



Galileo

*Le programme européen de
navigation par satellite*

BR-186 (version française, 2e édition)
Novembre 2005

ISBN 92-9092-474-8
ISSN 0250-1589

Coordinatrice : Muriel Simon, Entreprise commune Galileo

Rédacteurs : Andrew Wilson et Huguette Lacoste, Division des publications de l'ESA

Mise en page et infographie : Carel Haakman & Andrew Wilson, Division des publications de l'ESA

Publié par : Division des publications de l'ESA, ESTEC, Boîte postale 299, 2200 AG Noordwijk, Pays-Bas

© 2005 Agence spatiale européenne

Prix : 10 euros

Imprimé aux Pays-Bas



Sommaire

Galileo : Des enjeux techniques, économiques et politiques	5
Les atouts de la navigation par satellite	7
Applications : Ouverture d'horizons nouveaux	15
Services : L'espace au service de l'utilisateur	23
Infrastructure : De l'espace à la terre	27
Excellence en matière de développement technologique	31
Mise en œuvre et gestion	35

Galileo

Galileo, premier système de navigation et de positionnement par satellite spécifiquement conçu à des fins civiles, assurera des services de pointe caractérisés par une précision, une continuité et une disponibilité exceptionnelles. Il sera plus performant, plus innovant et plus sûr que le système GPS dont les États-Unis ont actuellement le monopole.



Galileo : Des enjeux techniques, économiques et politiques

Galileo constituera le premier système de navigation et de positionnement par satellite spécifiquement conçu à des fins civiles. Ses applications déjà rentables couvriront de nombreux domaines de notre vie – à commencer par un transport sûr et efficace. En utilisant simplement de petits récepteurs, nous serons en mesure de déterminer notre position avec une précision de l'ordre du mètre.

Galileo est vital pour l'avenir de la haute technologie en Europe. Il générera des marchés importants et assurera à l'Europe l'avance technologique critique lui permettant d'être compétitive sur le plan mondial.

Il est essentiel pour l'Europe et pour le monde entier de disposer d'une alternative indépendante au monopole que détiennent actuellement les États-Unis avec le système de positionnement mondial dit « GPS » (Global Positioning System). En outre, le niveau des besoins futurs en matière de navigation et l'exigence de couverture mondiale ne peuvent être satisfaits par un système unique.



Un récent accord passé avec les États-Unis assurera l'interopérabilité de Galileo avec le GPS. Galileo devient ainsi de fait la norme mondiale sur le marché grand public des services offerts par les systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS).

Le programme Galileo est désormais en cours. D'un coût d'environ 3,4 milliards d'euros, il débouchera sur la création de plus de 100 000 emplois et d'un marché des équipements et services représentant près de 200 milliards d'euros par an d'ici 2013.

Galileo



Les atouts de la navigation par satellite

Navigation et synchronisation de temps par satellite

La navigation par satellite détermine une position en mesurant les distances par rapport à au moins trois positions connues : celles des satellites Galileo.

La distance par rapport à un satellite définit une sphère de solutions possibles. La combinaison de trois sphères permet de définir une zone commune unique contenant la position inconnue. La précision des mesures de distance détermine l'étendue de la zone commune et par conséquent la précision de la position finale. Dans la pratique, un récepteur capte les signaux horaires des satellites et les convertit en distances.

La précision du positionnement est fonction de la précision de la mesure du temps. Seules les horloges atomiques présentent le niveau de performances voulu : précision (de l'ordre de la nanoseconde, soit 10^{-9} s) et stabilité (de l'ordre de 10 nanosecondes par jour pour l'étalon de fréquence atomique au rubidium, et d'une nanoseconde par jour

dans le cas d'une horloge de type maser à hydrogène). Ces horloges représentent un élément technologique majeur à bord des satellites Galileo et contribuent à la définition des normes horaires internationales. La précision de la mesure de temps est accrue par la prise en compte d'un signal en provenance d'un quatrième satellite ; la sélection du nombre de satellites et de leurs orbites fait donc l'objet d'un soin particulier.

L'avènement de Galileo

Galileo comprend une constellation de 30 satellites répartis en trois orbites circulaires à une altitude de l'ordre de 23 000 km pour couvrir la surface entière de la Terre. Ils sont épaulés par un réseau mondial de stations terrestres.

Il existe actuellement deux réseaux de satellites de radionavigation : le GPS américain et le système russe Glonass, tous deux conçus pendant la Guerre Froide à des fins militaires. Le système russe n'a toutefois pas encore atteint son plein développement. Galileo remédie à la vulnérabilité inhérente à l'existence

d'une infrastructure unique (GPS) et contribue à rendre plus performants, fiables et sûrs les services de navigation par satellite.

Le GPS est utilisé en grande partie à des fins civiles mais comporte plusieurs défauts majeurs :

- une précision du positionnement variable (précision parfois seulement de plusieurs dizaines de mètres), en fonction du lieu et de l'heure ;
- une fiabilité qui laisse à désirer. La couverture des régions situées à des latitudes élevées (mais traversées par de nombreuses lignes de transport aérien) est aléatoire, tout comme la pénétration des signaux dans les zones denses et centres des villes. De plus, le caractère essentiellement militaire du système GPS signifie qu'il y a toujours un risque de coupure pour les utilisateurs civils en cas de crise.

Qu'elles soient volontaires ou non, les interruptions du signal peuvent avoir des conséquences catastrophiques – en



particulier parce qu'il n'y a ni avertissement ni information immédiate aux utilisateurs en cas d'erreurs.

Par exemple, un organisme de recherche canadien a souligné le cas d'un avion frappé par une interruption non annoncée du signal de plus de 80 minutes, elle-même aggravée par une erreur initiale de positionnement de 200 km lorsque le contact a été rétabli. Les autorités islandaises de l'aviation ont signalé plusieurs vols transatlantiques ayant subi des perturbations similaires dans leur zone de contrôle. Des avions civils ont subi des interruptions du signal de 20 minutes dans trois états du centre des États-Unis, et des commandants de bord ont fait état du même phénomène au-dessus de la Méditerranée.

En août 2001, le rapport du Volpe National Transportation Centre – mandaté par le Gouvernement des États-Unis – a clairement souligné un certain nombre de défaillances de ce type. Même la mise en place du GPS III optimisé, envisagé par les États-Unis, ne permettrait pas de

résoudre tous ces problèmes. Il y a une absence totale de garantie de service et de responsabilité – car celles-ci sont incompatibles avec les objectifs militaires du système – avec toutes les implications que l'on peut imaginer en cas d'accident d'avion ou de naufrage de pétrolier.

L'Union européenne (UE) a décidé par conséquent, en étroite collaboration avec l'Agence spatiale européenne, de développer son propre système répondant aux critères de précision, fiabilité et sécurité.

Galileo offre une précision supérieure et constante, en particulier grâce à la structure de sa constellation de satellites et à son système de relais au sol. Une précision garantie de moins d'un mètre est nécessaire pour certaines applications telles que l'arrivée dans un port maritime ou le guidage d'un véhicule dans une place de stationnement.

Le système Galileo offre une fiabilité supérieure parce qu'il comporte un message d'intégrité informant

immédiatement les utilisateurs d'erreurs possibles, et parce qu'il couvre des zones difficiles telles que l'Europe septentrionale.

L'importance du projet Galileo a poussé l'Europe et les États-Unis à conclure un accord visant à assurer l'interopérabilité et la compatibilité des deux systèmes ; en conséquence, Galileo devient la norme mondiale en matière de services de navigation par satellite.

Galileo offrira le niveau de continuité très élevé qu'exige aujourd'hui le monde des affaires, en particulier pour satisfaire aux obligations contractuelles.

Marchés d'Applications

La transmission satellitaire est maintenant passée dans les mœurs dans des domaines tels que la téléphonie, la télévision, les réseaux informatiques, l'aviation, le transport maritime et bien d'autres. La gamme d'applications offerte par le système Galileo est extrêmement variée et les retombées en puissance sont immenses.



Les avantages pour les systèmes d'aide à la conduite du futur sont extrêmement importants. À l'heure actuelle, les accidents de la route (dont 40 000 mortels) induisent des coûts sociaux et économiques représentant 1,5 à 2,5 % du produit national brut (PNB) de l'Union européenne. L'encombrement routier entraîne des coûts supplémentaires estimés à environ 2 % du PNB européen. Une réduction importante de ces chiffres, grâce à Galileo, aura par conséquent des avantages socio-économiques énormes, sans parler du nombre de vies sauvées.

Le nombre d'applications dans le domaine des transports terrestres augmente constamment. Les constructeurs automobiles proposent dorénavant des systèmes de navigation qui combinent le positionnement par satellite et les données routières afin d'éviter les embouteillages et de réduire le temps de trajet, la consommation de carburant et par conséquent la pollution. Les sociétés de transport routier et ferroviaire pourront suivre le

déplacement de leurs camions, wagons ou conteneurs d'une manière plus efficace, et mieux lutter contre le vol et la fraude. Les sociétés de taxis utilisent maintenant ces systèmes pour offrir à leurs clients un service plus rapide et plus fiable.

Et bientôt, des systèmes de péage routier s'appuieront sur Galileo.

Le marché de l'aviation bénéficiera aussi, dans une large mesure, de la sécurité assurée par les services Galileo. D'ici à 2020, au moins 120 000 aéronefs (transport civils, aviation générale, hélicoptères, etc.) exploiteront des systèmes de navigation par satellite conformes aux normes aériennes internationales.

La valeur de Galileo ne se limite pas à l'économie et aux entreprises. Ce sera à l'évidence également un outil précieux pour les services d'urgence (pompiers, police, personnel paramédical, sauvetage en mer et en montagne), qui seront en mesure de venir plus rapidement en aide

aux personnes en danger. Galileo peut guider les aveugles, surveiller les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer avec perte de mémoire, et guider les explorateurs, les randonneurs pédestres ou les amateurs de voile.

