

Le programme Galileo : un enjeu stratégique pour l'Europe

Mots clés

Galileo,
Navigation par satellites

■ Didier FAIVRE

Agence spatiale européenne, Paris

L'Europe s'engage dans la réalisation du système Galileo. Quels sont les enjeux et les principales caractéristiques d'un tel programme stratégique pour l'Europe ?

L'utilisation des systèmes de navigation par satellite se répand dans de nombreux domaines d'application tant civils que militaires. La maîtrise par l'Europe de sa propre infrastructure est un enjeu stratégique de première importance pour la puissance publique. L'article décrit les principaux aspects techniques, financiers et politiques d'une telle entreprise.

Comment se positionner sur la surface de la terre, comment disposer d'une référence de temps précise ? Ces deux questions fondamentales ont occupé pendant des siècles les navigateurs, les astronomes, les horlogers, les cartographes. Une visite au musée du Conservatoire national des arts et métiers ou au Musée de la marine montre l'ingéniosité et les progrès lents des scientifiques et des ingénieurs pour inventer et mettre au point des appareils de plus en plus sophistiqués destinés à répondre à cette question (horloges maritimes, sextants) ou à mettre en place une infrastructure d'aide à la navigation (réseaux de phares et balises, équipements des aéroports...).

Depuis quelques décennies, les systèmes de navigation par satellite apportent la réponse à cette quête. Cette réponse est apportée à tous et partout (il suffit d'être en visibilité des satellites), et le système peut satisfaire un nombre illimité d'utilisateurs (il ne connaît pas la saturation de la demande). Aujourd'hui, le service offert est gratuit, sa performance ne cesse de s'améliorer, et l'accès à ce service est obtenu par des appareils dont le prix ne cesse de décroître, pour atteindre quelques dizaines d'euros pour les utilisations « grand public ».

De plus en plus d'utilisateurs et de services s'appuient désormais sur la disponibilité d'une telle infrastructure pour toutes sortes d'applications nécessitant un positionnement ou une synchronisation précise : navigation aérienne, terrestre ou maritime, guidage, positionnement précis des appels d'urgence, synchronisations des réseaux de télécommunications et d'énergie, des échanges bancaires...

Comme très souvent, les inventeurs d'une telle infrastructure n'avaient pas imaginé un tel succès dans l'utilisation : conçu à des fins exclusivement militaires, le GPS (Global Positioning System) est désormais utilisé régulièrement par de nombreuses communautés civiles dans le monde pour des applications opérationnelles, et nul ne saurait imaginer que ce service puisse être abandonné. Au contraire, il se répand dans des domaines de plus en plus nombreux de la société, tant pour les applications professionnelles que personnelles, publiques que privées.

À ce jour, seul le système GPS est réellement opérationnel. Les grandes puissances se dotent elles aussi de systèmes de navigation par satellites : Russie (avec le système Glonass déjà en place), Chine (avec le système Compass Beidou), mais aussi le Japon et l'Inde (avec des systèmes pour l'instant limités à une couverture régionale).

L'Europe a, elle aussi, décidé de se doter d'une telle infrastructure propre : Galileo.

1. Les enjeux de Galileo

Face à la montée en puissance des applications de la navigation par satellites, l'Europe s'est posé dès la fin des années 90 la question de son rôle dans ce nouveau domaine d'application spatiale. Le fait même que l'Europe se lance dans cette entreprise a suscité des discussions longues et difficiles, et même aujourd'hui, si les décisions sont prises et le programme en phase de déploie-

ment, l'on ne peut pas affirmer que le débat est clos. Il est étrange de noter que la volonté des autres puissances de se doter d'une infrastructure de navigation par satellite ne fait pas l'objet de débats aussi difficiles, et semble relever de l'évidence. Après les États-Unis, la Chine et la Russie considèrent que la navigation par satellite fait partie des infrastructures essentielles dont l'État doit maîtriser à la fois la technologie, l'exploitation et l'utilisation.

