

Par **Serge Plattard**, *senior resident fellow* à l'Institut européen de politique spatiale (ESPI) et professeur honoraire à l'University College de Londres (UCL)*.

Photo ci-dessus :

Le 21 juillet 2015, un soldat américain utilise un terminal portable *Defense Advanced GPS Receiver* dans le cadre d'un exercice militaire. Mis en place par le département de la Défense américain à des fins militaires, le système GPS a depuis connu un large succès dans le domaine civil, même s'il reste sous le contrôle de l'armée américaine. (© DoD)



Les systèmes de positionnement par satellite : des enjeux stratégiques et économiques

Jamais les concepteurs du GPS n'auraient imaginé l'ampleur de l'utilisation de cet outil, bien au-delà des applications strictement militaires pour lesquelles il a été conçu. Prochain enjeu : trouver les modalités de gouvernance adaptées pour pérenniser et sécuriser un système de systèmes de navigation à la fois civil et militaire, qui comprendra désormais plusieurs systèmes globaux et régionaux.

Pour renforcer leur dissuasion nucléaire, les États-Unis et l'Union soviétique ont, durant les années 1970, développé chacun un système de localisation et de navigation – respectivement le GPS ⁽¹⁾ et le GLONASS ⁽²⁾ – fondé sur l'utilisation d'une constellation de satellites utilisés comme des balises radioélectriques. Cette architecture spatiale permettrait une précision décimétrique si une frappe nucléaire était déclenchée à partir d'un sous-marin nucléaire lanceur d'engins (SNLE). Pour Washington, c'était essentiel pour la composante océanique *Trident* de sa triade nucléaire. Ce choix

fut dicté, entre autres, par une accessibilité permanente des signaux GPS sur pratiquement la totalité du Globe, une protection la meilleure possible contre toute une classe d'agressions électromagnétiques, et l'existence de technologies fiabilisées dans l'espace garantissant la précision recherchée. Celles-ci étaient l'obstacle technologique majeur à surmonter : il fallait pouvoir disposer en orbite d'une base de temps précise, ne dérivant pas de plus de 10^{-13} seconde par jour, ce qui fut possible par l'utilisation d'une horloge atomique au rubidium embarquée dans chaque satellite de la constellation, toutes les horloges



atomiques étant synchrones entre elles. L'autre défi portait sur la détermination à tout instant de la position orbitale de chaque satellite, évoluant à 20 000 km d'altitude, qui devait être connue avec une précision de quelques dizaines de centimètres seulement.

Au milieu des années 1980, les États-Unis démontrent la faisabilité d'un tel système avec un premier bloc de 10 satellites GPS, porté à 15 satellites en 1990, ouvrant ainsi une première série d'applications en matière de défense : amélioration sensible de la précision des systèmes nucléaires centraux, navigation des missiles de croisière, armes guidées, positionnement des troupes sur le terrain, navigation aérienne de combat et de bombardement... Clairement, le pays qui aurait la maîtrise de

gation. La précision visée est de moins de 10 m pour un service standard de localisation. La gestion de ce système est assurée par le ministère de la Défense nationale chinois.

• Le système européen de navigation Galileo, décidé en 2003, a été reconnu comme indispensable pour la souveraineté et la sécurité de l'Union européenne (UE). Des tentatives de coopération avec la Russie, une participation financière chinoise assortie d'un transfert de technologie, et des propositions américaines de collaboration pour éviter le déploiement d'un système concurrent du GPS ont finalement toutes été écartées. Après des difficultés de financement et des accrocs dans le processus de décision à ses débuts, le programme a finalement été financé à 100 % sur des fonds publics de l'UE. La constellation



“ GPS et GLONASS sont devenus désormais des outils complètement intégrés au déploiement des moyens modernes de défense et de sécurité. Ils ont transformé la planification stratégique comme celle des moyens tactiques. ”

