

La gestion de flotte de véhicules par GPS et GSM

STÉPHANE SOLEILHAVOUP ⁽¹⁾

Le GPS, c'est l'aide à la navigation pour les automobilistes. Le GSM et le GPRS, le téléphone « portable »... Mais encore ? Petit retour sur les réseaux satellite et cellulaire, avant l'exploitation, en bac pro SEN, d'un boîtier qui combine ces technologies pour communiquer et centraliser les données de géolocalisation issues d'une flotte de véhicules.

La géolocalisation

Les transports routiers représentent un secteur clé de l'économie, à la croissance ininterrompue indissociable de celle de l'économie et de l'internationalisation des échanges, notamment au sein de l'Union européenne. Mais cela ne va pas sans poser de problèmes, de plus en plus préoccupants à mesure que s'intensifie le

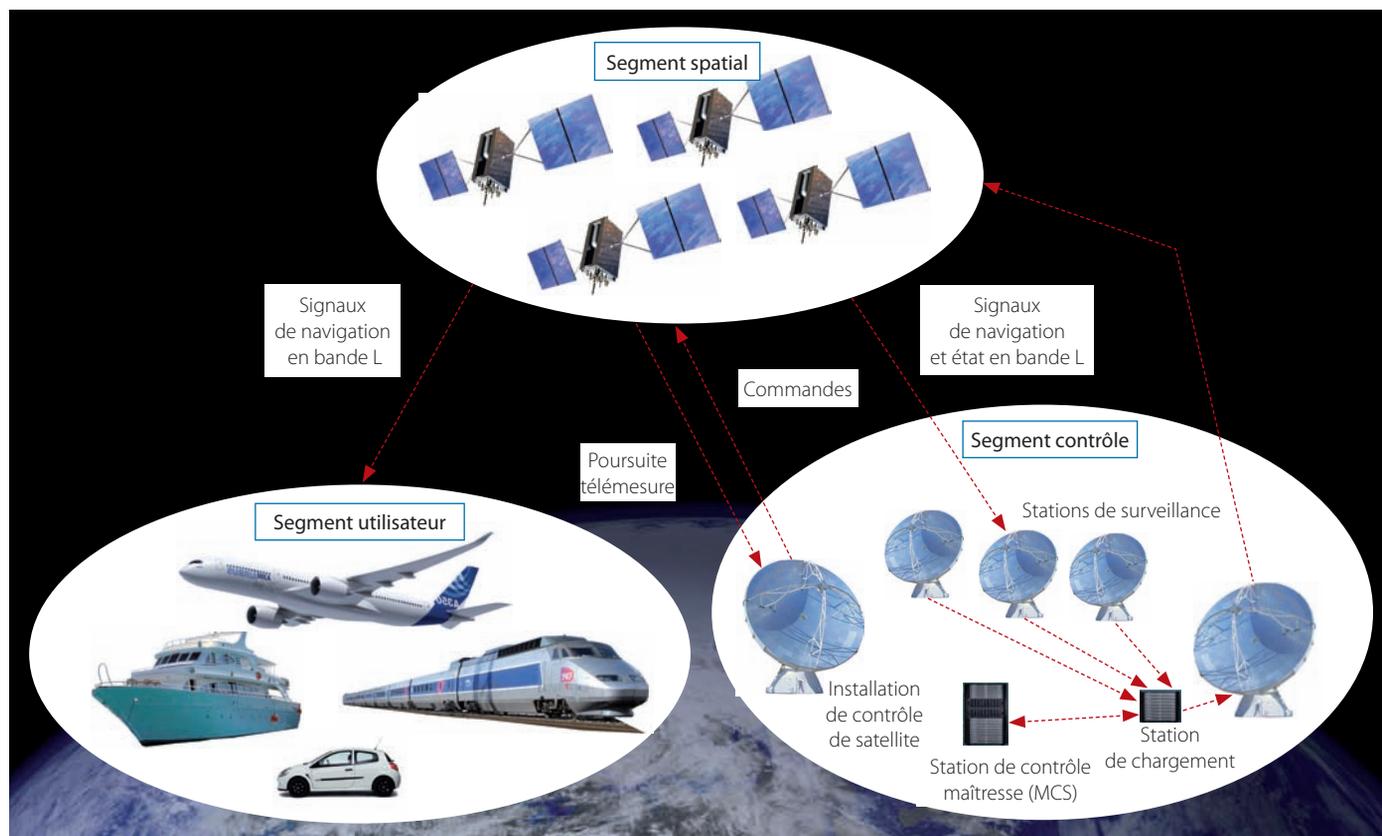
⁽¹⁾ Professeur au lycée professionnel Georges-Cabanis de Brive-la-Gaillarde (19).

mots-clés
logiciel, système

trafic : encombrement des grands réseaux routiers et des zones urbaines, effets négatifs sur l'environnement et la santé publique, accidents. Des mesures urgentes s'imposent pour améliorer la sûreté et les performances des transports.

Les technologies de l'information et de la télécommunication (TIC) y contribuent d'ores et déjà, en rendant les véhicules plus intelligents, plus communicants, en proposant des services télématiques de plus en plus élaborés, notamment par l'alliance des technologies GPS et GSM.

Naguère, le GPS (*Global Positioning System*) servait essentiellement d'aide à la navigation pour les automobilistes, se bornant à indiquer la position et le trajet à suivre. Son association avec le GSM (*Global System for Mobile communication*) permet la communication vers l'extérieur des informations relatives à la position des véhicules, et donc la gestion d'une flotte de véhicules.



