

Galileo : une boussole spatiale européenne réglée par des ingénieurs belges

Par Ir. Benoît Bidaine

Les systèmes globaux de navigation par satellites (GNSS) possèdent un vaste domaine d'applications. Ils peuvent, par exemple, être couplés aux télécommunications afin de fournir certains services « selon l'emplacement ». Deux d'entre eux sont actuellement disponibles, le Global Positioning System (GPS) américain et le GLObal NAvigation Satellite System (GLONASS) russe, mais ils seront bientôt rejoints par un projet européen baptisé Galileo spécifiquement conçu à des fins civiles avec le concours d'ingénieurs et de scientifiques belges.

Comme ses frères américain (GPS), russe (GLONASS) et bientôt chinois (Compass), le système Galileo, du nom du célèbre astronome qui pointa sa lunette sur Jupiter il y a bientôt 400 ans, tirera parti de la propagation des ondes radio pour fournir des mesures de positions et de temps. Utilisant simultanément les signaux en provenance d'un minimum de quatre satellites, un récepteur est en effet capable de calculer sa position par **triangulation** moyennant la synchronisation de son horloge interne avec l'échelle de temps du système utilisé. Cette technique suppose donc une **infrastructure** d'une envergure souvent insoupçonnée :

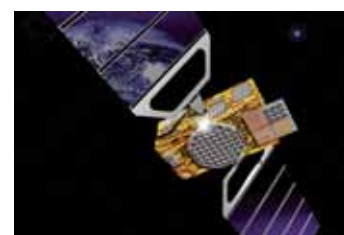
- une constellation de plusieurs dizaines de satellites – on parle de segment spatial – embarquant chacun une ou plusieurs horloges atomiques ultra-précises et capables d'émettre des signaux à différentes fréquences ;
- un ensemble de stations terrestres, le segment sol, recueillant en continu des informations sur l'état de la constellation et transmettant aux satellites les données à émettre vers les utilisateurs.

Galileo ne dérogera pas à la règle puisqu'il comptera 30 satellites et plusieurs dizaines de stations au sol. Sous contrôle civil, ce qui lui confère un premier avantage sur le GPS, il pro-

posera pas moins de **cinq services** pour des utilisations diverses, plus ou moins précises et coûteuses. Le plus connu sera sans doute le service ouvert (*Open Service*) accessible gratuitement pour tous les utilisateurs comme par exemple nos récepteurs de voiture. Le service commercial (*Commercial Service*) payant fournira des données supplémentaires pour certains usages particuliers. Viennent ensuite deux services nécessitant une grande fiabilité, le service de sûreté de la vie (*Safety of Life service*) pour des applications critiques comme le transport aérien et le service public réglementé (*Public Regulated Service*) pour les services publics (urgences, etc.). Enfin le service de recherche et secours (*Search And Rescue service*) permettra de localiser des balises de détresse COSPAS-SARSAT.

Le système Galileo présentera un certain nombre d'**avantages** dont voici quelques exemples :

- son interopérabilité avec les deux systèmes existants puisque les signaux en provenance des différentes constellations pourront être combinés afin d'améliorer les performances des mesures effectuées ;
- sa précision garantie puisque, contrairement aux systèmes précédents, il transmettra certaines informations à ce sujet via un message d'intégrité ;
- ses orbites plus stables car peu affectées par les phénomènes de résonance sous l'influence du champ gravitationnel terrestre ;
- ses signaux utilisant des techniques de modulation innovantes permettant une acquisition plus robuste. Le tableau I compare quelques caractéristiques des systèmes GPS et Galileo.



Vue artistique d'un des satellites qui formeront la constellation Galileo – Source image : ESA



Pour déterminer sa position, un récepteur GNSS doit utiliser les signaux en provenance d'au moins quatre satellites.
© Thales Alenia Space

Tableau I : comparaison de quelques caractéristiques des systèmes GPS et Galileo.