Bien d'autres secteurs bénéficieront également de Galileo. Il sera utilisé comme outil topographique pour le développement urbain et les grands travaux publics, pour les systèmes d'information géographique, pour une gestion plus efficace des terres agricoles, et pour faciliter la protection de l'environnement. Ce sera un moyen favorisant le développement des téléphones mobiles de troisième génération avec applications Internet. Il facilitera l'interconnexion de réseaux et systèmes de télécommunications, d'électricité et de services bancaires grâce à la précision extrême de ses horloges atomiques. Il sera également de toute première importance pour aider les pays en voie de développement à préserver leurs ressources naturelles et à développer leur commerce international.





Les perspectives d'application sont énormes. Tout comme avec le micro-ordinateur il y a 20 ans ou Internet il y a 10 ans, il est fort probable que nous ne distinguions actuellement que la partie visible de l'iceberg.

Pour répondre à toutes ces exigences, Galileo offrira plusieurs niveaux de service :

- un niveau de base gratuit, mettant l'accent sur les applications grand public et les services d'intérêt général. Le système GPS est également gratuit pour ces applications mais Galileo offre une qualité et une fiabilité supérieures ;
- des niveaux de service à accès restreint pour les applications commerciales et professionnelles exigeant des performances supérieures pour générer des services à valeur ajoutée. Ces niveaux vont jusqu'à un service à accès très restreint pour les applications qui ne doivent en aucun cas être perturbées.

Les services payants contribueront à financer le système.

Enjeux critiques

Pour l'Europe, l'enjeu est de taille. Galileo lui permettra de gagner son indépendance technologique, comme elle le fit avec les projets Ariane et Airbus. Il est essentiel que l'Europe ait sa place dans l'un des principaux secteurs industriels du XXI^e siècle, un domaine déjà largement reconnu aux États-Unis. Sans Galileo, le développement, voire la survie des secteurs européens de la nouvelle technologie seraient gravement menacés. L'avance technologique de Galileo confèrera aux secteurs européens participants un avantage concurrentiel considérable dans ce domaine et dans les nombreuses applications qui en découlent.

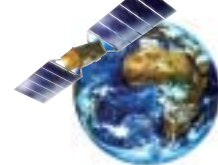
Le marché des équipements et services résultant du programme est estimé à environ 10 milliards d'euros par an, avec la création en Europe de plus de 100 000 emplois hautement qualifiés. En revanche, si l'Europe manque ces nouveaux développements, de nombreux emplois dans l'électronique et l'aérospatiale finiront par disparaître.

En termes de coopération internationale, les technologies de pointe sont l'un des principaux atouts garantissant la position de l'Europe dans le monde.

L'UE a clairement indiqué qu'elle souhaitait la participation de pays non membres aux activités de recherche, de développement et de réalisation industrielle de Galileo ; c'est d'ailleurs déjà le cas de la Chine et d'Israël. Cela ne peut que renforcer nos liens et favoriser notre intérêt commun, sans parler du choix qui sera offert au monde entier.

Coopération internationale

Galileo est un système à vocation mondiale qui ne pourra atteindre son plein développement qu'avec la participation de partenaires des quatre coins du monde. En d'autres termes, il ne peut être le seul résultat d'une coopération entre pays européens, mais il doit au contraire entraîner l'adhésion de nombreux autres pays. La coopération avec ces pays débouchera sur une meilleure harmonisation technique avec les autres systèmes de navigation par



satellite mondiaux, sur le renforcement de l'infrastructure mondiale nécessaire à l'exploitation du système, et sur le développement des marchés internationaux.

L'Union européenne a récemment passé des accords de coopération avec divers pays en vue des objectifs suivants :

- États-Unis: assurer l'interopérabilité et la compatibilité avec le système GPS ;
- Chine et Israël : mise en place d'un cadre de coopération à grande échelle
 - industrie, recherche et sciences (normalisation, etc.), contrôle d'intégrité régional, participation financière dans le système Galileo ;
- Fédération de Russie : des négociations sont en cours en vue de mettre en place le mécanisme de coopération devant permettre à Galileo de tirer profit de l'expérience acquise lors de la mise au point et de l'exploitation du système Glonass.

Un nombre croissant de pays se montrent désireux de prendre une part

active au projet Galileo. La Commission européenne négocie actuellement avec l'Ukraine, l'Inde, le Brésil, la Corée du Sud, le Mexique et l'Australie.

Dans le cadre des accords de coopération politiques sur le point d'être conclu, en partie à cette fin, avec l'Union européenne, divers organismes de ces pays mettent au point des participations actives dans l'Entreprise commune Galileo. Ainsi, en octobre 2004, le NRSCC (National Remote Sensing Center of China) devenait le premier des nouveaux membres de l'entreprise commune, dont les membres fondateurs sont l'Union européenne et l'Agence spatiale européenne. La Chine s'est ainsi engagée à verser 200 millions d'euros à des fins de financement d'activités précises dans les phases de développement et de déploiement. En ce qui concerne la phase de développement, les activités en question seront définies en fonction des besoins de la Chine et viendront compléter le programme de travail en place en matière d'infrastructure (éléments locaux d'augmentation,

Ventes estimatives de postes GNSS à l'échelle mondiale (en millions)





stations de mesure et de détection, charge utile service recherche et sauvetage, etc.), de développement des applications et des marchés (applications multimodales, segment usagers, normalisation et certification, coordination des fréquences, ateliers et activités de recherche conjoints).

Comme la Chine, Israël a indiqué son intention d'investir dans le système Galileo en s'associant à l'entreprise commune par le biais de l'institut israélien d'exportation et de coopération internationale.

Investissement et viabilité économique

Il convient de souligner que Galileo n'est pas cher. Son coût de développement et de déploiement, y compris le lancement de 30 satellites et l'installation des équipements au sol, est de 3,4 milliards d'euros.

Ce coût est équivalent à celui de la construction de 150 km d'autoroute semi-urbaine ou d'un tunnel principal pour la future liaison ferroviaire à grande

vitesse entre Lyon et Turin. C'est moins que la liaison d'Øresund entre le Danemark et la Suède ou que le cinquième terminal en cours de construction à l'aéroport de Heathrow. C'est environ les deux tiers du coût de la liaison ferroviaire à grande vitesse entre Liège, Cologne et Francfort, ou des 160 km du projet Betuwe d'infrastructure ferroviaire pour le transport de conteneurs aux Pays-Bas.

L'infrastructure Galileo est économiquement viable. Une étude de PricewaterhouseCoopers, s'appuyant sur des projections mises à jour sur une période de 20 ans, indique un ratio avantages/coûts de 4,6, ce qui est supérieur à tout autre projet d'infrastructure en Europe. L'étude précise qu'il s'agit là d'estimations prudentes et que les avantages calculés ne prennent en compte qu'un petit nombre de secteurs des transports.

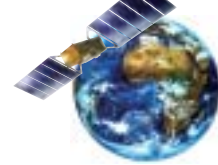
La viabilité économique a été confirmée par tous les consortiums ayant déposé un dossier de candidature pour

l'attribution de la concession d'exploitation Galileo.

Une structure originale et innovante

Galileo adopte une structure légale originale et innovante pour encourager le partenariat public-privé. Pour achever la phase de développement et de validation, et préparer la phase de déploiement, une forme originale de société prévue à l'article 171 du traité instituant la Communauté européenne et dénommée « entreprise commune » a été mise en place. Ses membres fondateurs sont l'UE et l'ESA. En outre, la Banque européenne d'investissement et, dans une phase ultérieure, des sociétés souscrivant un minimum de 5 millions d'euros (250 000 euros pour les PME souscrivant individuellement ou collectivement) peuvent également devenir membres.

En plus du secteur spatial, qui tire traditionnellement profit des programmes de recherche de l'UE, les bases d'un partenariat public-privé ont été définies avec un grand nombre de



sociétés. En contribuant au capital de l'entreprise commune, les sociétés assumeront leur part des risques normaux associés aux activités industrielles. On ne peut pas s'attendre à ce que les fonds publics couvrent tous les coûts engagés.

Bien qu'il incombe au secteur public de réaliser des analyses prospectives, de détecter les marchés émergents à venir, d'encourager leur développement et de préparer les technologies voulues – comme pour Ariane et Airbus – il convient également que les grandes sociétés, qui dans certains cas et jusqu'à très récemment ont été protégées par les pouvoirs publics, se projettent au-delà du court terme si elles veulent survivre face à la concurrence mondiale.

Partenariat secteur public – secteur privé

Le système Galileo sera géré et exploité sous forme d'une concession dans le cadre d'un partenariat public-privé (PPP), structure permettant le financement du projet à l'aide de fonds publics et privés.

Le principal objectif du PPP est d'optimiser la rentabilité du point de vue du secteur public en abaissant, autant que faire se peut, le coût du cycle de vie complet du projet tout en maximisant les avantages et les revenus.

Si la gestion des phases de déploiement et d'exploitation sera le fait du concessionnaire privé – qui contribuera ainsi de manière considérable au financement du projet – une subvention publique limitée est prévue dans le cadre du déploiement et des premières années d'exploitation commerciale.

Le processus de concession

La phase de déploiement sera financée sous forme de PPP. L'entreprise commune Galileo doit contribuer à réunir les fonds publics et privés nécessaires à l'exécution des diverses phases du programme.