Les enjeux de défense sont au cœur des décisions de ces grandes puissances de se doter de tels systèmes spatiaux. De plus en plus les systèmes d'armes nécessitent des fonctions de positionnement et de guidage précis. Sans maîtrise de l'infrastructure de navigation, l'emploi de ces systèmes est altéré, voire impossible, dans tous les cas soumis à la volonté d'une puissance tierce. L'Europe se trouve donc en position de dépendance, à la fois pour l'usage, mais aussi pour la fabrication ou l'exportation par ses propres industriels de systèmes d'armes sophistiqués.

Mais comment imaginer que l'Europe renonce à maîtriser une technique dont dépendent de plus en plus de nombreux éléments de la vie économique et de la puissance militaire, et se repose pour ces applications vitales sur une infrastructure nationale sur laquelle elle n'a pas d'influence ? Ainsi, au-delà de ces enjeux militaires, la navigation par satellite acquiert une dimension d'infrastructure stratégique qui relève de la souveraineté des États.

2. Vers un programme européen

Pour les Européens convaincus de cette dimension stratégique, il est apparu très vite évident que la dimension européenne s'imposait pour une telle entreprise. Cela permet de mettre en commun les compétences techniques et de mutualiser les coûts, donne à l'entreprise sa dimension politique et constitue un acte symbolique de la construction européenne. C'est donc tout naturellement que le programme a été engagé dès l'origine dans le cadre de l'Union européenne.

Mais il fallait bousculer les réticences. Pourquoi en effet dupliquer une infrastructure (le GPS) de très grande qualité et mise à disposition gratuitement par un allié ? Qui peut croire en effet que les États-Unis pourraient interrompre un service dont tant d'applications civiles sont dépendantes, en particulier aux États-Unis ?

Si l'essentiel des bénéfices de la navigation par satellite se trouve dans les services et « l'aval », pourquoi développer l'infrastructure « amont », si complexe et coûteuse ?

L'argument est bon : il n'est pas nécessaire de disposer d'une industrie automobile ou aéronautique pour développer un secteur florissant de transports routiers ou aériens. Le succès d'une société néerlandaise comme Tom-Tom, l'un des leaders mondiaux des terminaux de navigation grand public, démontre que les industriels européens ont su tirer profit du système GPS sans pour cela devoir disposer de leur propre infrastructure.

Pendant des années les Européens se sont divisés sur cette question. Les autorités budgétaires, inquiètes des sommes en jeu, ont bien sûr soulevé les questions législatives (maîtrise des coûts et des technologies, bénéfices directs et indirects d'une telle entreprise).

Au-delà de ce scepticisme, le débat a fait rage également... parmi les pays qui soutenaient de façon enthousiaste le programme ! Tandis en effet que les uns estimaient le programme Galileo une source de dépenses inutiles, d'autres (essentiellement l'Allemagne, l'Italie et la France) rivalisaient pour assurer à leur industrie la plus grande part des travaux de sa réalisation, et afficher leur leadership sur ce programme emblématique de l'Europe.

Les deux démarches, loin de s'annuler, ont contribué à retarder de plusieurs années le démarrage réel de Galileo (et d'augmenter ses coûts !).

La recherche d'un compromis européen a été longue, et n'a pas échappé à des errements organisationnels et dogmatiques qui ont causé de nouvelles difficultés pour le programme. L'une des principales et plus graves erreurs a été de prétendre que le programme Galileo serait réalisé sous la forme d'un partenariat public-privé. Les investisseurs privés étaient invités à financer une part significative des coûts d'infrastructure, de se charger de l'exploitation et, en retour, d'en retirer des revenus « commerciaux ».

Totalement portée par une démarche dogmatique, ignorant en particulier que le GPS était gratuit, cette approche a occupé les esprits pendant plus de quatre ans pour finalement être abandonnée en 2007, quand il est enfin apparu évident que le secteur privé n'était pas prêt à assumer le risques techniques d'une telle entreprise, et surtout que le mécanisme de retour des revenus commerciaux vers l'investisseur ne pouvait en aucun cas justifier un investissement privé.