	GPS	Galileo
Contrôle	Militaire	Civil
Nombre de services	2	5
Nombre de fréquences	2	3
Précision horizontale pour des utilisateurs civils	20 m	15 m
Nombre de satellites (opérationnels/réserve)	24/5	27/3
Altitude moyenne	20 200 km	23 222 km
Nombre de plans orbitaux	6	3
Inclinaison	55°	56°
Période	12 h	14 h



Galileo : le système européen de navigation par satellite.
Source Image : ESA

Les premiers événements notoires de l'histoire de Galileo sont sans conteste les lancements réussis des deux premiers satellites expérimentaux, GIOVE-A et GIOVE-B.

Théo Pirard, chroniqueur spatial, et Michel Stassart du cluster Wallonie Espace.



À mi-chemin entre Bruxelles et Luxembourg, le long de l'auto-route E411, « Galaxia » est cette construction futuriste qui tire son énergie du Soleil pour accueillir les entreprises qui ont des activités dans l'espace ou développent des applications par satellites.

©Samyn&Partners
Architects&Engineers



Un projet ambitieux de longue haleine

Le programme Galileo, né de la collaboration de la Commission européenne (EC) et de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), a officiellement été lancé en mai 2002. Il se base sur une phase de test antérieure à cette date mais également sur l'expérience accumulée au cours de la conception et de la mise en place du système EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). Ce dernier utilise 3 satellites géostationnaires positionnés au-dessus de l'Europe pour fournir des informations additionnelles aux signaux GPS et ainsi améliorer la précision et la fiabilité du positionnement par GPS.

Les premiers événements notoires de l'histoire de Galileo sont sans conteste les lancements réussis des deux premiers satellites expérimentaux, **GIOVE-A** et **GIOVE-B**, des 28 décembre 2005 et 28 avril 2008 respectivement. Ces deux satellites fonctionnent actuellement parfaitement – GIOVE-A a déjà dépassé sa durée de vie attendue

depuis plus d'un an – et permettent de valider les technologies comme les horloges atomiques mais également de réserver les fréquences attribuées à Galileo.

L'avenir du projet est quant à lui assuré puisque, fin 2007, la Commission européenne a fixé un budget de **3,4 milliards d'euros** pour l'exploitation des systèmes Galileo et EGNOS sur la période 2007-2013. Cette somme couvrira notamment le déploiement du système pour lequel les appels d'offre ont été lancés en juillet dernier. Onze candidats ont été retenus pour les six lots concernés et les attributions finales devraient être connues dans le courant du printemps 2009. Ces contrats portent sur la phase finale du développement du système appelée *Full Operation Capability* (FOC). Après la phase de validation en orbite (*In-Orbit Validation*) et ses 4 satellites lancés en 2010, cette dernière étape verra entre autres le lancement des 26 satellites suivants depuis Baïkonour et Kourou jusqu'en 2013. Il va sans dire que des entreprises et des chercheurs belges participent à ces différentes étapes...

Le savoir-faire belge dans le domaine spatial au service de Galileo

Afin d'en savoir plus sur les implications belges dans le programme Galileo, nous avons rencontré Michel Stassart, animateur du cluster Wallonie Espace, et Théo Pirard, journaliste du Space Information Center.

Benoît Bidaine (BB) : – Pouvez-vous présenter à nos lecteurs quelques acteurs belges du programme Galileo ?

Michel Stassart (MS) : – Certainement ! Commençons par une contribution scientifique du groupe d'Anne Lemaître des Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix (**FUNDP**) à Namur. Ils ont étudié les orbites des satellites Galileo et ont montré les conséquences à long terme (dizaines d'années) des phénomènes de résonance.

Viennent ensuite trois entreprises présentes à bord des satellites, **Gillam-FEI** à Liège pour des équipements électroniques, **Thales Alenia Space** ETCA à Charleroi pour des boîtiers de cryptage des quatre satellites de la phase IOV et **Techspace Aero** à Liège pour des micro-vannes cryogéniques.

Gillam-FEI, fournisseur d'horloges atomiques, et Thales Alenia Space, via son implantation d'Anvers, sont également impliquées dans la phase développement du programme (IOV) au niveau du segment de mission terrestre (GMS). Concernant ce dernier, c'est également un consortium belge dirigé par **VitroCiset EPB**, avec Trasys et Space Applications Services, qui a obtenu le contrat pour l'ingénierie de la logistique. VitroCiset EPB se prépare d'ailleurs à finaliser d'autres contrats pour le système Galileo.