Pour atteindre cet objectif, l'entreprise commune Galileo joue un rôle essentiel en se chargeant de la gestion de l'appel d'offres visant à l'établissement d'un contrat global de PPP pour le

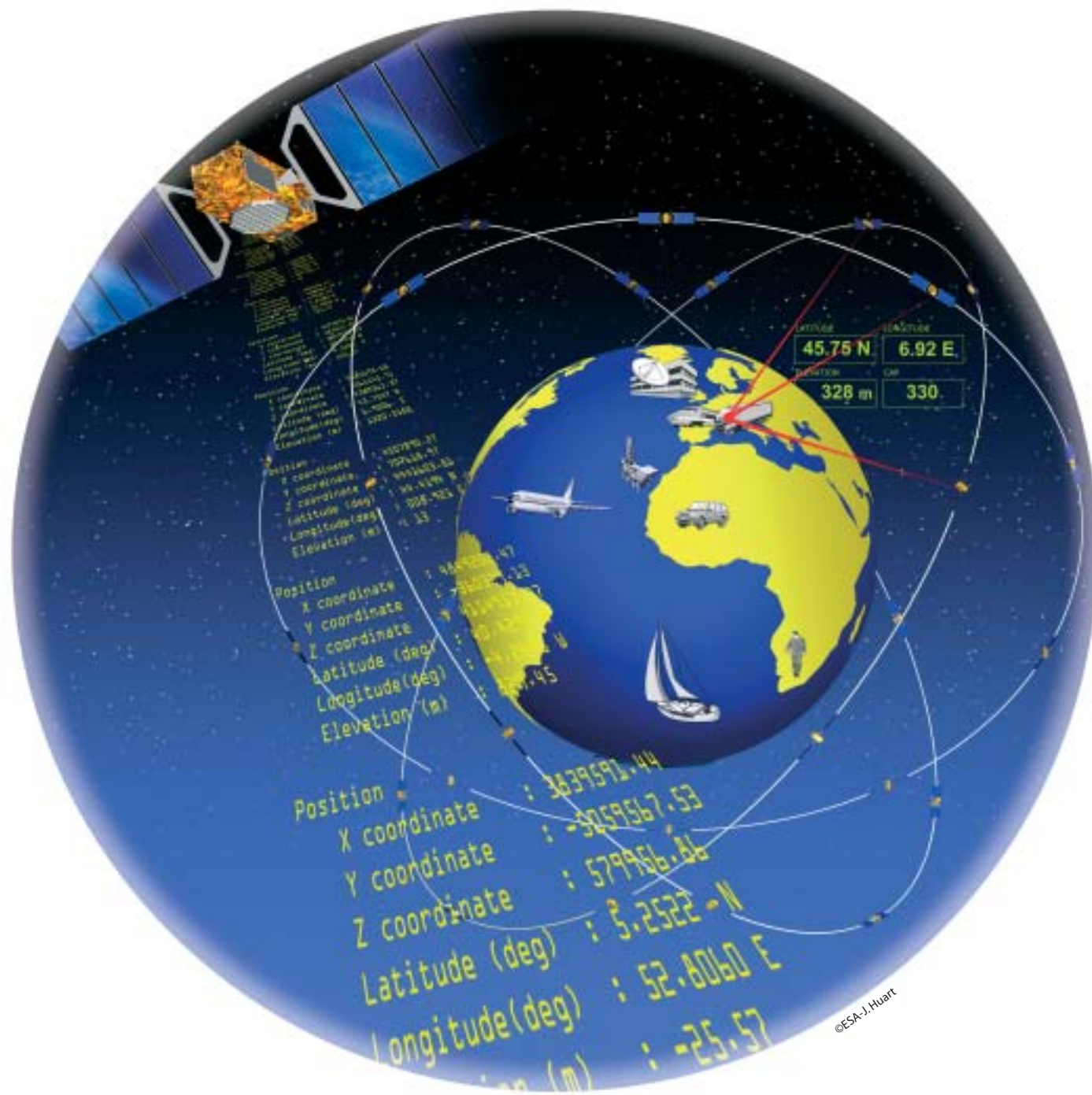
financement des phases de déploiement et d'exploitation du programme. Le contrat énonce clairement les responsabilités, rôles et risques à partager entre les secteurs public et privé.

L'entreprise commune Galileo gère le processus de concession et se charge du règlement des différentes questions techniques, juridiques, commerciales et financières relatives à la mise au point du plan commercial Galileo, la collecte des fonds, la répartition des risques et l'intégration d'EGNOS au sein de Galileo.

Le processus de concession débouchera sur l'établissement du contrat de concession de Galileo. L'interlocuteur public (c'est-à-dire l'autorité de concession), qui représente les intérêts des partenaires du secteur public, est l'Autorité de surveillance Galileo (GSA – Galileo Supervisory Authority).



Galileo



©ESA-J. Huart

Applications : Ouverture d'horizons nouveaux

Le système Galileo est conçu comme une infrastructure centrale sur laquelle des applications seront élaborées. Il fera partie d'une ample infrastructure technique de la société, comprenant des systèmes de communication et de radiodiffusion, dont nous serons tous fortement dépendants. Les applications que Galileo rend possibles vont au-delà de la détermination de l'heure et de la position d'un utilisateur, et intègrent en fait des technologies nouvelles visant à satisfaire les besoins émergents des utilisateurs.

Les applications soutiennent et favorisent l'innovation européenne dans l'industrie, la recherche et les petites et moyennes entreprises. Dans certains domaines, elles peuvent produire des avantages directs pour les citoyens et leur environnement social en améliorant l'efficacité et la rentabilité des systèmes, ou simplement en facilitant les activités quotidiennes.

Les applications Galileo reposeront sur des services intégrés : les données de navigation sont combinées à des

couches d'information complémentaires. Les nombreux domaines d'applications vont des transports (transport aérien, ferroviaire, maritime & routier, déplacements pédestres) à la synchronisation, la topographie, l'ingénierie, les sciences, l'environnement, la recherche, le sauvetage, et même les loisirs. Ces domaines ont à leur tour une incidence directe sur des secteurs de marché tels que le pétrole et le gaz, la banque, les assurances, les télécommunications, le tourisme et l'agriculture.

Certaines applications exigent du système des fonctions spécifiques. Ces fonctions n'existent pas dans les systèmes de positionnement actuels et constitueront une valeur ajoutée pour Galileo en tant que système civil. Il peut s'agir entre autre des aspects suivants : garantie de service, authentification du signal, intégrité du signal, responsabilité de l'opérateur de services, traçabilité des actions passées, transparence des opérations, disponibilité des données brutes et traitées en provenance du

système central, certification, service concurrentiel en termes de précision et de disponibilité. En outre, l'Autorité de surveillance Galileo et le concessionnaire Galileo fourniront un cadre institutionnel, réglementaire et commercial facilitant et contrôlant l'exploitation du marché aval mondial. De nouvelles applications apparaissent chaque jour sur ce marché énorme qui devrait atteindre 3 milliards d'utilisateurs en 2020.

Transports

Le domaine des transports et ses applications constitue la catégorie d'utilisateurs par excellence de Galileo. Les services du système seront utilisés dans tous les domaines des transports - transport aérien, maritime, routier & ferroviaire, et même déplacements pédestres. Chaque segment d'utilisateurs a ses besoins spécifiques, et Galileo est conçu pour les satisfaire tous.

Dans l'aviation civile, Galileo peut être utilisé au cours des différentes phases de vol : navigation en route, approche d'aéroport, atterrissage et guidage au sol.

En particulier, les éléments locaux du système Galileo permettront la mise en place d'applications telles que des systèmes d'approche de précision en conditions de visibilité limitée. Galileo donnera au secteur aéronautique les moyens de mettre en place des systèmes de type GNSS, lui permettant de réduire, à terme, son infrastructure au sol.

Galileo constituera en outre un outil efficace de mise en place de l'espace aérien européen unique (« Ciel unique européen »).

Dans le domaine maritime, Galileo sera utilisé pour la navigation embarquée dans toutes les formes de transport, y compris la navigation hauturière et côtière, l'approche et les manœuvres portuaires. Les caractéristiques de Galileo, système adapté aux applications actuelles les plus exigeantes, permettront la définition et la mise au point de nouvelles applications, telles que le système d'identification automatique, améliorant la sécurité de la navigation. La navigation fluviale, notamment dans des

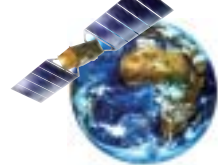
environnements critiques, bénéficiera également de l'aide de Galileo et de son interopérabilité avec d'autres systèmes et capteurs. D'une manière générale, l'efficacité du système d'information fluviale (RIS – River Information System) s'en trouvera accrue.

Les applications routières comprennent l'aide à la navigation pour l'automobile, la gestion de parc de taxis, camions et bus, les péages routiers et l'assistance au conducteur. Les exploitants de réseaux routiers seront en mesure d'exploiter leurs réseaux avec nettement plus d'efficacité en calant leurs systèmes de péage électronique (actuellement en cours de mise au point) sur les données de positionnement fiables et précises fournies par Galileo. Les services d'information pour les usagers de la route peuvent également s'appuyer sur Galileo. Le comportement routier peut être contrôlé au moyen d'enregistreurs de navigation embarqués afin de produire des informations utiles aux autres usagers de la route. Les données des véhicules peuvent être stockées avec l'heure exacte

et des données précises de positionnement afin de déterminer les responsabilités en cas d'accident. Pour que les données enregistrées soient utilisables devant un tribunal et par les compagnies d'assurance, elles doivent être d'une grande fiabilité, garanties et provenir d'un système certifié. Galileo répond à ces exigences.

Les niveaux de performance de Galileo – souvent appuyés localement par des composantes terrestres – et sa fiabilité optimisée (continuité et intégrité garanties) amélioreront la sécurité et la fluidité de la circulation routière. Des systèmes évolués d'assistance au conducteur combinés aux récepteurs Galileo intégreront des fonctionnalités telles que l'avertissement de collision et les aides à la vision et aux manœuvres à vitesse réduite.