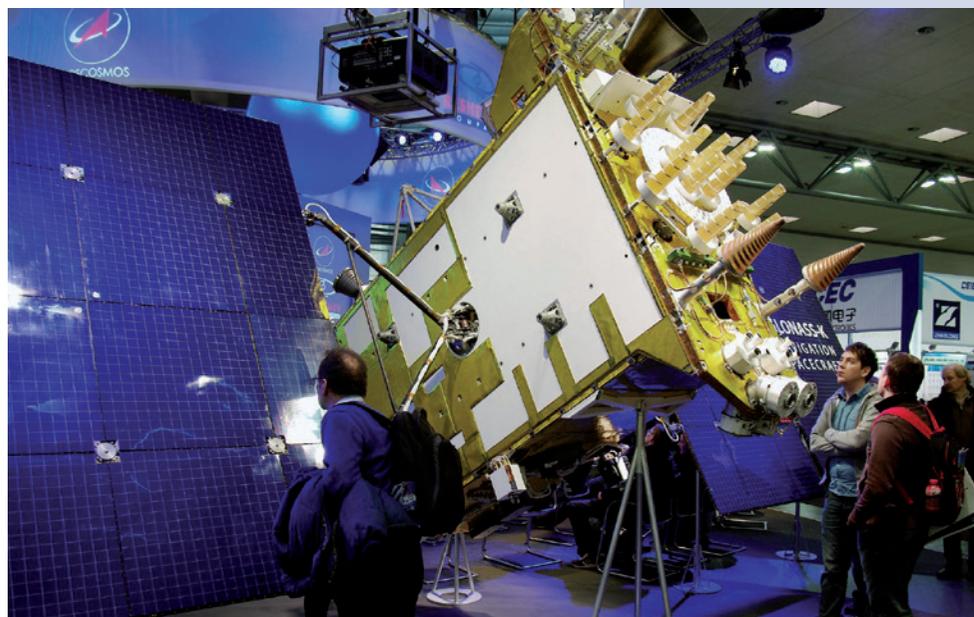
ces moyens de positionnement et de navigation, ou qui pourrait y accéder, acquerrait une supériorité significative dans la conduite des opérations militaires sur celui qui n'en disposait pas ou qui n'avait pas les moyens d'y accéder.

La modernisation continue du GPS et de GLONASS via l'acquisition d'horloges atomiques plus stables, l'utilisation de deux fréquences d'émission au lieu d'une seule ainsi que des versions améliorées d'équipements du segment sol permettent une précision de positionnement sub-métrique. Ces deux systèmes sont devenus désormais des outils complètement intégrés au déploiement des moyens modernes de défense et de sécurité. Ils ont transformé la planification stratégique comme celle des moyens tactiques ; pour sa part, la capacité opérationnelle du GPS dans un conflit fut pleinement démontrée pour la première fois lors de la guerre du Golfe, en 1991, et n'a cessé depuis de se diffuser à tous les niveaux des forces. Ainsi, pendant la deuxième guerre du Golfe, 80 % des armes guidées de la coalition utilisaient le GPS crypté.

De nouveaux systèmes de positionnement, navigation et datation

Au-delà des deux systèmes de navigation fondateurs, héritage de la guerre froide, déclarés complètement opérationnels en 1995, notamment pour les utilisateurs civils, d'autres systèmes à couverture globale (Beidou, Galileo) ou régionale (IRNSS, QZSS) sont en cours de déploiement et devraient être opérationnels autour de 2020.

• Le système chinois Beidou (BDS), développé à partir d'une architecture à vocation régionale, est fondé sur la combinaison de trois constellations de satellites de natures distinctes. C'est l'architecture la plus complexe des systèmes spatiaux de navi-



de 24 satellites est en cours de déploiement, avec normalement 18 satellites en orbite fin 2016, permettant l'ouverture de services initiaux dès la fin de cette année. Elle devrait être complètement déployée en 2018, et portée à 30 satellites (y compris les rechanges) en orbite. Trois services (ouvert, gouvernemental crypté et recherche & sauvetage) seront disponibles dans un premier temps. L'exploitation de Galileo, y compris les moyens d'augmentation de la précision (EGNOS), est assurée par l'Agence européenne de navigation par satellite (GSA). Propriété de l'UE, Galileo est le seul système de positionnement global par satellite sous la responsabilité d'une entité civile.

• Le système régional indien IRNSS (*Indian Regional Navigation Satellite System*) est depuis avril 2016 complètement déployé avec 7 satellites, offrant une précision de localisation de 10 m sur le sous-continent. L'ISRO, l'agence spatiale indienne, assure la gestion de cette constellation. Bien que le GPS soit très largement utilisé en Inde, avec son système d'augmentation GAGAN, l'autorité politique a souhaité disposer de son propre système de positionnement qu'elle peut contrôler de manière autonome au cas où l'accès au GPS serait dégradé, voire lui serait dénié.