C'est finalement fin 2007 que le principe d'une infrastructure publique totalement financée par le secteur public européen s'est imposé, et que le déploiement de Galileo a été confié à la responsabilité et au financement de la Commission européenne, qui a délégué les aspects techniques et industriels à l'Agence spatiale européenne. Il s'agit maintenant de conduire ce programme et de mettre en place un modèle d'exploitation (pas encore conçu à ce jour) à long terme stable et efficace, qui permettra de faire de Galileo, au-delà du succès technique de sa réalisation, un succès pour son utilisation.

3. Les aspects techniques

• Principes de fonctionnement

Les systèmes de navigation par satellite sont basés sur le principe de la triangulation, l'utilisateur calcule sa position à partir de la mesure de la distance qui le sépare de plusieurs satellites dont la position est connue de façon très précise. La mesure de la distance est effectuée à partir de la mesure du temps de propagation des signaux émis

par le satellite, c'est-à-dire le temps écoulé entre l'instant d'émission du signal et l'instant de sa réception, la vitesse de propagation étant connue.

La qualité du positionnement dépend donc essentiellement d'une grande précision dans la connaissance de la position des satellites, de l'instant d'émission et de réception des signaux reçus, et des conditions de propagation du signal (l'état de l'ionosphère et la troposphère ont un impact sur les conditions de propagation des signaux électromagnétiques). L'accès à quatre satellites permet de calculer la position de l'utilisateur. Trois satellites seraient théoriquement suffisants pour déterminer la position, mais la quatrième mesure permet de s'affranchir du défaut de synchronisation entre le temps de référence des satellites et le temps de l'utilisateur. En effet, alors que les satellites peuvent disposer d'horloges atomiques de très grande stabilité, assurant une très bonne synchronisation, l'utilisateur dispose d'un terminal à faible coût dont la précision de l'horloge est limitée.

Les précisions attendues étant de l'ordre du mètre, il faut donc connaître la position des satellites avec ce niveau de précision et, surtout, disposer d'une synchronisation de l'ordre de la nanoseconde (un milliardième de seconde) une erreur de 1 millième de seconde induit une erreur de positionnement de ... 300 km.

Les systèmes de navigation par satellite font appel à des techniques très sophistiquées de codage des signaux et d'occupation des fréquences. C'est la mise au point d'horloges atomiques ne dérivant pas de plus de quelques nanosecondes par jour (et qui peuvent être recalées régulièrement) qui permet de tenir les performances attendues. Chaque satellite Galileo emporte deux horloges à rubidium et deux masers à hydrogène.

De façon à assurer la visibilité permanente d'au moins quatre satellites, l'architecture des satellites de navigation repose sur une constellation de satellites. Pour Galileo, on a choisi une constellation de trente satellites placés sur une orbite circulaire à environ 23 000 km d'altitude et répartis sur trois plans inclinés de 56 degrés par rapport à l'équateur. Cette configuration permet de bien couvrir l'ensemble du globe et en particulier les zones polaires. Les lancements sont assurés depuis la base européenne de Kourou.

La précision du positionnement des satellites est assurée par le suivi et le contrôle quasi permanent de l'ensemble de la flotte par un réseau de stations sol, qui déterminent de façon précise les paramètres orbitaux des satellites et les écarts de synchronisation entre le « temps » à bord des satellites et le « temps » de référence du système. Ces données collectées par environ 30 stations réparties sur la surface de la terre sont transmises aux centres de contrôle, qui calculent les corrections à apporter et élaborent le message de navigation qui sera retransmis par le satellite aux usagers.

Ce message de navigation transmis par les satellites comprend essentiellement :

- les paramètres orbitaux permettant de déterminer la po-

sition précise du satellite émetteur et des autres satellites de la constellation,

- le temps de référence,
- des éléments de correction ionosphérique,
- des éléments sur l'état de santé du satellite et sur d'éventuelles malfunctions du système.

• Capacités européennes

Sur le plan technique, l'Europe a démontré dans tous les domaines des applications spatiales un niveau technologique comparable aux meilleures réalisations mondiales. Les programmes de lanceurs Ariane, de météorologie opérationnelle d'Eumetsat, les programmes scientifiques le démontrent, malgré un niveau de dépenses publiques des agences spatiales européennes considérablement inférieur à celui des États-Unis. Sur le marché commercial mondial, les lanceurs et les satellites de télécommunication de fabrication européenne rivalisent avec les meilleures offres de l'industrie mondiale, et ont conquis des parts de marché considérables auprès des plus grands opérateurs.