Les transports ferroviaires bénéficieront également de services de régulation de la circulation, de gestion du parc de véhicules et de conteneurs, de surveillance des voies et d'information



aux voyageurs. Galileo peut contribuer à réduire le nombre d'accidents susceptibles de faire des centaines de victimes. Pour maîtriser des risques tels que le transport de matières dangereuses dans des zones fortement peuplées, un niveau de précision élevé est nécessaire ainsi que des niveaux élevés d'intégrité, de disponibilité et de garantie de service. Les passages à niveau automatiques pilotés par les signaux Galileo remplaceront avantageusement les nombreux passages à niveau non surveillés actuellement en place dans les zones rurales. La certification du service est une condition *sine qua non* pour déployer un système répondant aux exigences de sécurité des applications ferroviaires.

La navigation par satellite jouera un rôle dans l'amélioration des contrôles aux frontières. Les contrôles physiques pourraient se limiter aux marchandises ou personnes non surveillées par cette technique. Cette plus grande efficacité sera profitable aux autorités douanières et au public.

Galileo jouera un rôle essentiel dans toutes les applications précitées en raison de ses caractéristiques intrinsèques de certification, transparence et garantie de service découlant de sa nature civile. En outre, la gestion de l'intégrité (« indicateurs d'intégrité » en temps réel) des performances de navigation sur l'ensemble des services de navigation fait de Galileo un système adéquat pour toutes les applications présentant des risques pour la vie humaine.

Énergie

La synchronisation très précise rendue possible par Galileo permettra d'optimiser le transport d'énergie électrique sur les lignes électriques. Galileo pourrait également faciliter la maintenance des infrastructures de distribution d'électricité. Les réseaux d'énergie électrique sont gérés en permanence par toute une gamme d'instruments répartis sur l'ensemble du réseau. Les données en provenance de ces instruments sont utilisées pour réparer le réseau en cas de rupture d'une ligne de transport d'électricité ou

d'apparition de faiblesses. Galileo raccourcira le temps de synchronisation des instruments nécessaire à un rétablissement intégral du service. La « confiance » et la « traçabilité » de l'horodatage Galileo facilitera la mise en place d'accords contractuels et commerciaux de distribution d'énergie électrique entre organismes publics et privés.

Le secteur pétrolier et gazier peut tirer profit de l'utilisation de Galileo dans un grand nombre de domaines. Par exemple, l'exploration sismique marine utilisera le service de positionnement à la fois pour le navire d'acquisition de données sismiques et pour les ensembles de flottes marines et de perforateurs. Cela renforcera la sécurité des opérations de forage, en permettant d'effectuer un relevé haute résolution des nouveaux sites et la détection des risques géomorphologiques ou géophysiques éventuels.

Le positionnement de l'installation de forage et du navire manipulateur



d'ancres associé sera amélioré grâce à Galileo. Des données de positionnement précises seront fournies lors du transit et du positionnement final des remorqueurs par rapport à l'installation de forage ainsi que de l'ancrage des plates-formes semi-submersibles et des éventuelles installations de forage indépendantes. La position finale de l'installation de forage ainsi que l'orientation finale de la plate-forme seront déterminées avec un degré de précision élevé.

La tendance dans le secteur pétrolier et gazier est de s'écarter des gisements établis pour se tourner vers des sites éloignés et dépourvus d'infrastructure locale. Dans de telles régions, le positionnement et les communications par satellite ont une importance vitale. La transmission de données en temps réel associée à la détermination de la position permet aux compagnies pétrolières de prendre des décisions en temps réel concernant les opérations de forage. Les informations d'intégrité fournies par Galileo sont d'une importance capitale lorsque l'on

approche de la cible et que l'on se prépare à ancrer la plate-forme de forage ou à en abaisser les pieds.

Finance, banque, assurance

À mesure que les transactions financières en ligne prennent une importance croissante dans la vie quotidienne, l'intégrité, l'authenticité et la sécurité des données transmises apparaissent comme des questions capitales en matière d'échange électronique de documents. Par exemple, l'une des préoccupations majeures dans le domaine du commerce électronique est la sécurité de l'information fournie par le client lors du processus d'achat. Ceci nécessite généralement un système de chiffrement dédié. De même, les services bancaires en ligne sont exposés à des risques tels que la falsification de transactions et l'accès non autorisé aux documents, comptes et numéros de cartes de crédit. Les activités boursières sont exposées à des risques similaires. L'estampillage des données basé sur une référence horaire traçable juridiquement permettra de limiter ces risques.

Les systèmes en ligne ont créé le besoin d'une documentation précise et juridiquement valable, fournissant une information détaillée sur l'utilisateur ainsi que sur la nature et l'ampleur de la transaction. Des signatures électroniques sont actuellement utilisées, mais un horodatage améliorera considérablement la sécurité de ces systèmes. Un signal horaire sécurisé reposant sur le système Galileo pourrait être utilisé dans un système de chiffrement fiable offrant comme valeur ajoutée la traçabilité et la fiabilité des données horaires.

Dans le secteur des assurances, Galileo fournit un moyen efficace de contrôle et de surveillance des marchandises précieuses : transfert de lingots d'or entre banques nationales, transport d'œuvres d'art, transport de billets de banque en grande quantité en vue de leur distribution aux banques ou de leur destruction, etc. Un suivi continu réduit les risques et profite ainsi aux compagnies d'assurance et à leurs clients.



Les services certifiés qu'offre Galileo fournissent non seulement une information valide sur le plan juridique, mais permettent également la mise en place d'un grand nombre de services en rapport avec l'assurance automobile et l'assurance des biens. Ceci devrait avoir des conséquences très bénéfiques tant pour le secteur des assurances que pour l'utilisateur final – en permettant notamment la mise en œuvre de conditions novatrices en matière de primes et de polices reposant sur la facturation à l'utilisation ainsi que sur un degré de confiance accru du point de vue des risques assurés.

Agriculture et pêche

Avec l'importance croissante aux yeux des décideurs des questions de sécurité des aliments, y compris risques alimentaires et préoccupations des consommateurs, la réalisation à tout prix des objectifs traditionnels de rendement n'est plus le moteur principal de l'agriculture. Au contraire, les agriculteurs visent des produits agricoles de meilleure qualité, tout en respectant

l'environnement et en maintenant un niveau de revenu acceptable.

La navigation par satellite peut contribuer au contrôle du rendement et à la pulvérisation d'engrais, d'herbicides et d'insecticides à des fins de régénération des zones à faible rendement et de maîtrise des mauvaises herbes et des insectes nuisibles. Des récepteurs Galileo peuvent être facilement installés sur les moissonneuses, tracteurs et pulvérisateurs automoteurs.

Une bonne maîtrise des rendements passe non seulement par une gestion efficace des ressources, et donc par une rentabilité élevée des investissements, mais également par une action de préservation de l'environnement agricole, lequel fait souvent l'objet d'une réglementation stricte. Les agriculteurs pourraient avoir l'obligation légale de fournir des cartes indiquant les zones exactes où des produits chimiques ont été pulvérisés.

Autre application agricole : des bornes Galileo permettront un arpentage « certifié » des parcelles agricoles, solution très économique du point de vue des usagers comme des autorités.

Le secteur de la pêche bénéficiera aussi du système Galileo. Outre la navigation quotidienne et le positionnement des navires, Galileo peut aider au contrôle des ressources halieutiques grâce aux données provenant de la mer et des environs.

Les services certifiés de Galileo permettront aux autorités de s'assurer que les navires de pêche opèrent uniquement dans les zones désignées. Ceci s'applique tout particulièrement au niveau international, où des règles strictes régissent la pénétration dans les eaux territoriales.

De même, Galileo permettra création et amélioration des cadastres. Ceci contribuera à instaurer une sécurité juridique là où l'information cadastrale est actuellement imprécise, voire inexistante.



Navigation personnelle

Galileo ouvre la voie au lancement de divers services dits « selon l'emplacement » en intégrant le positionnement aux communications, en général dans des terminaux de poche déterminant leur position à l'aide du seul Galileo ou en combinaison avec d'autres systèmes.

Ce type de services se caractérise par la connaissance qu'a le fournisseur d'accès ou l'opérateur de réseau de la position de l'appelant mobile, le but étant de fournir à ce dernier l'information qui lui est utile. Les données adressées à l'appareil de l'utilisateur peuvent être automatiquement adaptées pour fournir divers services à la demande (restaurants, hôtels et théâtres les plus proches, prévisions météorologiques, etc.).

Cette technique est particulièrement utile en cas de situation d'urgence, car elle permet de localiser des appelants n'ayant qu'une vague idée – voire aucune – de leur situation géographique. Le système fonctionne automatiquement,

déterminant la position et la communiquant au service d'urgence le plus proche. Ce concept entre dans le cadre du programme européen d'appels d'urgence dit E-112, actuellement en cours de mise au point.

Le suivi des personnes est une autre application pour laquelle une meilleure coordination du personnel extérieur est envisageable : personnel de santé ou des services sociaux visitant des patients, policiers, pompiers, commerciaux. Ce service peut être utilisé de façon générale pour contrôler et coordonner les activités d'un groupe. La même technique peut permettre d'améliorer la sécurité des enfants sur le chemin de l'école.

Le système de facturation des réseaux de communications mobiles pourrait être amélioré. Aujourd'hui, les opérateurs de réseaux mobiles appliquent des tarifs différents en fonction de l'heure. La localisation précise des téléphones pourrait bientôt permettre de facturer en fonction de la situation géographique, et donc l'application de tarifs « société » dans

des zones limitées. La facturation en fonction de l'emplacement pourrait être étendue à des services tels que péages routiers et guides touristiques automatisés.

