

# Télécommunications et Topographie

■ Mathieu KOEHL - Jacques MICHEL

*Une barre vient d'être franchie dans le domaine de la haute technologie : la planète compte plus de cinq milliards de téléphones portables, ou plutôt de cartes SIM<sup>1</sup> ! Les télécommunications restent des facteurs de développement majeurs et des enjeux internationaux stratégiques. Mais qu'en est-il des télécommunications dans le domaine de la topographie ? La tribune des spécialistes qui s'est tenue lors des Journées de la Topographie<sup>2</sup> à l'INSA de Strasbourg a essayé de faire le point sur les bénéfices à tirer de ces évolutions dans nos activités professionnelles.*

Un petit rappel sur les principes physiques de la transmission d'informations nous permet dans un premier temps d'appréhender la complexité de la télécommunication dans ses principes les plus communs. Un historique sur les progrès réalisés dans l'instrumentation topographique permet ensuite de montrer la progression et l'importance des télécommunications dans les instruments et procédés topographiques mis en œuvre. Car, depuis quelques années, ces technologies de la télécommunication que seuls des initiés maîtrisent encore, envahissent également le domaine de la topographie. Même si les sigles et dénominations nous paraissent communs, car faisant partie de notre quotidien, il peut nous paraître moins évident de décrire chacune des technologies mises en œuvre dans telle ou telle opération ou tel ou tel instrument de mesure. Cet article doit permettre de nous fournir quelques repères dans la jungle des télécommunications où Bluetooth, Wi-Fi, GSM, WiMAX, EDGE, GPRS, 3G+, GSM, ADSL et d'autres encore se disputent la vedette.

## Principes physiques de la transmission de l'information

Que doit-on transmettre ? Comment peut-on transmettre une information ? Comment échanger des informations ? Quelles sont les solutions techniques disponibles ? Cette première partie se propose de répondre à ces quelques questions essentielles reprenant ainsi les principes physiques de la transmission<sup>3</sup>. En partant du principe qu'une informa-

tion peut être caractérisée par la probabilité de l'existence d'une énergie à un instant  $t_0$  en un lieu  $X_0$ , transmettre une information revient donc à déplacer cette énergie du lieu  $X_0$  vers un lieu  $X_1$ , et ceci de manière presque instantanée. Quelle est alors l'énergie utilisable ? L'énergie mécanique ne semble pas très adaptée car sa vitesse de déplacement est limitée. Par contre, l'énergie électromagnétique (ondes EM) possède des caractéristiques de vitesse et de transmission à travers les matériaux bien adaptés, même si les pertes peuvent être importantes. Il s'agit alors de distinguer le signal du bruit reçu au niveau d'un récepteur, à l'autre bout de la chaîne de transmission. Le signal correspond à l'énergie portant l'information utile, le bruit correspondant à l'énergie portant de l'information non utile dans ce cas, et pour que le récepteur puisse profiter de l'information, il faut que le signal  $S(X, t)$ , ou énergie informative, soit plus important que le bruit  $B(X, t)$ , ou information locale "parasite".

Les pertes énergétiques en cours de transmission jouent donc un rôle fondamental lors d'une transmission. En effet, de ces pertes dépend la puissance d'émission nécessaire pour vaincre le bruit à la réception. Dans une liaison radio, par exemple, il y a une perte d'environ 20 dB en passant d'un éloignement de 1 mètre à 10 mètres, et à chaque décade de plus la puissance est divisée par 100 ! Par contre dans un bon câble, il y a une perte de 3 dB/km, c'est-à-dire que tous les km la puissance du signal est divisée par 2. Pour réduire ces pertes, la transmission peut donc être

améliorée en guidant les ondes EM, notamment à travers des câbles ou des fibres optiques. Les exemples donnés plus haut nous amènent très rapidement au premier dilemme : pour limiter la puissance d'émission, il faudrait choisir une transmission filaire (par câble), mais un câble est très astreignant pour l'utilisateur, notamment sur le terrain. La liaison radio (sans fil) est ainsi souvent privilégiée pour satisfaire avant tout les contraintes liées aux utilisateurs, mais il s'agit alors de gérer le bilan de puissance (entre Signal et Bruit) au niveau du récepteur.