• Le système régional japonais QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*) répond à une particularité des grandes conurbations nipponnes, où les rues bordées de constructions de grande taille, véritables canyons urbains, rendent difficile l'acquisition

Photo ci-dessus :

Exemplaire d'un nouveau satellite russe faisant partie du système de positionnement par satellite GLONASS, présenté au salon du CEBIT à Hanovre en 2011. Né à la fin des années 1970 et opérationnel depuis janvier 1996, ce concurrent du système américain GPS possédait en juin 2016 une constellation de 27 satellites. (© Jürgen Treutler)



Enjeux stratégiques



Photo ci-contre :

Vue artificielle en coupe d'une fusée russe *Soyouz* lancée le 24 mai 2016 depuis Kourou en Guyane et transportant le 13^e et le 14^e satellites du système civil global de navigation européen Galileo. Financé par l'Union européenne et développé par l'ESA, Galileo, qui comptera au total 24 satellites, est le fruit de la collaboration de nombreux pays, y compris non européens, tels que les États-Unis, pourtant initialement opposés au projet pour des raisons stratégiques. (© ESA/Pierre Carril)

de signaux de positionnement. D'où la nécessité de disposer d'une constellation permettant à plusieurs satellites d'être en vue directe, pratiquement à la verticale, et en permanence. Un premier satellite, *Mitshibiki*, opérationnel en 2011, a démontré le bien-fondé de ce concept, ouvrant la voie au financement d'une constellation de 7 satellites à terme, calés sur les fréquences du GPS.

Explosion des utilisations civiles, ouverture de nouveaux marchés

Le développement spectaculaire de la mobilité à partir des années 1990 et de celui de la capacité opérationnelle du GPS à usage civil (3), fournissant une couverture mondiale de signaux



ouverts et gratuits, ont préparé une première vague d'applications civiles des GNSS (4), avec les navigateurs à bord des véhicules terrestres. Elle sera suivie 10 ans plus tard d'un raz-de-marée applicatif grâce à l'arrivée des *smartphones* et des tablettes. Les concepteurs du GPS reconnaissent eux-mêmes n'avoir pu imaginer une telle explosion en 30 ans.

Plusieurs raisons expliquent la rapidité de cette évolution : les progrès continus de la miniaturisation électronique qui ont permis aux constructeurs de composants (*chipsets*) d'équiper des récepteurs de moyens de traitement des signaux provenant de différentes constellations GNSS, l'accès multi-GNSS devenant un standard ; la perspective d'une mise en service de nouvelles constellations d'ici 2020 offrant des services plus performants en milieu fortement urbanisé ; et le nombre considérable de services GNSS adaptés à la diversité grandissante de la demande sociétale.

Ces signaux de localisation, navigation et datation sont devenus indispensables au fonctionnement de l'économie, allant des transactions financières et commerciales à la connaissance, à la culture et aux loisirs, en passant par les transports, impactant notre vie quotidienne. En 2015, 4,5 milliards de récepteurs GNSS étaient utilisés, reposant principalement sur GPS et GLONASS, chiffre qui devrait atteindre 8 milliards en 2020 et plus de 9 milliards en 2023 (5). On estime en 2015 à 1,6 milliard le nombre

d'équipements livrés incorporant des puces pour la réception GNSS, dont 87,5 % de *smartphones*, valeurs projetées respectivement à 2,45 milliards et 91,8 % en 2020 (6). Parallèlement à ce marché, celui des applications a également bondi : on peut estimer que sur les 3,3 millions d'applications disponibles sur les cinq principaux sites d'achat d'applications (7), plus de 40 % offrait de l'information de localisation fin 2014 (8). La taille du marché des navigateurs personnels utilisés dans les transports terrestres devrait doubler en volume d'ici 2025 (9). Alors que trois des quatre infrastructures globales sont financées très largement par des budgets de défense et le seront pour longtemps encore, la part des récepteurs militaires et industriels ne représente plus qu'une fraction de pourcent du marché des récepteurs GNSS (10).

La gouvernance des systèmes de positionnement devient nécessaire...