Gestion des crises

La gestion des crises exige des temps de réponse rapides et une exploitation particulièrement efficace des ressources. Une lutte efficace contre les incendies de forêt, par exemple, nécessite une alerte précoce ainsi qu'une information fiable et précise quant à la position du sinistre. La police et les services d'urgence doivent connaître avec précision et certitude la position des forces déployées afin de pouvoir les coordonner de façon efficace. Cette question est particulièrement critique lorsque le sinistre rend inutilisables les infrastructures « traditionnelles » (électricité, eau, réseau routier, communications, etc.). La vitesse de mise en place de systèmes de substitution temporaire devient un facteur critique, et la fiabilité du signal Galileo en fait un atout de premier ordre dans un tel contexte.

Les inondations, catastrophes maritimes, marées noires, tremblements de terre et opérations d'aide humanitaire sont également des situations de crise.

Gestion environnementale

Galileo devrait jouer un rôle important du point de vue de la communauté scientifique. L'existence de fréquences et signaux nouveaux accroîtra les possibilités d'analyse de données à différentes fins. Par exemple, la collecte continue de données permettra de réaliser de nouvelles expériences dans différents domaines de recherche. Galileo pourrait contribuer à la cartographie des océans et de la cryosphère, y compris à la détermination de l'étendue des zones polluées (et la localisation jusqu'à leur origine des pétroliers en infraction), aux études des marées, courants et niveaux des mers, et au suivi des icebergs. Il contribuera à la surveillance de l'atmosphère : analyse de la vapeur d'eau à des fins de prévision météorologique et d'étude climatique, mesures ionosphériques (radiocommunications, espace, voire prévision des tremblements

de terre), etc. Il permettra en outre de suivre les déplacements des animaux sauvages en vue de préserver leur habitat.

Arpentage et topographie

Ce secteur concerne un groupe d'usager très vaste et très divers : cartographie terrestre et maritime, arpentage cadastral, hydrographie, ressources naturelles, géodésie, exploration sismique en mer, etc. Tous ces usagers ont un besoin en commun : un degré élevé de précision du positionnement. À l'heure actuelle, certains de ces usagers doivent se contenter de techniques de type GPS différentiel (D-GPS) dont l'efficacité est fonction de la présence éventuelle de stations dans la zone concernée. Ces solutions sont par ailleurs très coûteuses du point de vue de l'usager final.

Galileo ouvrira de nouvelles perspectives sur ce marché en assurant un service mondial d'une précision inférieure au mètre grâce à un flux de données de navigation, de télémétrie et de synchronisation d'une plus grande

richesse – avec garantie de service. En outre, cette garantie pourrait ouvrir de nouvelles possibilités commerciales en matière de relations commerciales ou contractuelles avec des tierces parties (contrats d'arpentage « certifié » passés entre des autorités publiques et des sociétés privées dans le cadre d'applications publiques).

Loisirs

Le marché des loisirs prendra à l'avenir une ampleur impensable à l'heure actuelle. Des services GPS sont déjà en place à l'intention de l'aviation et de la navigation de loisir, mais Galileo étendra ces services à la navigation personnelle, grâce à la diffusion d'appareils portatifs avec affichage de carte et fonctions de communications auxiliaires. L'intégration avec la technologie de la communication mobile créera des possibilités nouvelles dans le domaine de la mobilité des personnes.

Des offres intéressantes pour les touristes pourraient reposer sur Galileo, en association avec des systèmes de

communication multimédias interactive liés à des fournisseurs d'information locaux.

Le principal avantage de Galileo est son interopérabilité, qui facilitera son intégration – aux niveaux système et utilisateur – avec les systèmes existants et futurs (GSM, UMTS, etc.).

De la même manière qu'aujourd'hui personne ne peut se permettre d'ignorer l'heure, chacun à l'avenir aura besoin de connaître sa position géographique précise.

Galileo



Services : L'espace au service de l'utilisateur

Les services de navigation, de positionnement et de synchronisation par satellite deviennent un élément indispensable de nombreuses activités. La gestion et le contrôle des différents modes de transport (y compris ceux à grands risques), des réseaux de communication et de bien d'autres infrastructures d'utilité publique devraient reposer en grande partie sur la navigation par satellite. Les applications grand public, y compris les systèmes combinés de navigation et de communication mobile, se développent rapidement et ont leurs propres besoins. Galileo est conçu pour répondre aux exigences de ces applications, si diverses et nombreuses.

Galileo : la notion de service

Contrairement au GPS, Galileo diffusera des données d'intégrité dans le cas de certaines applications critiques, assurant ainsi la confiance dans la précision du positionnement. Les usagers recevront un message d'avertissement en temps réel à chaque fois que le système n'aura pu respecter la précision annoncée. Le système Galileo garantit que cet

avertissement sera diffusé suffisamment vite, même pour les applications les plus exigeantes telles que l'atterrissage des avions.

Le fait de garantir la précision et l'intégrité du signal constitue un avantage concurrentiel pour l'introduction rapide des services Galileo en présence du système GPS en place. Galileo donnera aux fournisseurs d'accès ainsi qu'aux usagers la confiance nécessaire dans leurs investissements.

La garantie de précision et d'intégrité nécessite une approche définissant le rôle des partenaires publics et privés. Des normes pour les signaux reconnues mondialement sont essentielles pour une acceptation internationale de la navigation par satellite et permettront une adoption plus rapide du système par toutes les collectivités d'usagers. La certification des éléments ou fonctions clés d'applications pour lesquelles la sécurité est primordiale donnera aux autres utilisateurs la garantie que le système est fiable.

Ce cadre sera défini en consultation avec des organisations internationales telles que celles régissant la navigation aérienne ou maritime, ainsi qu'avec les autorités nationales réglementant des applications spécifiques.

Galileo : un système mondial et ouvert

Il ne fait pas de doute que Galileo doit avoir une couverture mondiale, non seulement pour offrir un service transparent aux utilisateurs de la navigation maritime et de l'aviation civile, mais également pour permettre aux équipementiers et opérateurs européens de vendre leurs produits dans le monde entier. Les synergies entre navigation et communication sont évidentes et doivent être encouragées dès le début du programme. Il existe des opportunités immédiates en ce qui concerne les réseaux mobiles terrestres tels que GSM et UMTS, les réseaux de communication par satellite assurant la prise en charge étendue en cas de besoin.

Pour garantir l'indépendance européenne, Galileo doit être une

infrastructure autonome, tout en étant compatible et interopérable avec des systèmes tels que GPS, non seulement pour offrir la meilleure disponibilité possible, mais également pour faciliter l'introduction des services propres à Galileo. En outre, Galileo permet l'intégration ultérieure de composantes régionales.

Cartographie – besoins des utilisateurs et services correspondants

La nécessité de disposer de plusieurs catégories de service, en termes de précision, de garantie de services, d'intégrité, etc., a été reconnue. La plupart des exigences seront satisfaites essentiellement par le signal satellite, souvent associé à des capteurs auxiliaires pouvant, par exemple, se trouver dans le véhicule de l'utilisateur. Les exigences d'amélioration du service peuvent être satisfaites de façon optimale par des composantes locales proposées par des opérateurs privés sous forme de services à valeur ajoutée. Les différentes exigences de service ainsi que le niveau de performance et les critères de sécurité

qui leur sont associés peuvent être répartis en cinq groupes de services distincts, comme indiqué ci-dessous.

Le **Service ouvert** (OS – Open Service) Galileo est conçu pour les applications grand public. Il fournira gratuitement des signaux de synchronisation et de positionnement, et sera accessible à tout utilisateur équipé d'un récepteur. Trois fréquences distinctes sont proposées dans le cadre du service ouvert, mais pour les applications exigeant une moindre précision, des récepteurs mono-fréquence à bon marché suffiront. D'une manière générale, les applications OS utiliseront une combinaison de signaux Galileo et GPS, ce qui améliorera les performances dans des environnements défavorables tels que les zones urbaines.

Le service ouvert ne fournira pas de données d'intégrité, et l'estimation de la qualité des signaux sera entièrement à la charge de l'utilisateur. Ce service ne fera l'objet d'aucune garantie de service ou responsabilité de l'opérateur de Galileo.

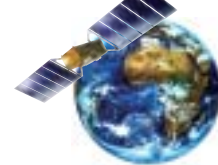
Le **Service de sûreté de la vie** (SoL – Safety of Life) sera utilisé pour la plupart des applications de transport dans le cadre desquelles des vies peuvent être menacées en cas de dégradation des performances du système de navigation sans avertissement en temps réel. Ce service présentera la même précision de positionnement et de synchronisation que le service ouvert. La principale différence est la fourniture, à l'échelle planétaire, d'un niveau d'intégrité élevé pour les applications où la sécurité est primordiale (transports maritimes, aériens et ferroviaires, etc.) et pour lesquelles une garantie de précision est essentielle.

Ce service mondial améliorera la sécurité, en particulier en l'absence de services traditionnels basés sur des infrastructures au sol. Il améliorera les performances des sociétés opérant à l'échelle de la planète - compagnies aériennes et de transport maritime transocéanique. Le programme européen EGNOS de complément au système GPS sera intégré de façon

optimale dans le service de sûreté Galileo, de façon à fournir des données d'intégrité indépendantes et complémentaires (sans mode de défaillance commun) relatives aux constellations GPS et Glonass.

Le service de sûreté sera certifié et ses performances reposeront sur des récepteurs double fréquence certifiés. Dans ces conditions, la future société d'exploitation de Galileo garantira ce service. Pour bénéficier du niveau de protection requis, le service de sûreté exploite les bandes de fréquences des services de radionavigation aéronautique (L1 et E5).