1 La structure du système GPS

(première partie)

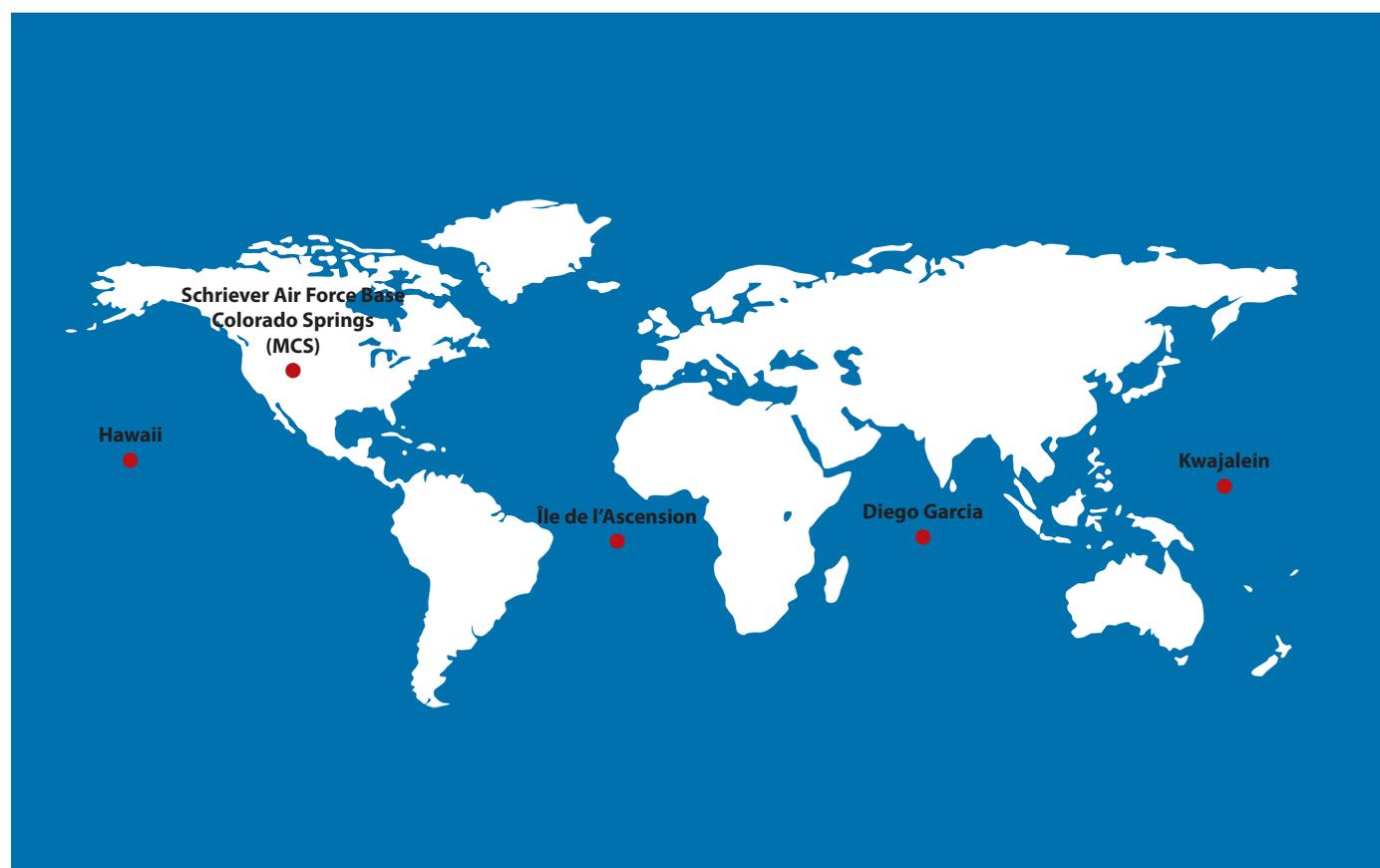
Les systèmes de géolocalisation GSM/GPS reposent sur le principe suivant : Une demande d'information est adressée par le biais du réseau GSM. Le récepteur GPS à bord du véhicule calcule en temps réel la position de ce dernier et renvoie l'information par le réseau GSM central ou par le réseau GPRS (*General Packet Radio Service*). L'affichage de la position du récepteur, et donc des coordonnées du véhicule, peut se faire soit directement sur le récepteur GPS s'il est équipé d'un écran, soit sur l'écran d'un micro-ordinateur à l'aide d'un logiciel approprié (c'est le cas de l'application que nous étudierons).

Le GPS

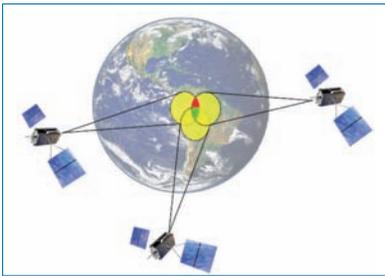
Mis en œuvre dès les années 1970 par l'armée américaine, le GPS est un système de positionnement par satellites capable de donner une position n'importe où