Le maintien et l'amélioration de ces systèmes de navigation, désormais massivement utilisés par plusieurs milliards de personnes, impliquent qu'ils demeurent pérennes et sûrs. C'était relativement simple il y a 20 ans, quand seuls des signaux GPS et GLONASS étaient reçus à des fréquences et sur des modes distincts. À partir de 2020, la situation sera sensiblement différente avec quatre systèmes globaux et deux systèmes régionaux, mettant en œuvre plus de 120 satellites émetteurs et une vingtaine de signaux sur une bande de fréquences étroite. Cette densification des signaux due au nombre de systèmes et à l'ouverture de nouveaux services nécessite de prévenir les risques d'interférence en veillant à la compatibilité des différents systèmes entre eux, mais aussi de pouvoir tirer parti pour l'utilisateur de la multiplicité de signaux en rendant ces constellations interopérables. Autrement dit, pour se localiser ou naviguer, utiliser des satellites d'une même constellation ou de plusieurs d'entre elles devient transparent pour l'utilisateur. À cela s'ajoute le besoin d'intégrité des signaux reçus qui garantissent à l'utilisateur final la véracité de la position affichée, absolument essentielle pour la navigation aérienne et maritime par exemple.

Si ces considérations techniques appellent à un schéma de gouvernance durable, des motivations de nature socio-économiques vont aussi dans le même sens, tant la pression du marché oblige les fournisseurs de signaux GNSS à ce que les récepteurs multi-GNSS deviennent la norme. On pourrait même envisager qu'une réglementation, ou des règles de conduite, soit exigée par la communauté des utilisateurs qui va rapidement représenter plus de 80 % de l'humanité utilisatrice de services spatiaux.

Plusieurs outils préalables à la construction d'une telle gouvernance existent déjà.

- *La Conférence mondiale des radiocommunications* qui se tient tous les 3 ou 4 ans sous l'égide de l'UIT (11) où est décidée l'attribution des fréquences radioélectriques, notamment celles utilisées par les GNSS. L'UIT est garante de la ressource fragile et rare que constitue le spectre électromagnétique.

- *L'ICG (International Committee on GNSS)* dont le secrétariat permanent est assuré par le Bureau des Affaires spatiales de l'ONU, tient une conférence annuelle depuis 2006 à laquelle participent les fournisseurs de signaux GNSS, des experts, des scientifiques ainsi que des observateurs représentant des organisations internationales et des associations professionnelles. Il agit comme un lieu d'échange informel utile pour s'entendre sur des règles du jeu communes, nécessaires à la compatibilité et à l'interopérabilité des systèmes, assurant l'intégrité des



Connaître sa position et naviguer avec un système de positionnement, comment ça marche ?

Le principe consiste à mesurer les distances entre un point fixe situé, par exemple, à la surface de la Terre, et plusieurs satellites simultanément en vue directe. La mesure du temps mis par les signaux émis par ces satellites à parcourir ces distances satellites-point fixe, où se trouve un récepteur GNSS, permet de déterminer celles-ci. La précision de localisation dépend donc de la précision avec laquelle les durées de propagation de ces signaux radioélectriques est mesurée. Une erreur d'une microseconde entraîne une incertitude de position de 300 m. D'où la nécessité : 1°) que chaque satellite de navigation soit équipé d'une horloge atomique permettant de déterminer l'instant d'émission d'un signal GPS avec une incertitude de quelques nanosecondes par jour, et 2°) de connaître à quelques dizaines de centimètres près la position orbitale des différents satellites mesurée dans le même repère que celui du point fixe.

Quatre satellites, au minimum, sont nécessaires pour déterminer la position du terminal utilisateur. Plus le nombre de satellites acquis – pouvant appartenir à différentes constellations – est élevé en un même lieu, meilleure sera la précision des coordonnées de ce lieu. Ce principe est évidemment le même pour mesurer des positions successives dans le temps afin de connaître la trajectoire d'un mobile dont peut être déduite sa vitesse, typiquement avec une incertitude de 0,2 m/s.



signaux, en tenant compte des étapes de modernisation des différentes constellations. Si l'effort concerté est réel parmi les fournisseurs pour aboutir à des sortes de standards, rien de contraignant n'existe à ce stade.

- Les accords bilatéraux pour éviter, par exemple, des interférences sur la nature des signaux utilisés à certaines fréquences. Ainsi l'accord UE-États-Unis de 2004 a-t-il permis de garantir la compatibilité de signaux GPS cryptés avec ceux de Galileo et renforcé les similitudes entre ces deux systèmes.