Le **Service commercial** (CS – Commercial Service) est destiné aux applications du marché exigeant des performances supérieures à celles offertes par le service ouvert. Il offrira des services à valeur ajoutée moyennant paiement d'un droit. Le service commercial repose sur l'ajout de deux signaux aux signaux du service ouvert. Cette paire de signaux est protégée par cryptage commercial géré



par les fournisseurs d'accès et le futur opérateur de Galileo. L'accès est contrôlé au niveau du récepteur au moyen de clefs d'accès.

Les utilisations prévues du service commercial comprennent la diffusion des données et la résolution des ambiguïtés dans les applications différentielles. Ces applications seront développées par les fournisseurs d'accès qui achèteront à l'opérateur Galileo le droit d'utilisation des deux signaux commerciaux.

La mise au point d'applications commerciales exploitant uniquement les signaux commerciaux ou les combinant avec d'autres signaux Galileo ou avec ceux d'autres systèmes de communications ouvre toute une palette de possibilités. La couverture mondiale confère un sérieux avantage aux applications exigeant la diffusion mondiale de données.

Comme exemples de services à valeur ajoutée types, on peut citer : garanties de service, services de synchronisation,

fourniture de modèles de prévision ionosphérique et de signaux locaux de correction différentielle permettant la détermination de la position avec une précision extrême, et divers autres services reposant sur la diffusion de données d'information système.

Galileo est un système civil assurant un service fiable à accès contrôlé pour les applications gouvernementales.

Le **Service du public réglementé** (PRS – Public Regulated Service) sera utilisé par des groupes tels que la police, les garde-côtes et la douane. Des organismes civils contrôleront l'accès à ce service crypté. L'accès par région ou groupe d'utilisateurs obéira aux règles de la politique de sécurité applicable en Europe.

Le service public réglementé est opérationnel à tout moment et en toutes circonstances, notamment lors des périodes de crise. L'un de ses principaux atouts est la fiabilité de son signal, qui le protège du brouillage et du leurrage.

Le **Service de recherche et sauvetage** (SAR – Search and Rescue) est la contribution de l'Europe à l'effort coopératif international en matière de recherche et sauvetage humanitaire. Il sera source d'améliorations importantes du système existant : réception en temps quasi-réel de messages de détresse depuis n'importe quel point du globe (le délai d'attente moyen est actuellement d'une heure), positionnement précis des alertes (quelques mètres, contre 5 km actuellement), détection à l'aide de satellites multiples pour surmonter le problème de blocage lié à la topographie par conditions défavorables, plus grande disponibilité du segment spatial (30 satellites en orbite moyenne en plus des quatre satellites en orbite basse et des trois satellites géostationnaires du système actuel COSPAS-SARSAT), etc. Galileo introduira de nouvelles fonctions de recherche et sauvetage telles que la liaison retour (de l'opérateur SAR vers la balise de détresse), facilitant ainsi les opérations de sauvetage et contribuant à réduire le taux de fausses alertes. Ce service est actuellement défini en

coopération avec COSPAS-SARSAT, et la réglementation de ses caractéristiques et fonctions est placée sous les auspices de l'Organisation maritime internationale (IMO) et l'Organisation de l'Aviation civile internationale (ICAO).

Galileo



Infrastructure : De l'espace à la terre

Segment espace et sol

Le cœur du système Galileo est constitué d'une constellation mondiale de 30 satellites en orbite moyenne sur trois plans inclinés à 56° par rapport à l'équateur, à l'altitude de 23 222 km environ. Neuf satellites seront équirépartis sur chaque plan d'orbite, chacun orbitant autour de la Terre en environ 14 heures. Pour chaque plan, un satellite supplémentaire est maintenu en veille à des fins de remplacement immédiat de tout satellite défaillant sur le plan en question.

Les satellites feront appel à des technologies éprouvées. La plate-forme tournera sur son axe géocentrique (lacet) de façon à ce que ses panneaux solaires restent orientés en direction du soleil (produisant une puissance de crête de 1 600 W). Un caisson regroupera la charge utile et les éléments de plate-forme. La masse au lancement sera d'environ 700 kg pour chaque satellite.

Une fois la constellation initiale établie, d'autres lancements permettront de remplacer les satellites défaillants et de

régénérer le système à mesure que les satellites d'origine atteignent leur limite de vie. La solution type de mise en place de la constellation consiste à lancer plusieurs satellites par lanceur, à l'aide d'un adaptateur capable de placer jusqu'à huit satellites simultanément en orbite moyenne. Des lanceurs plus petits seront utilisés pour les missions initiales de validation en orbite et pour les missions de renouvellement.

Un réseau de postes terrestres composés de stations de détection, centres de commande et postes de liaison montante assureront la gestion des satellites, qui seront placés sous la surveillance constante d'un réseau mondial de stations de détection Galileo. Les données de mesure précises des signaux de navigation seront transmises aux deux centres de commande Galileo, en Europe, à des fins de traitement supplémentaire : des logiciels de pointe détermineront les orbites des satellites ainsi que la dérive des horloges atomiques par rapport au système temporel Galileo en place au sol. Les données d'orbites et d'horloge seront transmises aux satellites

toutes les deux heures environ à des fins de transmission aux usagers, qui les exploiteront par le biais d'algorithmes de positionnement. Cette fréquence de mise à jour élevée garantira le niveau de précision également élevé exigé du système. Les centres de commande assureront en outre le calcul des données d'intégrité nécessaires au service de sûreté de vie. Ces données d'intégrité seront transmises aux satellites à intervalles encore plus réduits que les données d'orbite et d'horloge. En cas de problème (mauvaise transmission des signaux, etc.), le système alertera les usagers dans les 6 à 10 secondes au maximum.

Le transfert de données en provenance et à destination des satellites sera assuré par un réseau mondial de stations de télémétrie, télécommunications et poursuite (données de pilotage et de contrôle des satellites) et de stations de mission liaison montante (chargement des données de navigation : orbite, erreurs d'horloge, intégrité).

Les données d'intégrité calculées par les centres de commande Galileo seront



exploitables par tout utilisateur en n'importe quel point de la planète, car elles reposeront sur les mesures d'un réseau mondial de stations de détection.

Les fournisseurs de service régionaux pourront en outre contrôler l'intégrité des services Galileo pour leur zone à l'aide de leur propre réseau de stations de contrôle, de manière à diffuser ces données d'intégrité régionales par le biais des canaux autorisés de liaison montante de données d'intégrité fournis par Galileo. Ces données peuvent également être transmises au centre de contrôle Galileo à des fins d'intégration aux données d'intégrité centralisées.

Des composantes locales optimiseront ce qui précède en diffusant des données locales au moyen de liaisons radio terrestres ou de réseaux de communication existants, afin d'offrir un supplément de précision ou d'intégrité autour des aéroports, des ports, des gares et dans les zones urbaines. Des composantes locales seront également déployées pour étendre les services de navigation à l'intérieur des bâtiments.

Fréquence et type de signal

Galileo transmettra 10 signaux : six servant au service ouvert et au service de sûreté (bien qu'une partie puisse également être exploitée par le service commercial), deux sont réservés aux services commerciaux, et deux aux services publics réglementés. Ils seront diffusés dans les bandes de fréquences suivantes :

- E5A-E5B (1164-1215 MHz) et E6 (1260-1300 MHz), attribuées à RNSS lors de la conférence WRC-2000 d'Istanbul ;
- E2-L1-E1 (1559-1591 MHz), attribuée à RNSS avant WRC-2000 et déjà utilisée par le GPS. Le partage de cette bande avec le système GPS se fera sans interférences, de manière à ne pas perturber les services GPS actuels tout en offrant aux utilisateurs un accès simultané à GPS et Galileo, pour un accroissement minimal du coût et de la complexité des terminaux.

Les signaux de navigation Galileo comprendront des codes de télémétrie et des messages de données. Les messages de données comprendront de l'information

relative aux horloges de satellite, aux éphémérides des orbites, aux indicateurs d'identité et de statut et à l'almanach de la constellation, mais également un signal fournissant aux utilisateurs une prévision quant à la précision dans le temps de l'horloge des satellites et des éphémérides. Ces messages comprendront également les données d'intégrité, déterminées de manière centrale sur la base des mesures prises du réseau mondial de stations de réception gérant la constellation Galileo ainsi que, le cas échéant, des données d'intégrité régionales.

Un aspect important du concept Galileo est la prestation de services commerciaux, dont la diffusion de données sera un élément important. Toute une gamme de fréquences de débits, allant jusqu'à 1 000 symboles par seconde, est envisagée pour les messages de données de manière à optimiser les possibilités en matière de services à valeur ajoutée (alertes météorologiques, avertissements d'accident, informations routières, mises à jours cartographiques, etc.).