Le temps intervient également dans le choix de solutions de transmission. Du point de vue de l'information à transmettre, la théorie de l'échantillonnage de C. Shannon<sup>4</sup>, montre que l'information peut être reconstruite à partir de petits morceaux d'information (échantillonnée au cours du temps). En codant l'information dès l'acquisition il est possible de la transmettre en toute sécurité en y ajoutant des codes d'erreurs et ceci afin de pallier les problèmes de réception. Mais le temps influe aussi par le type d'application utilisant une transmission. En effet, alors que certaines applications auront besoin d'une transmission en temps continu ou temps réel (pilotage, téléphonie), d'autres pourront se contenter d'une transmission, par paquets, en temps différé (Internet). Ces deux aspects ont conduit aux développements de deux solutions techniques : les transmissions de type "téléphonie" (GSM) utilisant le principe de temps réel et les transmissions de type "réseaux informatiques" (Wi-Fi) utilisant le temps différé. Compte tenu des progrès techniques permettant d'accroître le débit d'information, il est parfois possible d'envisager de proposer les mêmes services sur ces deux types de réseaux ajoutant à la confusion des utilisateurs. Les notions sont introduites. Passons maintenant à quelques aspects techniques.

(1) Chronique économique du 14 juillet 2010, Dominique SEUX, France Inter

(2) Journées de la Topographie du 22 au 24 septembre 2010, INSA de Strasbourg

(3) Présentation de Jacques Michel, enseignant-chercheur, Laboratoire InESS, Strasbourg

(4) [http://www.cours.polytmt.ca/ele3700/Documents/docu\\_syn\\_chIII.pdf](http://www.cours.polytmt.ca/ele3700/Documents/docu_syn_chIII.pdf)

## Aspects techniques de la transmission

Pour déplacer une énergie, il faut un vecteur : en électricité, on utilise le vecteur de Poynting (couple  $E, H$  – champ électrique, champ magnétique). Une onde sinusoïdale simple quant à elle est caractérisée par trois entités : l'amplitude, la fréquence et la phase à l'origine. Pour transmettre l'information, il faut choisir l'une des caractéristiques qui va être modifiée selon l'information, c'est la modulation (*AM* : *Amplitude Modulation*, *FM* : *Frequency Modulation*, *PM* : *Phase Modulation*). Une information peut alors se caractériser par un signal apériodique correspondant à un intervalle de fréquence encore appelé Bande passante (BP). Mais l'espace des fréquences disponibles est limité physiquement, l'augmentation du nombre de voies de transmission imposerait donc une réduction des bandes passantes qui impliquerait selon C. Shannon une réduction du débit d'information. Pour répondre au dilemme Bande passante - débit, les innovations portent sur de nouveaux types de modulations qui, à débit donné, augmentent les rapports Signal/bruit (S/B) tout en réduisant la Bande passante. Ainsi parle-t-on aujourd'hui de modulations OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) et de Modulation FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). Pour finir, il faut définir des protocoles de transmission permettant la gestion des échanges réciproques, entre plusieurs millions de terminaux de mêmes technologies. Des protocoles comme le CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) – Ethernet - et le CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) – Wi-Fi – sont ainsi définis et normalisés.

## Synthèse et compromis techniques

La transmission nécessite donc d'accorder entre la source et le récepteur les caractéristiques suivantes du vecteur d'échange :

- L'information est posée sur le vecteur (modulation et Fréquence centrale ( $F_c$ )),
- Pour limiter les erreurs, le rapport S/B doit être élevé (typiquement 30 à 50 dB),
- Le maintien du rapport S/B doit être compensé par l'augmentation de la puissance émise,
- La distance couverte par la transmission réduit la puissance reçue, donc aussi le rapport S/B,
- L'application impose son débit pour un transfert en temps réel,
- Pour limiter les erreurs, il faut contrôler le débit en accord avec la Bande passante,
- L'échange proprement dit doit partager le même protocole.

En fonction des contraintes, des matériels, des applications, de nombreuses normes ont été fixées pour répondre aux besoins de chacun. Les plus connues et les plus utilisées sont les réseaux "téléphoniques" et les réseaux "informatiques". Ces deux moyens sont résumés respectivement dans les tableaux 1 et 2 suivants.