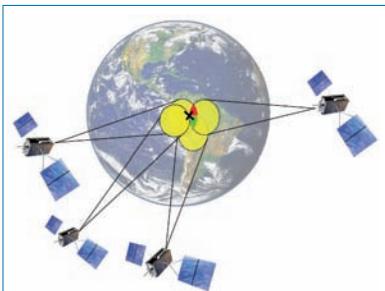
2 Le satellite Navstar



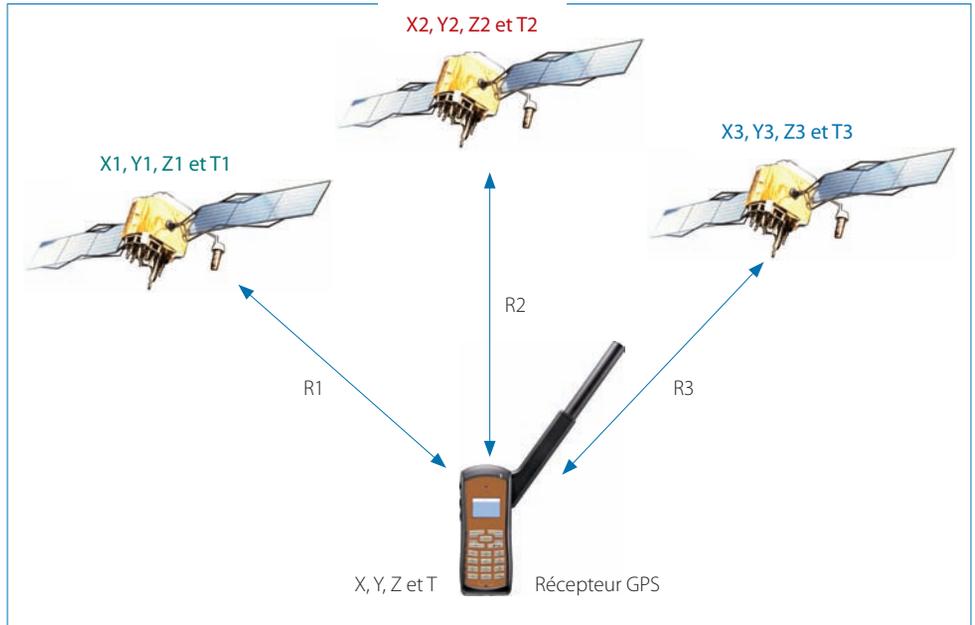
3 Les stations de surveillance au sol



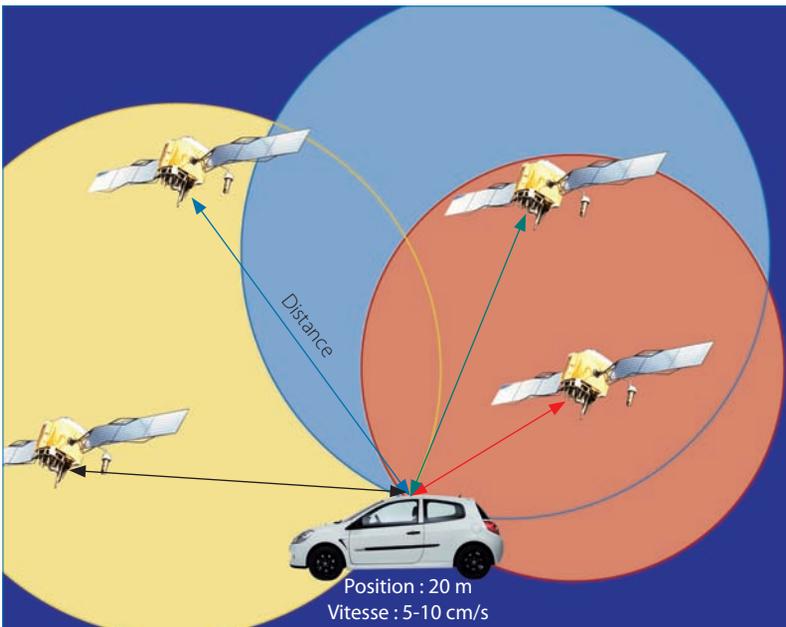
4 L'intersection donne la position



6 Un quatrième satellite est nécessaire pour connaître l'altitude



5 Les coordonnées des satellites



7 L'évaluation de la vitesse

sur le globe, absolue, instantanée, en temps réel, avec une précision de quelques mètres, de jour comme de nuit, et quelles que soient les conditions météorologiques.

Que ce soit sur terre, sur mer, dans les airs ou dans l'espace, ses performances excellentes et le faible coût du récepteur en font un instrument de navigation très prisé. Mais son signal ne traverse pas les murs ; il est donc impossible de se localiser dans un tunnel, par exemple. De plus, certaines zones géographiques ne sont pas couvertes.

Autre inconvénient, le GPS est entièrement sous contrôle du ministère de la Défense des États-Unis, qui, jusqu'en

2000, dégradait volontairement le signal en cryptant certaines informations (*selective availability*), afin de donner aux forces américaines accès à une précision supérieure à celle dont pouvait bénéficier un usager civil. L'armée américaine se réserve toujours le droit de dégrader l'information, par exemple en cas de conflit.

Une dépendance que d'aucuns jugent insupportable. Mais le GPS n'a pour l'instant pas de concurrent : le système russe Glonass, qui n'a jamais atteint ses objectifs, est exclusivement réservé à un usage militaire, et l'europpéen Galileo, ayant pris beaucoup de retard, ne verra pas le jour avant 2014.