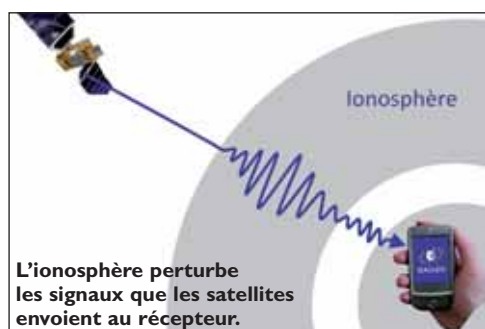
N'oublions bien sûr pas la station de Redu, gérée par **Redu Space Services** détenue à 52 % par SES Astra Techcom Belgium, qui constitue la station de référence pour les tests de la phase IOV. Enfin une spin-off de la KU Leuven, Septentrio, fournit des récepteurs aux stations du segment sol.

BB : – Certains rôles clés sont également assurés par des Belges.

MS : – En effet. **René Oosterlinck**, ingénieur de Louvain, est devenu Directeur ESA du Programme Galileo et des Activités liées à la Navigation en avril dernier. En octobre, **René Warnant**, chef de travaux à l'Institut Royal Météorologique d'Uccle et Professeur à l'Université de Liège, est également devenu membre du GNSS Scientific Advisory Group, groupe de consultants scientifiques travaillant dans le cadre du European GNSS Evolution Programme de l'ESA.

BB : – Et du côté des applications, n'est-il pas opportun de relever certaines initiatives récentes ?

Théo Pirard : – Tout à fait. Le 9 décembre dernier, le centre **Galaxia** dédié aux applications spatiales a été inauguré près de l'Euro Space Center à Transinne-Libin. Dans un cadre avant-gardiste puisque sa conception lui assure par exemple l'autonomie énergétique, il accueille d'ores-et-déjà trois entreprises dont deux précédemment citées pour leurs activités en lien avec Galileo : VitroCiset Belgium, SES Astra Techcom Belgium et M3 Systems. Il permettra également le développement de jeunes entreprises soutenues par l'incubateur WSLlux, le dernier né de la collaboration de WSL et d'Idelux.



L'ionosphère perturbe les signaux que les satellites envoient au récepteur.

MS : – Une chose est sûre. En ajoutant à ces acteurs le pôle de compétences Skywin et WASA (Walloon Association for Space Applications), le terrain est prêt pour que la Belgique reste un acteur de premier plan dans le domaine spatial !

Des chercheurs belges planchent pour Galileo...

La précision des GNSS souffre d'un certain nombre d'effets qui doivent être pris en compte afin d'obtenir une position précise. Un des plus importants est induit par l'**ionosphère** et est étudié par des chercheurs belges de l'**Institut Royal Météorologique (IRM)** à Uccle et de l'**Université de Liège (ULg)**. L'ionosphère est définie comme la couche de l'atmosphère où la densité en électrons libres est suffisante pour affecter la propagation des ondes radio. Dans des cas extrêmes, celle-ci peut provoquer des erreurs de plus de 100 m sur les positions mesurées à l'aide des GNSS. L'effet ionosphérique dépend essentiellement de la fréquence du signal incident, vu le caractère dispersif de l'ionosphère, et du **contenu total en électrons** libres de l'ionosphère (*Total Electron Content, TEC*) qui est l'intégrale de la densité électronique sur le chemin séparant le satellite du récepteur.

La **modélisation** de cette grandeur s'avère donc cruciale en particulier pour les récepteurs simple-fréquence, d'usage courant et constituant le marché de masse. Les appareils multi-fréquences sont également concernés puisqu'ils comporteront un mode de secours en simple fréquence dans le cadre d'applications critiques telles que l'aviation civile où le niveau de précision doit pouvoir être garanti en toutes circonstances. Pour le calcul de la correction ionosphérique, le système Galileo utilisera un algorithme de calcul basé sur le

modèle empirique NeQuick. L'objectif est d'atteindre un niveau de correction de 70 % soit deux fois mieux que pour le GPS. Différents projets contribuent à l'élaboration de cet algorithme dont une thèse de doctorat en cours à l'Unité de Géomatique de l'ULg, entreprise dans le cadre d'un mandat d'aspirant F.R.S.-FNRS.