Pour assurer la cohérence de ce système de systèmes lorsqu'il fonctionnera à plein, trois modèles de gouvernance seraient envisageables :

- un code de bonnes pratiques mis au point par les fournisseurs GNSS puis endossé par la CUPEEA⁽¹²⁾, avant d'être approuvé par l'Assemblée générale des Nations Unies. Cette gouvernance n'est pas pilotée, elle est acceptée et mise en œuvre sur une base volontaire dans l'intérêt de toutes les parties ;

- une organisation inspirée de Cospas-Sarsat⁽¹³⁾, relativement informelle, qui transformerait l'ICG en une instance de coordination avec un minimum de pouvoir de décision, dotée d'une présidence tournante élue, d'un secrétariat, analysant en détail les demandes des utilisateurs ;

- une organisation internationale plus formelle qui aurait l'avantage de rassurer les pays utilisateurs sur la solidité des engagements de bonne conduite des fournisseurs GNSS. Mais devant les lourdeurs inhérentes à ce type d'orga-

nisations, mal adaptées à un nombre limité de membres, six en l'occurrence, il est vraisemblable qu'une telle structure serait rejetée par ces opérateurs de systèmes de positionnement.

... mais reste en attente d'une décision politique

La « guerre » des systèmes de positionnement n'aura donc pas eu lieu, même si des tensions euro-américaines ont existé au début des années 2000 sur la coexistence du GPS et de Galileo, les États-Unis considérant le GPS pratiquement comme une arme, un des atouts de leur suprématie. La recherche d'un consensus durable prévaut aujourd'hui, visant au fonctionnement de ces systèmes en bonne intelligence, nonobstant leurs différents calendriers de modernisation. L'intérêt des fournisseurs de signaux GNSS est de servir une communauté d'utilisateurs la plus large qui soit, et c'est aussi de pouvoir bénéficier à leur tour de toutes les capacités multi-GNSS. Quel que soit le schéma de gouvernance retenu, il devra maintenir une coexistence crédible et durable des différents GNSS, à la fois pour les fournisseurs et pour les utilisateurs. *A priori*, il n'y a pas d'obstacle technique ou juridique pour qu'un corpus ou une instance de gouvernance devienne opérationnel d'ici 2020. C'est la volonté politique, et singulièrement celle des États-Unis et de la Russie, qui permettra d'aboutir. Quand bien même l'intérêt des acteurs historiques du GNSS est acquis eu égard au paysage des systèmes de positionnement de la prochaine décennie, la persistance des tensions

russo-américaines sur la scène internationale doit toutefois nous amener à rester prudents sur une décision politique compatible avec l'échéance de 2020.

Serge Plattard

Notes

*Les idées et opinions de l'auteur ne reflètent pas nécessairement celles de l'ESPI ni de l'UCL.

(1) Pour *Global Positioning System*, système global de positionnement géré par l'US Air Force.

(2) Pour *Globalnaia Navigatsionnaia Sputnikovaiia Sistema*, système de positionnement et de navigation soviétique puis russe.

(3) Contrairement aux idées reçues, les concepteurs du GPS avaient prévu *ab initio* la possibilité d'un signal non crypté ouvert à tous les utilisateurs de récepteurs GPS.

(4) Pour *Global Navigation Satellite Systems*, systèmes globaux de navigation par satellite. Par extension, on a coutume d'y inclure souvent les systèmes régionaux.

(5) European Global Navigation Satellite Systems Agency (GSA), *GNSS Market Report*, n° 4, mars 2015, p. 8 (en anglais).

(6) *Ibid.*

(7) *Ibid.*, p. 17.

(8) Extrapolation de l'auteur à partir des données de 2013 : European Global Navigation Satellite Systems Agency (GSA), *GNSS Market Report*, n° 3, octobre 2013, p. 12 (en anglais).

(9) *GNSS Market Report* n° 4, *op. cit.*, p. 1.

(10) *Inside GNSS*, mars-avril 2014, vol. 9, n° 2, p. 30-31 (en anglais).

(11) L'Union internationale des Télécommunications (UIT) est une agence des Nations Unies pour le développement, spécialisée dans les technologies de l'information et de la communication basée à Genève.

(12) Commission des Nations Unies pour l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique.

(13) Programme de localisation et de sauvetage actionné à partir de la réception satellitaire de signaux de détresse. Depuis sa mise en œuvre en 1984, il a permis de sauver plus de 35 000 vies humaines.

Photo ci-dessus : Affiche présentant le système de navigation et de positionnement par satellite chinois Beidou (également appelé COMPASS), développé de manière indépendante et qui permet de couvrir depuis 2003 la Chine et les régions avoisinantes. Le 16 juin 2016, le gouvernement chinois, qui a publié un livre blanc sur le système Beidou, a annoncé que d'ici 2020 ce dernier devrait servir les utilisateurs à travers le monde et offrir gratuitement des services ouverts de navigation par satellite. (© beidou.gov.cn)