La structure du système

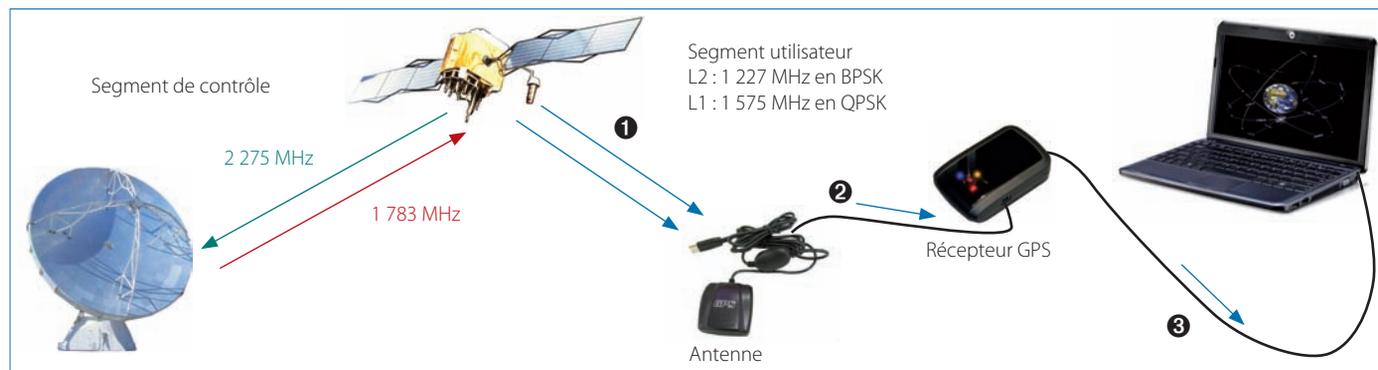
Le système est composée de trois « segments » 1 :

● **Le segment spatial**

Il comprend au moins 24 (31 actuellement) satellites Navstar 2 de 500 à 800 kg répartis sur 6 orbites (≈ 26 600 km de rayon, déphasées de 60°, inclinées à 55° sur le plan équatorial) à une altitude de 20 184 km. Il y a 4 satellites équidistants par plan orbital, et chacun fait le tour de la terre en 11 h 58 min à la vitesse de 3 km/s. Chaque satellite possède une horloge (énergie et précision). Les horloges de l'ensemble de la constellation sont parfaitement synchronisées (précision de 100 ns). Cette répartition spatiale garantit la visibilité en permanence d'au moins 6 satellites, en tout point du globe.

● **Le segment de contrôle**

Il surveille et maintient l'état de chaque satellite. Il est composé de 5 stations 3 de surveillance au sol dont le rôle est de suivre les satellites pour estimer leur orbite, d'ajuster les éphémérides (tables donnant les positions



8 La transmission et la réception du signal GPS

des planètes chaque jour), de modéliser la dérive des horloges et de mettre à jour les paramètres du message de navigation que les satellites diffusent.

La station de contrôle maîtresse, située à Colorado Springs aux États-Unis, traite toutes les informations diffusées par les satellites, y compris les informations de télémétrie. Elle calcule les éphémérides et la dérive des horloges des satellites (référence temporelle). De plus, elle estime les temps de propagation ionosphérique, et calcule les paramètres du modèle de correction.

Ces informations sont ensuite transmises aux satellites de la constellation.

● Le segment utilisateur

Il rassemble l'ensemble des utilisateurs. Il est formé par les récepteurs GPS, qui reçoivent, décodent et traitent les signaux émis par les satellites. Les utilisateurs disposent ainsi d'un moyen unique pour leurs applications de localisation, de navigation, de référence de temps, de géodésie...

Le principe de localisation

Le positionnement simple

Pour effectuer une mesure correcte, un récepteur doit capter les signaux d'au moins trois satellites (triangulation). On définit ainsi des sphères centrées sur des satellites dont l'intersection donne la position **4**.

À intervalles de temps réguliers, chaque satellite envoie son numéro d'identification, sa position et sa hauteur précises par rapport aux coordonnées géographiques terrestres (3 coordonnées), l'heure exacte d'émission du signal. Le récepteur GPS, grâce à son horloge synchronisée sur celle des satellites, détermine le temps que met une onde pour parcourir la distance qui le sépare d'un satellite et la multiplie par la vitesse de la lumière pour en déduire la distance au satellite (pseudo-distance à corriger du fait des perturbations naturelles) **5** :

$$R_i = \text{Vitesse} \times (T - T_i)$$

ou bien

$$R_i = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2}$$

T_i : date d'émission des ondes par le satellite

T : date de réception des ondes

X_i, Y_i, Z_i : coordonnées du satellite

X, Y, Z : coordonnées du récepteur

La latitude et la longitude du récepteur GPS sont alors connues.

Le positionnement en altitude

Pour connaître en plus l'altitude, un quatrième satellite est nécessaire **6**. Plus ce dernier sera proche de la verticale de la position du récepteur, plus l'altitude sera fiable. Un algorithme de calcul affine donc la position 3D en utilisant un maximum de satellites. D'ailleurs, le récepteur indique de lui-même le nombre de satellites en vue, c'est-à-dire utilisables.

Par exemple, un satellite visible au ras de l'horizon sera inopérant pour calculer l'altitude, tandis qu'un satellite à la verticale du point de localisation donnera un mauvais positionnement horizontal. Pour des appareils évolués, le récepteur affiche le positionnement des satellites utilisés, ce qui permet d'apprécier la qualité de l'information calculée. Certains appareils indiquent même la précision de la localisation.

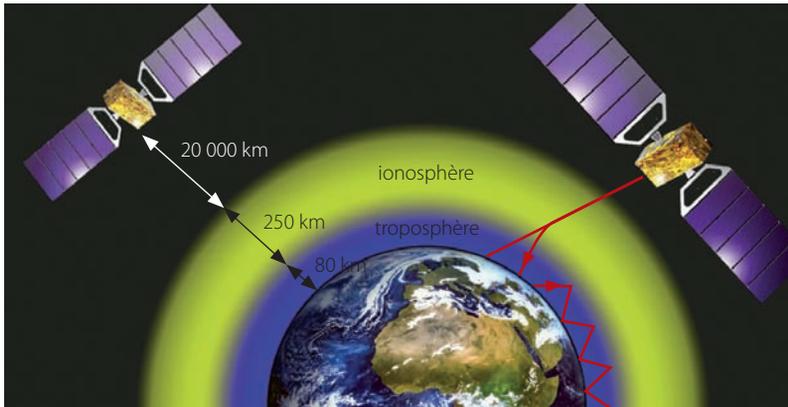
L'évaluation de la vitesse

L'évaluation de la vitesse se fait par mesure Doppler sur le signal provenant d'un satellite **7**. En effet, le signal lorsqu'il est perçu par le récepteur n'a pas exactement la même fréquence que lorsqu'il est généré par le satellite. Suivant le principe Doppler, le rapport des fréquences est fonction des positions et des vitesses relatives du satellite et de l'utilisateur.