Dans le domaine de la navigation par satellite où l'Europe ne s'est engagée que tardivement (fin des années 90), les réalisations actuelles démontrent que l'Europe est parfaitement capable de développer un système de performances équivalentes aux meilleures réalisations mondiales.

Ainsi, avec le programme EGNOS (European Geostationary Overlay Service), l'Europe a développé un système régional de complément du GPS, qui permet d'une part de contrôler l'état du système GPS et d'en informer les utilisateurs, et, d'autre part, d'améliorer la précision du système. Ce système, devenu opérationnel en octobre 2009, démontre que l'Europe maîtrise l'essentiel des techniques du segment sol qui seront réutilisées dans Galileo. Sa performance est équivalente à celle du système équivalent américain WAAS déployé aux États-Unis, et il sera certifié pour un usage opérationnel par l'aviation civile au cours de l'année 2010.

Dans le domaine des technologies bord, l'Europe a lancé en décembre 2005 et en avril 2008 deux satellites expérimentaux GIOVE A et B (Galileo In Orbit Validation Element), qui ont permis de valider en orbite les éléments essentiels de la charge utile de navigation. En particulier le satellite GIOVE B dispose d'une horloge maser à hydrogène qui est l'horloge spatiale la plus précise jamais déployée dans l'espace (dérive de moins d'une nanoseconde par jour).

Les quatre premiers satellites de la constellation seront lancés fin 2010-début 2011.

4. Les aspects financiers

La mise en place d'une infrastructure comme Galileo coûte environ 5 milliards d'euros ; il faut plus de 10 ans

pour développer les technologies, fabriquer les satellites, construire les stations sol et enfin déployer la constellation.

Au-delà du coût d'acquisition de la première constellation, il est également pertinent d'appréhender le coût associé à l'exploitation à long terme d'une telle infrastructure, c'est-à-dire les coûts associés aux opérations, à la maintenance, au renouvellement et au lancement des satellites (dont la durée de vie est de 10 à 15 ans), ainsi que les coûts des développements technologiques qui permettent de maintenir les laboratoires et industriels européens au meilleur niveau mondial. Les estimations actuelles sont d'environ 700 millions d'euros par an, un ordre de grandeur proche du niveau de dépenses consacré par le ministère de la défense américain à l'exploitation du GPS.

Alors que les bénéfices indirects et l'usage sont immenses, aucune hypothèse sérieuse de financement par les usagers n'est crédible à ce jour, en particulier tant que le signal GPS sera disponible partout et gratuitement, on voit mal le système Galileo exiger des ses usagers une redevance d'utilisation. La recherche d'un hypothétique concessionnaire a conduit à un échec total et a retardé le programme de plusieurs années. Avec Galileo, l'Europe s'engage à long terme dans une nouvelle filière spatiale, qui demandera un effort public de plusieurs centaines de millions d'euros par an.

Il s'agit de montants importants, totalement financés par le contribuable. Il est donc essentiel qu'un contrôle démocratique s'exerce pour valider ces dépenses, et qu'une gouvernance publique stable, compétente et efficace soit mise en place sur le long terme.

À titre de comparaison, de tels montants sont comparables aux montants consacrés par l'Europe aux programmes de soutien et de développement de la filière des lanceurs, ou aux budgets annuels consacrés à l'exploitation de la station spatiale. L'effort public européen (essentiellement dépenses des agences spatiales nationales, de l'agence spatiale européenne, des programmes militaires et des programmes opérationnels de météorologie) s'élève à environ 5 milliards d'euros par an. La mise en place et le maintien à long terme d'une infrastructure de navigation par satellites représente donc près de 15 % de l'effort actuel consacré aux dépenses spatiales, un montant important donc, mais qui ne bouleverse pas le volume des dépenses publiques consacrées au programme spatial européen.