Pour les applications de haute précision utilisant des techniques permettant de s'affranchir en grande partie des effets ionosphériques, c'est davantage la **variabilité locale du TEC** (échelles de quelques kilomètres) qu'il est important de surveiller. L'IRM s'y emploie grâce à différents instruments lui permettant d'observer l'activité ionosphérique et magnétique. Elle gère par exemple le Centre de Physique du Globe (CPG) de Dourbes en province de Namur qui compte parmi ses installations une ionosonde, une station GPS (propriété de l'Observatoire Royal de Belgique) et des magnétomètres. Les perturbations du champ magnétique terrestre provoquent en effet des perturbations dans l'ionosphère et, quand des éruptions solaires surviennent et quand les flux de particules éjectées atteignent l'environnement terrestre, on observe parfois des erreurs de plusieurs mètres là où on attend une précision centimétrique ! D'autres phénomènes plus communs perturbent également la densité électronique de l'ionosphère et s'apparentent à des ondes appelées « *Travelling Ionospheric Disturbances* ».

Pour mener ces recherches, l'équipe du Professeur Warnant a bénéficié de fonds européens du 6^e programme cadre au travers du projet Galocad (*Galileo Local Component for nowcasting and forecasting Atmospheric Disturbances*). Ce projet a permis de mettre au point les outils permettant de mesurer en temps réel les perturbations ionosphériques afin de pouvoir avertir à l'avance les utilisateurs du futur système Galileo de problèmes potentiels. La politique scientifique fédérale également a bien compris l'enjeu de ces recherches puisqu'elle a octroyé une enveloppe d'un million d'euros au projet « *Magnetic Valley* » visant entre autres à développer, autour du CPG, des services opérationnels pour les utilisateurs GNSS. De quoi envisager un avenir serein avec Galileo.



Ir. Benoît Bidaine

est ingénieur civil physicien, filière techniques spatiales, de l'Université de Liège (26 ans, Allg, 2006). Son travail de fin d'études l'a amené à séjourner trois mois à l'Agence Spatiale Européenne à Noordwijk, aux Pays-Bas (ESTEC). C'est là qu'il découvre et commence à travailler sur le projet européen de navigation par satellite Galileo et, en particulier, sur la correction ionosphérique que ses récepteurs devront appliquer.

Il prend ensuite contact avec René Warnant, Professeur à l'Unité de Géomatique de l'ULg et chef de travaux à l'Institut Royal Météorologique à Bruxelles. Ce dernier, intéressé par son sujet de mémoire, lui propose de poursuivre, dans le cadre d'une thèse de doctorat, les recherches ainsi entamées à l'ESTEC. Depuis le mois de septembre 2007, Benoît Bidaine est aspirant F.R.S.-FNRS intégré à l'Unité de Géomatique de l'ULg où il poursuit ses recherches sur les effets ionosphériques en navigation par satellite et où il participe à la formation des géomaticiens-géomètres.

Pour contacter Ir. Benoît Bidaine :

Tél. : +32 4 366 56 33
Fax : +32 4 366 56 93
GSM : +32 498 611 255
Courriel : B.Bidaine@ulg.ac.be
ULg - Géomatique
(B5a 2/8) - Allée du 6 Août,
17 - 4000 Liège – Web :
<http://www.geo.ulg.ac.be>

Pour aller plus loin...

Galileo sur le site de l'Agence Spatiale Européenne : <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>
Galileo sur le site de la Commission européenne :
http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm
BD « Galileo » de Thales Alenia Space : www.thalesgroup.com/extra/space/Galileo_fr/ Cluster Wallonie Espace : <http://www.wallonie-espace.be/>
Section Profils ionosphériques de l'IRM :
<http://www.meteo.be/meteo/view/fr/135642-Profiles+Ionospheriques.html>
Unité de Géomatique de l'ULg : <http://www.geo.ulg.ac.be>