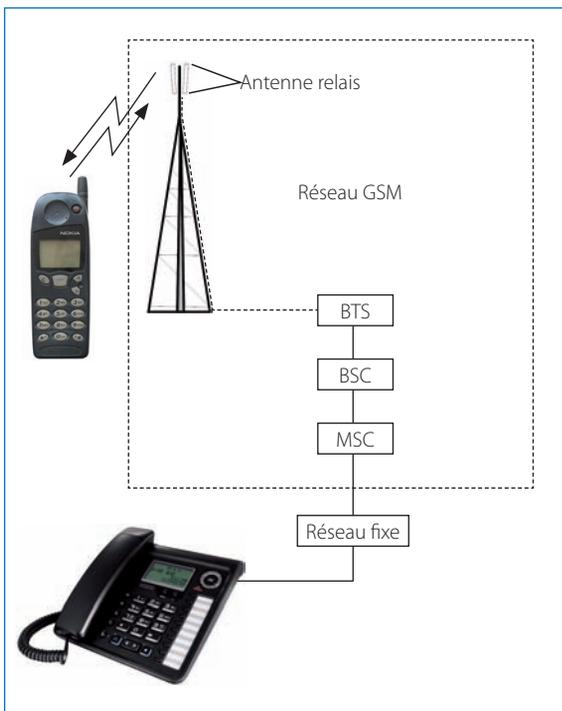
La transmission et la réception du signal

Les satellites émettent simultanément deux ondes radio (ondes porteuses) délivrées par les horloges atomiques sur une fréquence fondamentale de 10,23 MHz. En multipliant cette fréquence par 154 ou 120, on élabore deux fréquences élevées en bande L : L1 = 1 575,42 MHz et L2 = 1 227,60 MHz **8**.

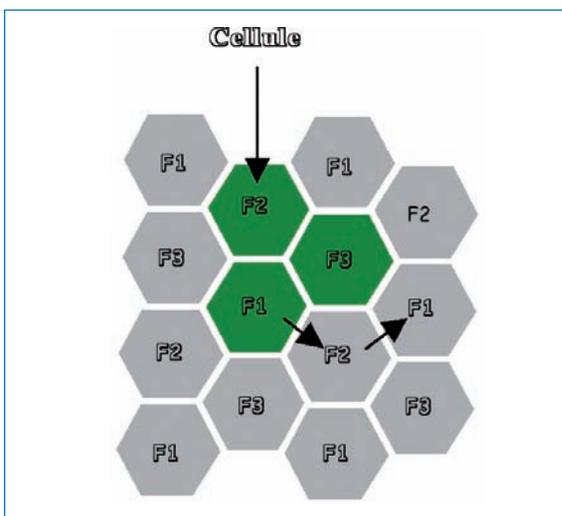
Le choix de la bande dépend en partie du fait que les pertes de propagation en espace libre sont croissantes



9 Les couches atmosphériques



10 Le GSM standard pour les communications de téléphonie mobile



11 Les cellules adjacentes n'ont pas la même fréquence

en f^2 et que la complexité, donc le coût des matériels, croît également avec la fréquence. QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) et BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) sont des modulations de phase.

Ces fréquences ne traversent ni le béton ni un feuillage dense. Il est donc nécessaire que le récepteur soit dans une zone dégagée.

La transmission

Chaque satellite envoie à intervalles de temps réguliers un message de navigation (temps UTC, position satellite, état satellite...). Ce message s'effectue par émission de plusieurs signaux, dont :

- Un message de navigation avec l'almanach du système (état de santé, éphémérides, identification, positions, temps, correcteurs d'horloge, etc.), sur la fréquence L1. Ce message, constitué de 1 500 bits, à 50 Hz (durée 30 s), est appelé trame de communication ;
- Un code dit C/A (*Coarse Acquisition*, acquisition grossière du code du message, pour les utilisateurs civils) au rythme de la milliseconde, permettant la mesure de la distance, et qui module L1. Le code de 1 023 bits est émis à 1,023 Mbits/s et dure donc 1 seconde. C'est ce signal qui, jusqu'en 2000, était dégradé volontairement par ministère de la Défense américain ;
- Un code dit P (*Precise code*) à intervalles longs, réservé uniquement aux utilisateurs privilégiés du GPS. Ce code est émis sur L1 et L2 à une fréquence 10 fois plus grande de 10,23 Mbits/s. Sa durée est de 7 jours. Les clients utilisent des clés de décryptage. La fréquence L2 est exclusivement réservée à l'armée américaine.

Chaque satellite possède ses propres codes C/A et P. Le code C/A est dit modulé par le message de navigation (modulation de phase).

Depuis l'an 2000, le code P est connu (précision de ± 3 m pour les civils sans restriction). Les militaires ont donc introduit un nouveau code anti-brouillage (*anti-spoofing*), le code Y.

La réception

Le récepteur GPS civil connaît le code C/A de tous les satellites. Il effectue une autocorrélation entre le signal reçu et un signal généré en interne.

Enfin, un décodage et une vérification de la cohérence des informations issues du message sont réalisés en interne.