5. Aspects éthiques

Les systèmes de navigation par satellite en soi ne soulèvent pas de problèmes particuliers d'éthique ou de respect des droits individuels. Comme on l'a vu, seul l'utilisateur détenteur du terminal connaît sa position déterminée localement par le récepteur. Les promoteurs des systèmes de navigation mettent régulièrement en avant des applica-

tions qui contribuent au bien-être ou au confort (aide au déplacement des aveugles, aides aux voyageurs, sécurisation des transports de matières dangereuses etc).

Un certain nombre d'applications sont bâties sur le couplage des systèmes de navigation, soit avec des systèmes d'enregistrement, soit avec des systèmes de transmission en temps réel des informations de positionnement calculées par le récepteur. Au-delà des applications pittoresques (collier localisant les animaux domestiques, localisation des troupeaux etc.) on envisage à court terme la mise en place d'applications sensibles (suivi des mouvements de personnes ou de biens, contrôle par l'entreprise de la position de ses collaborateurs, suivi de déplacements privés etc), ou réglementaires (contrôle automatique et continu des vitesses des véhicules, tarification automatique des péages).

Comme toute nouvelle technologie dont les apports sont multiples, foisonnants et pas encore tous définis, il est important que le travail des ingénieurs soit accompagné par une réflexion éthique et démocratique sur l'usage de tels systèmes.

6. Conclusion : Vers un système mondial ?

Les systèmes de navigation par satellite occupent une ressource limitée : la bande de fréquence allouée aux services de radionavigation par l'UIT. La cohabitation de plusieurs infrastructures satellitaires pose dès à présent des difficultés de coordination, et ce problème ne peut que se compliquer avec l'arrivée de nouveaux entrants.

Du côté de l'utilisateur en revanche, si l'interopérabilité est assurée au niveau du terminal, l'arrivée de nouveaux partenaires est bienvenue : elle réduit le niveau de dépendance, et améliore le service par l'accès à plus de satellites en visibilité.

Pour les applications sensibles en termes de sécurité comme celles de l'aviation civile, l'arrivée de plusieurs constellations indépendantes permet d'envisager une plus grande acceptabilité du service apporté par les systèmes de navigation par satellite.

Au-delà de la concurrence entre systèmes et du souci d'autonomie de chaque puissance mondiale, on peut envisager, pour les applications civiles, un effort de coordination, de standardisation et d'interopérabilité entre les différents systèmes, débouchant à terme, peut-être, sur la mise en place d'un système mondial.

Des réunions de coordination associant les pays qui disposent ou développent des infrastructures de navigation par satellite sont engagées au niveau de l'ONU. Bien sûr, pour participer à cette vision à long terme, il faudra avoir gagné sa place de participant crédible. Avec Galileo l'Europe est en mesure de tenir ce rang. La signature en janvier 2010 des premiers contrats (couvrant la fourniture de 14 satellites, 5 lanceurs, et la mise en place d'une équipe système industrielle) pour un montant de près d'un

milliard d'euros a été une étape décisive pour que l'Europe accède au statut de puissance spatiale majeure dans le domaine essentiel de la navigation par satellites.

Bibliographie

- J.-M. PIÉPLU, « *GPS et Galileo* », éditions Eyrolles, août 2006.
- Ouvrage coordonné par F. BARLIER, « *Galileo, un enjeu stratégique, scientifique et technique* », éditions l'Harmattan, avril 2008.

L' a u t e u r

Didier Faivre, chef du département Navigation de l'Agence spatiale européenne. Né en 1956, Didier Faivre, polytechnicien, est dans le monde spatial depuis plus de 20 ans. Après un début au Commissariat à l'énergie atomique, il est entré dès 1983 au CNES, le Centre national d'études spatiales, avec des responsabilités aussi bien sur des questions programmatiques qu'opérationnelles et des postes notamment à Kourou, le port spatial de l'Europe, au Centre spatial de Toulouse et au siège parisien du CNES, en particulier comme directeur adjoint des Programmes. Il a rejoint l'Agence spatiale européenne en 2000 pour s'occuper de la stratégie des télécommunications au sein de la Direction des Applications. Depuis juin 2005, il est responsable des programmes de navigation de l'Agence spatiale européenne dont fait partie Galileo.