

Localisation par satellite : GPS face à Galileo

Rencontre du Café des techniques du jeudi 18 mars 2004 au musée des Arts et Métiers
Coorganisées par l'AFAS et le musée des Arts et Métiers, en collaboration avec l'Association des amis du musée des Arts et Métiers
Avec le soutien de la délégation à la Recherche et à la Technologie d'Ile-de-France

avec la participation de

Roland Barillet, ingénieur de recherche CNRS, Observatoire de Paris (BNM - SYRTE)

Jean-François Bou, directeur du programme Galileo, Thales

Bernard Mathieu, délégué aux programmes de radiocommunication, CNES (Centre national d'études spatiales)

René Oosterlinck, chef du département navigation de l'ESA (Agence spatiale européenne)

Roger Pagny, chargé de mission Galileo, ministère de l'Équipement et des Transports

Rencontre animée par **Paul de Brem**, journaliste scientifique

Pourquoi cette rencontre ?

Le GPS (Global positioning system), initialement conçu pour les besoins de l'armée américaine, a commencé à équiper nos voitures. Il va bientôt intégrer nos téléphones portables et nous permettre ainsi de connaître à tout moment notre position : longitude, latitude et altitude. Cette technologie ouvre des perspectives de développement d'applications civiles extrêmement variées à condition de répondre à certaines exigences de précision de positionnement et de fiabilité du système. Aujourd'hui, face aux enjeux économiques et stratégiques de la maîtrise d'un tel outil, l'Europe a décidé de se doter de son propre système de positionnement par satellite : Galileo. Quels sont les points technologiques clés de Galileo ? Quels sont les services déjà proposés et quels sont ceux qu'on pourra imaginer lorsque les deux systèmes coexisteront ? Quelles sont les retombées économiques et industrielles attendues pour ce marché en pleine expansion ?

P. de Brem :

Avant de commencer ce Café des techniques, je vous rappelle qu'une exposition, «La boussole et l'orchidée», se tient actuellement au musée des Arts et Métiers. Elle retrace le voyage de deux aventuriers, Alexandre de Humboldt et Aimé Bonpland, dans l'Amérique espagnole du début du XIX^e siècle. Vous pourrez visiter cette exposition après notre Café.

Avant de vous passer la parole, je voudrais poser une question à chacun de nos invités en commençant par vous, Bernard Mathieu, qui êtes au CNES. Quels sont le rôle et le poids de la France dans le programme Galileo ?

B. Mathieu :

Il a été très difficile de définir le poids respectif des Etats dans le programme Galileo, et cela a d'ailleurs bloqué pendant des mois le démarrage de la phase de développement, qui est en cours.

Je dirais que la France est depuis très longtemps à l'avant-garde pour les systèmes de localisation et de positionnement, notamment avec le système Argos qui remonte aux débuts du CNES.

Nous avons été impliqués dans la première étape de la stratégie européenne vers Galileo, à savoir la définition du complément européen au GPS (CEGPS), destiné à pallier ses déficiences, et qui est devenu le système Egnos. La France représentait au départ 45 % du programme Egnos. Avec l'arrivée d'autres partenaires, nous devons aujourd'hui représenter autour de 30 %, soit un peu moins du tiers de ce programme. Pour le programme Galileo, tout le monde étant intéressé, nous n'y sommes présents qu'à hauteur de notre PNB, c'est-à-dire aux alentours de 17 %. Nous intervenons aussi sur beaucoup d'autres aspects qui ne sont pas financiers.

P. de Brem :

Ma seconde question s'adresse à Roger Pagny. Quand nous nous sommes parlé au téléphone, vous avez brossé un panorama des applications de Galileo, en particulier dans le domaine scientifique, et j'ai été éberlué du nombre d'applications possibles. Pouvez-vous nous en donner un aperçu ?

R. Pagny :

Galileo est un système de navigation dont on voit tout de suite les applications «transport». Les gens commencent à le connaître avec les systèmes de navigation dans les voitures, et aussi, dans les avions, avec ce spot GPS qui informe les passagers sur leur itinéraire.

Mais il existe beaucoup d'applications en dehors du monde du transport - ce qui nous évitera d'ailleurs de supporter toute la charge financière de Galileo -, et notamment dans le domaine scientifique. Par exemple, nos collègues de la météo font des études de prévisions météorologiques grâce à l'analyse de la propagation des signaux GPS dans l'atmosphère, qui donne des teneurs en humidité. D'autres font de la cartographie, ou de la géodésie, qui analyse plus précisément la dérive des continents. Le GPS permet également des mises en évidence de phénomènes beaucoup moins bien connus comme les marées terrestres, qui atteignent 30 cm.

P. de Brem :

Qu'est-ce qu'une marée terrestre ?

R. Pagny :

Une marée terrestre accompagne le mouvement de la croûte terrestre comme les eaux accompagnent le mouvement de la Lune. Le globe terrestre se déforme avec la Lune qui tourne autour : c'est l'attraction classique. Cela a été mis en évidence à travers des points repères qui sont surveillés et précisément connus grâce à des constellations comme le GPS.