L'extraction et l'exploitation des données

Différents formats, standard ou non, permettent la récupération et l'intégration des données de localisation dans les applications les utilisant directement :

- le format standard Rinex ;

Les systèmes d'amélioration de la précision

Le DGPS

Le GPS différentiel ou DGPS (*Differential Global Positioning System*) utilise une référence au sol qui permet d'améliorer la connaissance de la position du récepteur.

Son principe est basé sur le fait qu'en des points voisins les effets des erreurs de mesure sont très semblables. On place donc un récepteur GPS à un point connu avec grande précision par des moyens géodésiques conventionnels. On lui raccorde un émetteur radio qui envoie la position mesurée. Le mobile à situer possède lui aussi un récepteur GPS, et dispose également d'un récepteur radio et d'un ordinateur. Ce dernier récupère les données fournies par les deux récepteurs GPS, et, la position réelle de celui de référence lui étant connue, il calcule l'écart avec la position mesurée, ce qui lui permettra de corriger la position du récepteur mobile.

Le mode pseudo-différentiel

L'inconvénient du système différentiel, c'est qu'il exige une position de référence précise et bien définie, ce qui implique que tout déplacement de la référence doit faire l'objet d'un nouveau relevé géodésique.

On peut alors agir comme suit : on place le GPS de référence en un point que l'on définit comme référence mais dont on ne connaît pas la position exacte ; le second GPS est toujours équipé d'un ordinateur et d'un récepteur radio, mais le ordinateur n'effectue plus une correction d'après une valeur absolue ; il mesure simplement le déplacement d'un récepteur par rapport à l'autre (soustraction de position). On a donc en sortie du ordinateur une position donnée dans un repère géodésique local qui a pour centre le récepteur GPS de référence. L'erreur est compensée, puisque les deux positions sont entachées de la même erreur.

Ce système est plus souple, puisqu'il ne nécessite plus de position de référence absolue, et moins coûteux.

Egnos

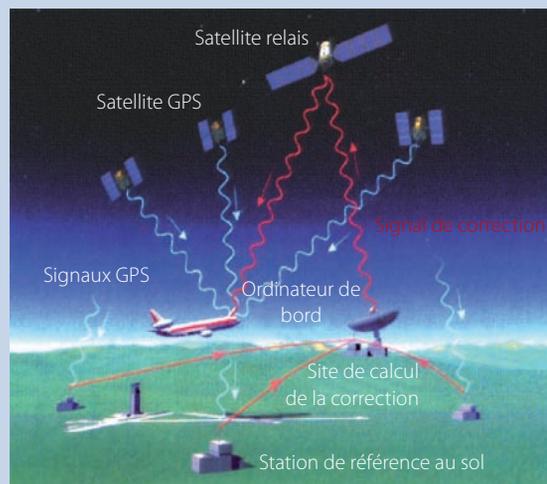
Initialement afin d'améliorer les performances du GPS dans le domaine du trafic aérien, l'Union européenne et l'Agence spatiale européenne (ESA) ont lancé Egnos (European Geostationary Navigation Overlay Service, Service européen de navigation par recouvrement géostationnaire), officiellement ouvert depuis le 1^{er} octobre dernier. C'est la première initiative européenne dans ce domaine, et c'est aussi la première étape de réalisation de Galileo, le futur GPS européen.

Egnos est formé de :

- Trois répéteurs installés dans les satellites géostationnaires (Inmarsat-3 et Artemis).
- Un segment sol composé de 30 stations de télémétrie et de contrôle d'intégrité (capacité du système à détecter une faute ou une panne en cours de navigation), de 4 centres de contrôle principaux et de 6 stations de liaison montante.

Les stations de référence enregistrent en permanence des informations, dont les observations GPS. Les centres de calcul estiment les paramètres de correction du GPS et génèrent les messages qui sont retransmis aux utilisateurs via les satellites de télécommunication.

L'ensemble des messages est diffusé sur la bande L1 utilisée par le GPS, ce qui permet un large recouvrement régional européen.



■ La mesure GPS différentielle

- le format standard NMEA 0183 (celui utilisé pour notre application) ;
- les formats basés sur XML, NVML, POIX, GPSTML... ;
- les formats propriétaires (Garmin, Trimble...).

Les erreurs du signal

Le signal reçu par le récepteur GPS est quelque peu « dégradé », il diffère du signal émis. Les principales sources d'erreurs sont :

- le bruit du canal de transmission ;
- les problèmes de trajectoire des satellites (erreurs d'éphéméride) ;
- les couches atmosphériques (troposphère et ionosphère) 9, qui peuvent retarder ou accélérer les signaux ;
- le décalage temporel dû au temps de propagation et aux décalages des horloges de l'émetteur et du récepteur ;
- le décalage fréquentiel dû à l'effet Doppler et aux instabilités des horloges d'émission et de réception.

Il existe d'autres sources d'erreurs, liées à l'environnement dans lequel se trouve le récepteur :

- le multitrajet, dans un environnement non dégagé de type forêt ou milieu urbain, les arbres ou les bâtiments absorbant, réfléchissant, atténuant ou réfractant le signal ;