## Les télécommunications en topographie

Pour reprendre les aspects évoqués en introduction concernant la téléphonie mobile, une autre révolution liée aux télécommunications est en cours : c'est l'explosion de l'Internet sur appareil mobile. Un téléphone mobile sur dix est branché sur la "Toile" aujourd'hui, et ce chiffre augmente tous les jours. Les ordinateurs de bureau ou personnels appartiendront peut-être bientôt au passé.

L'autre évolution concerne l'explosion du nombre d'appareils interconnectés par l'intermédiaire de cartes SIM (*Subscriber Identity Module*), pas uniquement des téléphones mais également des machines. D'ici à dix ans, Ericsson<sup>5</sup> estime d'ailleurs qu'il y aura 50 milliards d'appareils connectés sans fil : des distributeurs de boissons pour le suivi des consommations, des véhicules pouvant être suivis à la trace, des panneaux publicitaires numériques mis à jour à distance, des compteurs électriques intelligents, et bien sûr des instruments topographiques. L'imagination des ingénieurs ne connaît pas de limite.

## Entrée en jeu de la communication

En topographie, d'un point de vue historique, l'entrée en jeu de la communication s'est faite par la technologie radio avec des stations totales, robotisées s'orientant vers des prismes réflecteurs connectés par radio, ou pilotées par des contrôleurs à distance (notamment montés sur les cannes porte-prisme)<sup>6</sup>. La radio est ensuite utilisée avec les technologies GNSS, en mode différentiel, pour la transmission des données entre les "pivots" et les "mobiles" permettant des positionnements en temps réel. Le Bluetooth a également trouvé des applications en topographie, il a notamment permis de s'affranchir de câbles dans des configurations mobiles où le contrôleur est utilisé pour le pilotage, à courte distance, d'un récepteur GNSS ou d'une station totale. Dans le domaine du GNSS, le réseau Internet joue également un rôle fondamental. Il est à l'origine de progrès remarquables, notamment dans le transfert de données vers ou à partir des stations fixes et permanentes, mais également des transferts de données à partir de stations mobiles. Ces trans-

Tableau 1. Caractéristiques des réseaux "téléphoniques"

Application	Support	Bande passante	Débit	Modulation	Portée maxi.
Téléphonie filaire (RTC)	2 fils	[300 3400] Hz	54 kbits/s	Sans	1000 km
Internet filaire ADSL (sur RTC)	2 fils	[0.015, 20] MHz	0.2 à 20 Mbits/s	16-QAM (AM+PM)	7 km
Téléphonie numérique (GSM)	900/1800 MHz	200 kHz	14,4 kbits/s	GMSK	15 km
Téléphonie numérique (GPRS)	900/1800 MHz	200 kHz	171 kbits/s	GMSK	15 km
Téléphonie numérique (EDGE)	900/1800 MHz	200 kHz	384 kbits/s	8-PSK	10 km
Téléphonie numérique (3G+)	1,9 / 2,1 GHz	5 MHz	2 Mbits/s (commercial)	QPSK ou 16-QAM	10 km



**Tableau 2. Caractéristiques des réseaux “informatiques”**

Application	Support	Bande passante	PIRE*	Débit	Modulation	Portée maxi.
WiMax IEEE 802.16.xx	3.5 GHz	2 MHz	2 ou 20 W	4.5 Mb/s	OFDM Protocole CSMA/CA	15 km
WiFi IEEE 802.11.xx	2.4 GHz	20 MHz	100 mW	54 Mb/s	FHSS Protocole CSMA/CA	100 m
Bluetooth IEEE 802.15.1à4	2.4 GHz	1 MHz	2.5 mW	1 Mb/s	GFSK Protocole CSMA/CA	10 m
ZigBee IEEE 802.15.4	868 MHz	5 MHz	1 mW	20 kb/s	DSSS Protocole CSMA/CA	10 m

\* Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente

missions reposent dans ce cas sur des technologies GPRS. Les corrections GNSS, mais également les systèmes de référence et beaucoup de paramètres de calcul peuvent ainsi être transférés dans les deux sens pour permettre des déterminations de positions plus précises et en temps réel. Un autre utilisateur distant peut d'ailleurs également se connecter au même réseau pour consulter les données à travers des interfaces accessibles directement par des applications web, mais également pour connaître l'état du réseau, procéder à des calculs de post-traitement en ligne, par exemple.