EGNOS, précurseur de Galileo

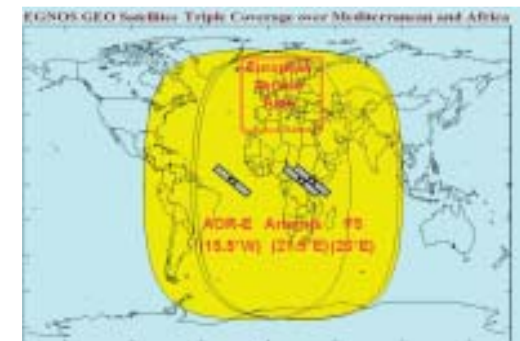
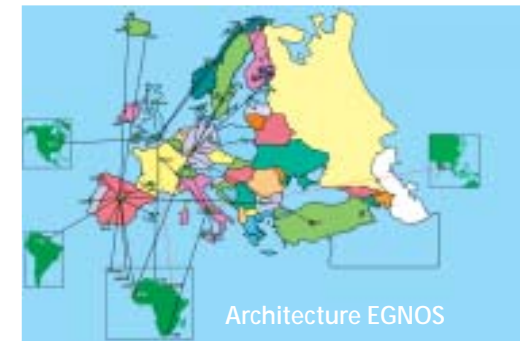
Le service européen de navigation par complément géostationnaire (EGNOS – European Geostationary Navigation Overlay Service) est la première initiative de l'Europe dans le domaine de la navigation par satellite. Projet conjoint de l'ESA, de la Commission européenne et de l'Organisation européenne pour la sécurité de la navigation aérienne (Eurocontrol), EGNOS constitue la première phase de la stratégie européenne de navigation par satellite, ouvrant la voie pour Galileo, dont il offre d'ores et déjà certains services. Système européen d'augmentation satellitaire (SBAS – Satellite-Based Augmentation System), EGNOS est en cours de mise en œuvre à des fins de soutien aux usagers dans les secteurs européens des transports aériens, maritimes et terrestres. Il renforce les systèmes GPS et GLONASS et les adapte aux applications critiques du point de vue de la sécurité (avion en vol, pilotage d'un navire dans des canaux étroits, etc.). EGNOS est conçu pour répondre aux exigences de performances extrêmement strictes relatives à un avion en phase d'atterrissage, de sorte qu'il répond naturellement à la plupart des autres exigences des usagers :

- disponibilité améliorée par la diffusion de signaux de type GPS par un maximum de trois satellites géostationnaires ;
- précision améliorée de 1 à 2 m sur le plan horizontal (contre près de 20 m auparavant) et de 3 à 5 m sur le plan vertical ;
- amélioration de l'intégrité et de la sécurité - l'utilisateur est averti dans les six secondes en cas de dysfonctionnement du GPS.

Si le GPS a révolutionné la navigation et le positionnement au cours des deux décennies écoulées, il a ses inconvénients : certains usagers ont besoin d'un engagement ferme en matière de contrôle civil, d'autres ont besoin d'une précision nettement supérieure aux possibilités du seul GPS, et le système d'avertissement en cas de dysfonctionnement est insuffisant dans le cas d'applications critiques. Les systèmes de complément satellitaire tels qu'EGNOS font plus que répondre à ces préoccupations, ouvrant la voie aux services Galileo, améliorant les solutions de positionnement et accroissant la sécurité. Tout ce qui se faisait auparavant par le biais du GPS est désormais plus aisé et de qualité supérieure. De nos jours, lorsqu'un satellite GPS présente des problèmes de fonctionnement, l'avertissement peut mettre jusqu'à trois heures pour parvenir aux utilisateurs, et dans l'intervalle la dérive du positionnement peut être bien supérieure à 100 m. Mais chaque SBAS envoie un message d'alarme dans les six secondes en cas de dysfonctionnement du GPS, contribuant à la préservation des performances.

À partir de 2005, les services EGNOS sont fournis en Europe occidentale ainsi qu'en Méditerranée pour les applications non critiques. EGNOS peut être étendu à d'autres régions du monde, y compris l'Afrique, l'Amérique du Sud et l'Asie. Il compte parmi plusieurs systèmes de même type actuellement en service ou en cours de mise en œuvre à l'échelle mondiale : WAAS aux États-Unis, MSAS au Japon et GAGAN en Inde. Reposant sur des normes internationales communes, EGNOS assurera l'interopérabilité avec ces autres systèmes, permettant à tout usager doté d'un récepteur GNSS d'exploiter les signaux des augmentations EGNOS, WAAS, MSAS ou GAGAN, selon la région.

Le financement, la construction, le déploiement et la validation du système EGNOS sont pris en charge par des organismes publics ainsi que par les professionnels européens du contrôle de la circulation aérienne. L'exploitation et les services seront confiés sous licence à l'exploitant économique EGNOS (EEO) et gérés dans le cadre de la concession Galileo. EGNOS constitue un premier pas vers la mise en place de services de navigation satellitaire européen, ouvrant la voie aux services Galileo. Aux fins de l'aviation civile, il est en conformité avec les normes OACI mondiales. Il est également adapté aux besoins du transport multimodal et de nombreuses applications hors transports. Il sera intégré à Galileo dans le cadre de la concession d'exploitation de ce dernier. L'infrastructure EGNOS sera ouverte en 2005 aux applications non critiques du point de vue de la sauvegarde de la vie humaine (« SoL »). L'aviation civile pourra utiliser les signaux EGNOS de manière opérationnelle dès que le service SoL sera certifié.



Galileo



Excellence en matière de développement technologique

Le système Galileo repose sur un certain nombre de nouvelles technologies (génération de signal et indication de l'heure dans le segment spatial, contrôle précis et opérations sécurisées dans le segment sol, etc.). L'ESA a commencé à développer les technologies les plus critiques dès le lancement du programme Galileo. Ces technologies couvrent maintenant presque tous les domaines de Galileo, y compris les outils de simulation.

Charge utile

La charge utile des satellites comprend les systèmes de synchronisation ainsi que de production et de transmission du signal. Il y aura également des antennes dédiées au service de recherche et sauvetage (COSPAS SARSAT), plus les étages de conversion, transmission et réception de fréquence.

Le **module de synchronisation** constitue le cœur même de la charge utile, son horloge atomique fournissant une référence horaire très précise. Cette horloge se caractérise par une erreur de position induite au sol bien inférieure à

30 cm. Deux horloges différentes ont été développées. L'étalon atomique peu volumineux de fréquence rubidium (3,3 kg) est dérivé d'un modèle commercial utilisé dans les réseaux de communication. Cette horloge oscille à des fréquences optiques (pompage laser) avec une fréquence de battement micro-ondes d'environ 6,2 GHz. Il est prévu que la transmission des corrections pour cette horloge aura lieu toutes les 2 heures. La mise au point du maser passif à hydrogène, plus complexe mais également plus précis, a débuté en 2001. Cet appareil est plus volumineux que l'horloge rubidium, sans pour autant poser de problèmes d'intégration dans les satellites (il pèse 18 kg). L'horloge est cadencée directement à 1,4 GHz. Sa stabilité est telle que l'intervention du contrôle au sol ne s'impose qu'une fois par orbite.

Le module de génération du signal

fournit les signaux de navigation. Ces signaux se composent de codes télémétriques qui sont tout d'abord combinés avec les messages de

navigation concernés, puis translatés en fréquence avant transfert vers le module de transmission. Les messages de navigation contiennent des informations concernant l'orbite des satellites (éphémérides) et les références des horloges.

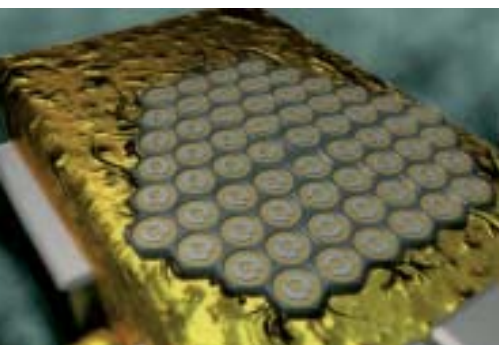
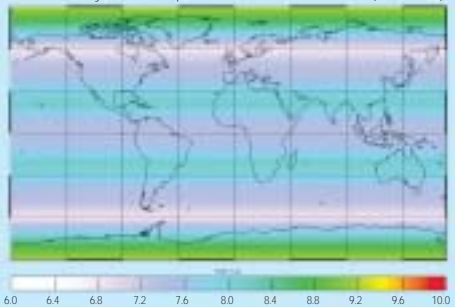
Deux progrès techniques ont contribué à démontrer la faisabilité du signal Galileo : le système de génération du signal de navigation et le système de génération de fréquence et de conversion montante.

Le **module de transmission** amplifie les quatre porteuses de signal de navigation jusqu'à environ 50 W chacune. Ces signaux sont ensuite combinés dans un multiplexeur de sortie et envoyés à l'antenne de transmission. Deux amplificateurs de puissance se chargent des bandes basses et élevées du spectre de fréquences Galileo.

L'antenne de navigation a fait l'objet de deux activités parallèles. Ces antennes doivent « illuminer » la surface terrestre d'un niveau de puissance de flux quasi



Précision moyenne sur le plan vertical du service ouvert (en mètres)



constant, que le récepteur soit directement sous le satellite (plus court trajet de propagation du signal) ou qu'il suive le satellite sous un angle d'élévation très faible (plus long trajet de propagation du signal), de manière à minimiser les interférences entre les signaux des différents satellites.

Comme pour la charge utile recherche et sauvetage, la mise au point du module antenne a fait l'objet de soins particuliers. Ce module assure émission et réception sur deux bandes de fréquence, dont une très voisine de la bande de navigation.

Plate-forme

La plate-forme du satellite fera largement appel à des technologies existantes.

Cependant, les fonctions de télécommunication et télémétrie seront activées selon deux modes différents : le mode standard, utilisé pour les opérations de poursuite, télémétrie & contrôle (TT&C – Tracking, Telemetry & Command) de la plupart des missions ESA et un nouveau mode reposant sur des signaux à spectre étalé. Le nouveau

mode est envisagé principalement pour les opérations normales de la constellation et devrait assurer au système une robustesse et une sécurité renforcées.

Les exigences en matière de fonctionnement, de sécurité et de polyvalence des répéteurs TT&C sont sévères. Il sera possible de modifier les fréquences opérationnelles de télécommande/télémétrie (TC/TM) dans une plage limitée pour permettre des lancements multiples, pour réduire les niveaux d'interférence et prendre en compte les aspects sécurité et l'évolution de l'attribution des fréquences tout au long du cycle de vie de la mission. En outre, le système exige la robustesse des signaux assurée par les techniques d'étalement du spectre et la sécurité renforcée de la liaison TT&C par l'utilisation des techniques de chiffrement des données et d'authentification.