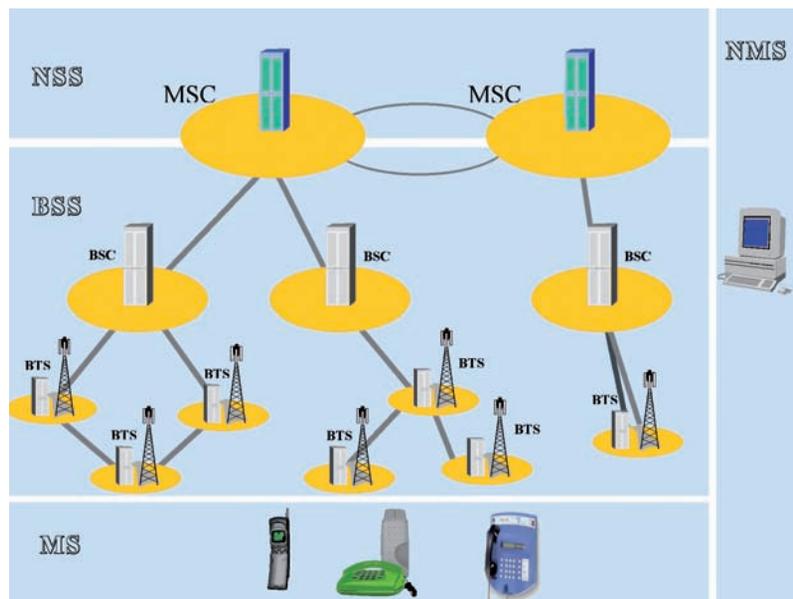
– la diminution de la précision (DOP, *Dilution Of Precision*), due à la configuration géométrique formée par les satellites au moment de la retransmission. Il existe plusieurs types d'indicateurs de qualité pour la position en 3D : HDOP (horizontale), VDOP (verticale), TDOP (temporelle) ;

- la qualité intrinsèque du récepteur GPS.

Pour corriger en partie ces problèmes et améliorer les performances du système, on peut recourir au GPS différentiel ou DGPS (*Differential Global Positioning System*) et, maintenant, à Egnos en Europe (voir en encadré).

Le GSM

Le GSM (*Global System for Mobile communication*) est un standard pour les communications de téléphonie mobile 10. Le GSM permet de transmettre numériquement non seulement la voix, mais aussi des données informatiques (connexion possible à internet, transmission de fax ou de messages électroniques).



12 Les différentes couches du réseau

Aujourd'hui, plus de 3 milliards d'abonnés utilisent le GSM dans le monde.

Le concept de cellules

Les communications GSM nécessitent une installation d'antennes fixes pour l'itinérance et le transfert des informations. L'ensemble de ces antennes définit une zone de couverture propre à l'opérateur.

Chaque antenne définit une cellule. Ces cellules sont de taille variable (de 1 à 35 km pour les macrocellules, de 100 m à 1 km pour les microcellules et de 10 à 100 m pour les picocellules). Chacune possède sa fréquence de communication. Les fréquences étant limitées en nombre, des cellules peuvent utiliser la même fréquence à condition qu'elles soient suffisamment éloignées les unes des autres, pour qu'il n'y ait pas d'interférences (technique SDMA : *Space Division Multiple Access*) 11.

L'architecture du réseau

Un réseau GSM, appelé PLMN (*Public Land Mobile Network*), est composé de plusieurs entités, lesquelles ont des fonctions et des interfaces spécifiques 12 :

- Le système radio mobile (MS, *Mobile Station*) est un équipement terminal comportant une carte SIM permettant d'accéder au PLMN, un téléphone portable, par exemple.
- Le système de gestion radio (BSS, *Base Station Subsystem*) contrôle les liaisons radio qui s'établissent avec le téléphone portable. Il est composé :
 - de BTS (*Base Transceiver Stations*), émetteurs-récepteurs qui s'occupent de la transmission radio et peuvent supporter une centaine de communications simultanées ;

- de BSC (*Base Station Controllers*), qui sont les organes « intelligents » du BSS, et gèrent la ressource radio. Ils commandent l'allocation des canaux, utilisent les mesures effectuées par les BTS pour contrôler les puissances d'émission des mobiles et/ou des BTS et prennent la décision de l'exécution d'un *handover* (transfert inter-cellulaire). Ce sont également des commutateurs qui réalisent une concentration des circuits vers le MSC (voir plus loin).

- Le sous-système réseau (NSS, *Network Switching Subsystem*) permet la connexion d'un mobile vers un autre mobile ou vers un utilisateur du réseau fixe. Il est composé :

- de MSC (*Mobile services Switching Centers*), commutateurs, qui, reliés entre eux, permettent l'acheminement des communications entre mobiles ainsi que la transmission des messages courts (SMS). Ils gèrent la mobilité des usagers ;
- du VLR (*Visitor Location Register*), base de données qui mémorise les données d'abonnement des abonnés présents dans une zone géographique considérée ;
- du HLR (*Home Location Register*), base de données gérant les abonnés d'un PLMN. Il mémorise l'identité internationale de l'abonné utilisée par le réseau (IMSI), le numéro d'annuaire de l'abonné (MSISDN) et le profil de l'abonnement.

- Le système de gestion réseau (NMS, *Network Management Subsystem*) assure la supervision du réseau.

La sécurité des transmissions

La sécurité des transmissions est assurée par :

- un numéro secret pour l'authentification, l'IMSI (International Mobile Subscriber Identity) ;
- un clé d'authentification Ki (128 bits) ;
- une clé de chiffrement Kc (64 bits) ;
- trois algorithmes secrets de chiffrement, A3, A8 et A5.

Les bandes de fréquences

Dans la suite du dossier, l'appellation « réseau GSM » désigne ses deux variantes GSM 900 et DCS 1 800 (également appelée GSM 1 800), qui fonctionnent selon le même principe et offrent les mêmes fonctions. Seule différence, la bande de fréquences, qui se situe autour de 900 MHz pour le GSM 900 et de 1 800 MHz pour le DCS 1 800 13. Dans la plupart des pays, chaque opérateur a reçu une licence pour émettre dans les deux bandes, celle du DCS 1 800 n'étant utilisée que dans les zones à forte concentration d'abonnés où le réseau GSM 900 est saturé.