Les instruments utilisent aujourd'hui une combinaison de moyens de communication (Radio, Bluetooth, GPRS, etc.). Un même contrôleur est utilisé pour communiquer et piloter une station totale robotisée ou une antenne GNSS et de transmettre les données vers des calculateurs centralisant les mesures et effectuant les traitements.

Le Wi-Fi apporte également des possibilités de connexion à des sites web à partir d'outils ou d'ordinateurs mobiles. Les réseaux eux-mêmes ont fortement évolué, notamment dans le domaine GNSS où les stations permanentes forment des réseaux de stations transmettant des données, des positions, des corrections ainsi que des paramètres de calculs à tout autre récepteur connecté.

## Et demain ?

Demain, toutes ces technologies seront intégrées et accessibles à partir de toutes les plate-formes imaginables. Le contrôleur est déjà un terminal permettant de se connecter au réseau internet et donc de télécharger toutes

les données nécessaires à partir des serveurs distants (dont des serveurs cartographiques spécifiques, des géoportails, le portail géofoncier de l'Ordre des géomètres-experts, par exemple). ces serveurs proposeront des plates-formes sous forme de systèmes d'information géographique offrant des interfaces de consultation, d'intégration, d'échange, de visualisation et de traitement de données à distance et en temps réel. Les données mesurées sur le terrain pourront directement être visualisées dans des environnements proposant les données déjà existantes, téléchargeables à partir de serveurs dédiés, et permettant de détecter les zones à mettre à jour tout en caractérisant les méthodes à mettre en œuvre. Les moyens de communication permettront de généraliser un travail en temps réel en améliorant les méthodes de synchronisation entre les bases de données existantes, les mesures de terrain, les traitements au bureau, le tout à travers des plate-formes web, par exemple. Ces méthodes sont déjà mises en œuvre dans le cas d'auscultation en continu d'ouvrage d'art : les instruments sont programmés pour mesurer automatiquement ou sont contrôlés à distance, les données sont transférées automatiquement puis traitées en suivant des protocoles pré-paramétrés. Les résultats sont consultables à distance à partir de n'importe quel terminal autorisé, les alertes sont envoyées automatiquement en cas de détection d'un comportement anormal de l'une des structures surveillées, etc. Les terminaux évoluent également : les technologies nouvelles permettent aujourd'hui d'installer des logiciels sur

tout type de plate-formes comme des Smartphones, PDA, contrôleurs spécifiques, tablet-PC et ceci avec quasiment tous les systèmes d'exploitation existants. Enfin, l'assistance à l'utilisateur est en passe de prendre un nouvel élan. En effet, tout comme pour un ordinateur connecté à un réseau, les technologies de télécommunication permettent de prendre le contrôle d'un instrument à distance pour apporter une aide à l'opérateur en cas de mauvais fonctionnement ou de problème de configuration, voire pour en assurer une formation à l'utilisation.

## Conclusion

Comme nous venons de l'entrevoir, les télécommunications prennent une importance croissante dans tous les domaines utilisant des technologies de pointe et notamment en topographie. Les télécommunications permettent l'interconnexion des terminaux de pilotage et de contrôle, des instruments de mesure et d'acquisition de données, des calculateurs et stations de références, des serveurs de données et d'applications en offrant à tout utilisateur de nouvelles méthodes de travail, de contrôle et d'exécution. Bien d'autres restent encore à inventer, à définir et, pour celles qui existent à faire évoluer. ●

## Contacts

### Mathieu KOEHL

Spécialité Topographie - INSA de Strasbourg  
mathieu.koehl@insa-strasbourg.fr

### Jacques MICHEL

Laboratoire INESS - Université de Strasbourg

(5) Ericsson est leader mondial sur le marché des technologies de télécommunication et des services aux opérateurs. <http://www.ericsson.com/fr/>

(6) Présentation de Hicham Biar : Trimble France

(7) Présentation de Farouk Kadded : Leica Geosystems France