. 6: Fotolia  
P. 7, Illust. 7/8: Peter Raeber  
P. 8, Illust. 9: Peter Raeber  
P. 8, Illust. 10: Wikimedia Commons  
P. 8, Illust. 11: Peter Raeber  
P. 11, Illust. 13 – P. 13, Illust. 23: Peter Raeber  
P. 14, Illust. 24: Texas Instruments  
P. 14, Illust. 25 – P. 15, Illust. 28: Peter Raeber  
P. 16, Illust. 29/32: LerNetz SA  
P. 16, Illust. 30: Wikimedia Commons  
P. 16, Illust. 31 – P. 19, Illust. 33: Peter Raeber  
P. 19, Illust. 34: Office fédéral de la communication  
P. 20, Illust. 35 – P. 22, Illust. 38: Peter Raeber  
P. 23, Illust. 39: Office fédéral de la communication  
P. 24, Illust. 40 – P. 28, Illust. 44: Peter Raeber  
P. 29, Illust. 45: European Commission, Research Directorate General  
P. 29, Illust. 46: Police municipale de Zurich et Winterthur

## Impressum

### Editeur

Swisscom SA, Berne, [www.swisscom.com](http://www.swisscom.com)

### Concept pédagogique et réalisation

LerNetz SA, Berne et Zurich

Direction du projet: Andreas Hieber / Tim Leu

Auteur: Hans Kammer

### Illustrations

Peter Raeber (illustrations techniques)

gut & schön (illustrations des chapitres)

### Relecture et corrections

Agathe Schudel (Sprachfest)

Monika Wyss (Testudo Sàrl)

### Environnement pédagogique interactif

Tim Leu, conception (LerNetz SA)

Daniel Vuille, réalisation technique (LerNetz SA)

### Traduction en français

Olivier Pauchard

### Conception du design et Layout

gut & schön, Zurich, [www.gutundschoen.ch](http://www.gutundschoen.ch)

### Copyright

Tout droit réservé

© 2012 Swisscom SA

### Support technique pour des expériences:

[portable-en-action@lernetz.ch](mailto:portable-en-action@lernetz.ch)

Editeur

Concept pédagogique et réalisation





Swisscom SA  
Corporate Responsibility  
Alte Tiefenaustrasse 6  
3050 Berne