GSM et géolocalisation

Le moyen le plus simple de localiser un terminal GSM est d'identifier l'antenne relais à laquelle il est connecté, donc la cellule dans laquelle il se trouve (système *cell-ID*,

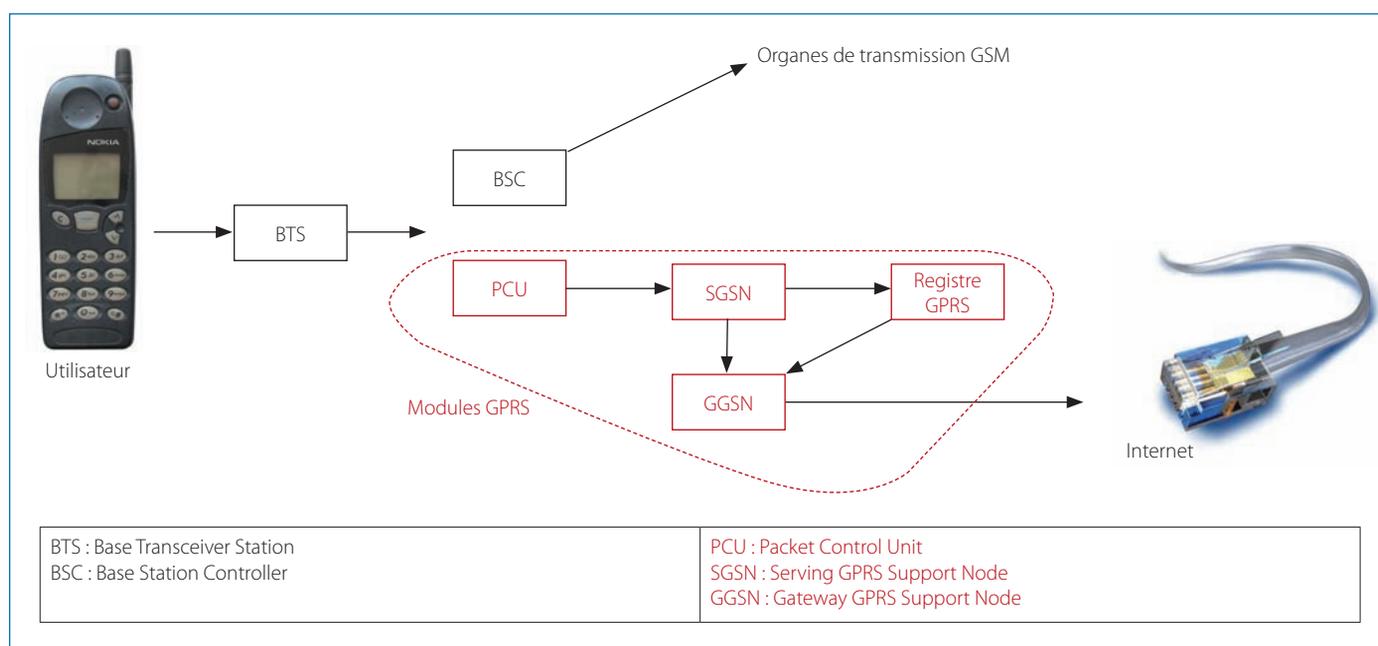
Norme	Voie	Bande de fréquences (MHz)
GSM 900	Montante*	890-915
	Descendante*	935-960
GSM 900 <i>extended bands**</i>	Montante*	880-890
	Descendante*	925-935
DCS 1800	Montante*	1 710-1 785
	Descendante*	1 805-1 880

* Voie montante ou *up-link* : transmission du téléphone mobile vers l'antenne relais

Voie descendante ou *down-link* : transmission de l'antenne relais vers le téléphone mobile

** Appelées ainsi car attribuées à la téléphonie mobile dans un second temps

13 Les bandes de fréquences des réseaux GSM 900 et DCS 1800



14 L'installation de modules GPRS par rapport au GSM

identification de cellule). Par ce principe, un abonné est toujours localisable tant que son téléphone est allumé, et ce, même dans des endroits fermés, avec une précision qui va de quelques centaines de mètres en ville à plusieurs kilomètres en campagne. Des technologies plus sophistiquées, procédant notamment par triangulation, permettent de s'approcher de la précision du GPS, mais elles ne sont pas d'actualité chez les opérateurs français.

Grand avantage du GSM en termes de localisation, c'est aujourd'hui le seul système *indoor* (utilisable dans les espaces fermés, immeubles, gares, aéroports...). De plus, il est à la portée des PME pour un coût peu élevé et pour une mise en œuvre simple : les terminaux et les cartes SIM existants suffisent.

Le GPRS

Les réseaux GSM sont basés sur la commutation de circuit, c'est-à-dire qu'un canal de communication est occupé pendant toute la durée de la conversation entre deux utilisateurs. Ce mode de transmission est parfaitement adapté au transport de la voix, qui est continue,

mais ne convient pas à la circulation de données, qui sont sporadiques. Pour offrir des services de données de meilleure qualité et plus compétitifs a été mise au point une extension du GSM appelée GPRS (*General Packet Radio Service*) ; elle s'appuie sur la technique de transmission « par paquets ».

La technologie GPRS permet d'accéder aux services internet avec un débit efficace maximal de 115 Kbit/s, contre 9,6 Kbit/s pour le GSM, grâce à l'utilisation de multiples canaux radio attribués à chaque utilisateur ou bien partagés entre plusieurs 14. Les ressources radio sont allouées dynamiquement, et la vitesse de transmission varie beaucoup du fait de la souplesse et de l'adaptabilité du mode de transmission par paquets. ■