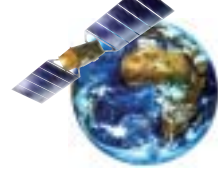
Le répéteur de bande S recevra les signaux de télécommande, mesures de distance et autres, et transmettra les signaux de télémétrie et la mesure de

distance transposée. Il peut être piloté par des références d'horloges internes et externes. En outre, la fonction de mesure peut supporter les fonctions de transfert du temps et de synchronisation d'horloge grâce à une référence d'horloge au sol d'une grande stabilité.

Le pré-développement du répéteur TT&C a commencé en 2000 avec pour objectif la réalisation d'un modèle technologique. L'activité se focalise sur la réalisation d'un modèle flexible caractérisé par une masse et une consommation d'énergie optimisée, ainsi que par une grande fiabilité.

Outils de simulation

La fonction de simulation du système Galileo (GSSF – Galileo System Simulation Facility) est un outil simulant intégralement le système. Cet outil fournit des modèles de haut niveau des segments spatial, utilisateur et sol de Galileo, et des effets de l'environnement sur les performances de navigation. Les modèles peuvent être exécutés en temps réel et permettent d'effectuer l'analyse



des facteurs de qualité spécifiques, y compris des analyses d'intégrité et de précision de navigation pour les récepteurs Galileo, GPS et hybrides (Galileo/GPS). La souplesse de l'architecture GSSF permet de relier des modèles et algorithmes définis par l'utilisateur aux modèles généraux GSSF. Les futurs utilisateurs de Galileo pourront également utiliser GSSF pour concevoir efficacement leurs systèmes de navigation dans un environnement réaliste.

L'installation de validation du signal Galileo (GSVF – Galileo Signal Validation Facility) permet de produire le signal Galileo tel qu'il est reçu par l'utilisateur. Ce signal regroupe jusqu'à 16 sources satellitaires et prend en compte les effets de propagation entre satellites et usager. Contrairement au GSSF, dans le cadre duquel le récepteur de l'utilisateur fait l'objet d'une modélisation logicielle, le GSVF permet le branchement direct du véritable récepteur sur le système de simulation, son antenne étant remplacée par la sortie du GSVF. Du point de vue du

récepteur le signal ne se différencie en rien d'un signal en provenance d'un satellite, et le récepteur fonctionne exactement comme s'il était installé dans un véhicule terrestre, naval ou aérien, selon le type de profil utilisateur simulé. Le GSVF est doté de modèles très poussés assurant des simulations d'un très haut niveau de réalisme. Il servira d'outil de référence lors des essais des récepteurs Galileo.

Banc d'essai du système Galileo

Parallèlement à la mise au point des systèmes satellitaires, un banc d'essai global a été élaboré à des fins de mise à l'épreuve des systèmes au sol critiques, et un satellite expérimental, actuellement en cours de construction, sera lancé avant les satellites de validation orbitale.

La première phase du programme (GSTB-V1) est un segment au sol expérimental visant à vérifier la validité des concepts Galileo en matière d'algorithmes de détermination d'orbite, de synchronisation et de contrôle d'intégrité. En l'absence de satellites

Galileo, le GSTB-V1 exploite les signaux des satellites GPS. Un réseau mondial de stations de référence GPS fait office de réseau mondial de stations de détection Galileo. Les mesures GPS effectuées par le réseau ont confirmé le caractère réaliste des strictes exigences de performances fixées pour Galileo. Des erreurs inférieures à 50 centimètres ont été obtenues sur une base régulière en matière de détermination orbitale et de synchronisation. La faisabilité de l'établissement d'une horloge maîtresse Galileo est également démontrée. Le GSTB-V1, qui est en service depuis le début 2004, a été mis en place en collaboration avec la communauté scientifique (Service GPS international, communauté UTC, etc.). La mise à disposition des données via Internet encourage les scientifiques à examiner les résultats et à prendre part à la mise au point de Galileo.

La deuxième phase du programme (GSTB-V2) consiste en la mise au point et le lancement d'un satellite expérimental avant le lancement de la première série

de satellites Galileo. Ce satellite, qui sera mis sur orbite Galileo (altitude de 23 222 km) fin 2005, satisfera aux exigences de l'Union internationale des télécommunications (UIT) pour ce qui est des fréquences réservées à Galileo. En outre, il servira à la définition de l'orbite Galileo et à la validation de systèmes satellitaires critiques (horloges, etc.), fournissant une somme d'information précieuse pour la mise au point des satellites opérationnels. Compte tenu du caractère critique de la mission, deux satellites expérimentaux sont en cours de mise au point en parallèle, l'intention étant de lancer l'un ou l'autre indifféremment.

Galileo



Mise en œuvre et gestion

L'infrastructure est mise en œuvre en trois phases :

Développement et validation en orbite (à partir de 2002) :

- ⊕ **consolidation des exigences de la mission ;**
- ⊕ **lancement fin 2005 du premier satellite expérimental ;**
- ⊕ **mise au point de 4 satellites et des composantes au sol ;**
- ⊕ **validation du système en orbite.**

Déploiement :

- construction et lancement des 26 satellites restants ;
- installation du segment sol complet.

Exploitation commerciale (à partir de 2008)

Le financement de la phase de développement et de validation en orbite est principalement le fait de l'ESA et de la CE. L'entreprise commune Galileo supervise sa mise en œuvre et prépare le terrain pour la phase de déploiement. Au cours de cette phase, une contribution

majeure viendra du secteur privé par le biais d'un contrat de concession.

L'ESA se charge actuellement du développement et de la validation du segment spatial et du segment sol associé.

Au début de la phase de mise au point, un satellite expérimental sera lancé en vue de consolider les droits européens sur les fréquences Galileo, de préciser les caractéristiques des orbites des satellites de validation et de tester des systèmes critiques tels que les horloges atomiques. La validation en orbite aura lieu avant 2007.

Les phases de développement et de validation orbitale seront suivies des phases de déploiement et d'exploitation : fabrication et lancement des satellites restants, achèvement de l'infrastructure au sol et exploitation et entretien de routine du système pour une durée minimum de vingt ans.

Lors de la phase d'exploitation commerciale, les revenus du secteur privé seront tirés entre autres des services à valeur ajoutée vendus aux opérateurs par le détenteur de la concession ainsi que de l'exploitation des droits de propriété intellectuelle. D'ici 2015, les revenus perçus par le concessionnaire permettront de ramener à zéro la part des fonds publics. Des mécanismes de partage des bénéfices seront négociés avec le concessionnaire.

Éléments-clefs

L'utilisateur au cœur du système

La conception du système Galileo repose sur les besoins des usagers, besoins qui sous-tendent les objectifs de la mission et la définition des différents services satellitaires adaptés à chaque groupe d'utilisateurs.

Pas seulement un signal venu de l'espace

Les usagers Galileo ne seront pas laissés à eux-mêmes. Ils bénéficieront d'un cadre adapté à leurs besoins :

- l'autorité de tutelle Galileo contrôlera la qualité des services fournis compte tenu des objectifs de la mission et des intérêts du public ;
- le concessionnaire Galileo sera en interaction avec les différents usagers et prestataires de services à valeur ajoutée par le biais de centres de service spéciaux et d'accords de service ad hoc ;

- un réseau de prestataires de services à valeur ajoutée ayant signé des accords d'exploitation commerciale avec le concessionnaire sera mis en place pour optimiser la chaîne de valeur aval.

Système sous contrôle permanent

Les performances de Galileo font l'objet d'un contrôle permanent dont les résultats sont mis à la disposition des usagers et des clients des applications reposant sur le système.

Optimisation des ressources

Les services Galileo seront gratuits pour l'utilisateur final ou facturés sur la base de services spécifiques, les usagers ayant toute latitude d'opérer leur choix en fonction de critères économiques.

Mondial et local

Galileo fournit des services mondiaux aux performances homogènes à l'échelle de la planète. Simultanément, ses composantes locales se prêtent à une

adaptation et à un renforcement de ses services en fonction des besoins régionaux et locaux.

Intégration GPS, EGNOS et Galileo

Les systèmes Galileo, GPS et EGNOS sont compatibles et n'empiéteront pas les uns sur les autres. Plus important, du point de vue de l'utilisateur : ils sont entièrement interopérables. Les performances des récepteurs se trouveront accrues grâce à l'exploitation simultanée des deux constellations. Le récepteur Galileo-GPS-EGNOS constituera une solution commune pour la majorité des applications, tout particulièrement du point de vue du grand public.

Sécurité et rentabilité

En ce qui concerne les applications relatives à la sécurité, Galileo permettra de réduire les investissements dans les infrastructures au sol. Ces infrastructures sont généralement onéreuses, autant au déploiement qu'à l'entretien, et ne sont pas toujours compatibles d'une région

ou d'un État à l'autre. Les applications Galileo constitueront des solutions économiques satisfaisant parfaitement aux exigences de sécurité.

Perspectives commerciales

La chaîne de valeur aval de Galileo ne concerne pas que le concessionnaire. Elle comporte entre ce dernier et le client/utilisateur final bon nombre de niveaux de valeur ajoutée ouvrant d'importantes perspectives commerciales du point de vue de divers secteurs industriels et prestataires de services.

Exigences strictes

Le cœur du système Galileo est conçu pour satisfaire à des exigences et normes très strictes fixées par les secteurs des transports aériens, maritimes et ferroviaires, dans lesquels la sécurité des personnes est primordiale. Une certification reposant sur ces exigences constituera une garantie supplémentaire du point de vue des autres usagers.