Il y a des applications plus prosaïques comme le suivi du déplacement des animaux à l'aide d'émetteurs ou de balises placés sur le dos des tortues, sur les girafes, les éléphants, les lions, etc., qui renseigne sur les habitudes de vie de la faune, participant ainsi à l'évolution de la connaissance scientifique.

On voit aussi, de façon encore plus prosaïque, des développements dans le domaine de l'agriculture. On parle d'agriculture de précision, où les agriculteurs équipent leur tracteurs pour mieux surveiller ce qu'ils mettent dans leurs champs, pour éviter de mettre trop d'engrais lorsque ce n'est pas vraiment utile, et donc optimiser les cultures, avec des conséquences sur la pollution et sur l'environnement.

On voit donc que la palette d'utilisation est très large.

P. de Brem :

René Oosterlinck, vous m'avez dit que les Américains ont tout fait pour «tuer» Galileo. Qu'ont-ils donc fait ?

R. Oosterlinck :

Galileo était un projet concurrentiel par rapport aux Américains. D'abord, le marché est énorme, et, si vous avez un monopole, vous contrôlez ce marché. Il y avait aussi des raisons politiques et militaires. Le GPS est un système utilisé d'abord pour des applications militaires, et c'est par accident que les applications civiles sont apparues. Lorsque le GPS a été conçu, le signal qu'on utilise aujourd'hui pour les applications civiles était juste là pour faciliter le signal militaire. Ce sont des ingénieurs et des chercheurs du MIT (Massachusetts Institute of Technology) qui ont trouvé une application civile.

En Europe, nous ne pouvions pas accepter que des centaines de millions de personnes, dans le monde entier, utilisent un système dont un Gouvernement dispose, avec possibilité de brouiller le signal civil dans certaines parties du globe. Cela pouvait perturber notre économie, qui aurait énormément dépendu de ce signal d'ici à dix ans.

Les Américains voulaient donc à tout prix conserver ce monopole. Au début, ils ont fait pression sur nos ministres de la Défense en disant que Galileo mettrait en danger les signaux militaires GPS et, par conséquent, l'utilisation du GPS dans le cadre de l'OTAN. Ensuite, nous avons eu des problèmes avec la répartition des fréquences, mais l'Europe a fait beaucoup de *lobbying* dans le monde entier pour obtenir des fréquences supplémentaires pour la navigation par satellite afin de pouvoir mettre en place le système Galileo.

P. de Brem :

Roland Barillet, nous allons voir avec vous le rôle vital que jouent les horloges atomiques dans les satellites Galileo. Il y en a quatre dans chaque satellite. Pourquoi quatre ?

R. Barillet :

Pour une raison évidente de sécurité, qui est que n'importe quel appareil peut tomber en panne après un certain temps de fonctionnement. Je crois qu'il est prévu que chaque satellite dure environ une quinzaine d'années, et il y a vraisemblablement eu des études de fiabilité pour déterminer le nombre d'horloges nécessaire pour garantir quinze ans de fonctionnement sans panne.

Il est prévu d'installer dans chaque satellite Galileo deux types d'horloge de performances différentes, donc de stabilités différentes, qui permettent de se positionner de manière plus ou moins précise. Il faut savoir qu'en un milliardième de seconde, une onde électromagnétique parcourt 30 cm dans le vide ou dans l'air. L'incertitude associée à environ une nanoseconde d'un signal électromagnétique arrivant en ligne droite est de 30 cm, ce qui est la contribution de l'horloge. Il y a ensuite une contribution d'incertitude provenant de la connaissance de la position du satellite qui va évidemment s'y ajouter, et ainsi de suite. Dans la mesure où l'on veut se positionner *grosso modo* à 1 m près, il faut que les diverses contributions soient toutes de l'ordre d'un milliardième de

seconde en équivalent, voire un peu moins. Cela implique un type d'horloge très performante, bien meilleure que les meilleurs oscillateurs à quartz. Il faut des horloges «maser à hydrogène» ou des horloges à césium ou à la rigueur des horloges à rubidium, ces diverses horloges ayant des performances différentes.

P. de Brem :

Donc, à bord de Galileo, on a deux sortes d'horloges, des horloges maser à hydrogène et des horloges à rubidium, qui sont doublées au cas où l'une d'elles tomberait en panne. Nous reviendrons avec vous sur la contribution de ces horloges à l'information de positionnement.

Jean-François Bou, votre société, Thales, est présente sur le marché des récepteurs de localisation GPS, et demain Galileo. Mais Thales voudrait davantage, avec un rôle de management dans Galileo : vous entendez devenir le concessionnaire auquel l'Agence spatiale européenne et l'Union européenne vont confier des opérations à mener sur la constellation. Quel sera exactement le rôle de ce concessionnaire ?

J.-F. Bou :

Nous ne prétendons pas spécialement au management du programme, mais nous tenons simplement à préserver nos intérêts industriels dans ce programme.

Le budget global de 3,3 milliards d'euro comprendra deux phases principales.

La première phase est une phase de développement qui pèse en gros 1,1 milliard ; cette phase est déjà entamée et doit durer en principe quatre ans ; elle est financée, à part égale, par l'Agence spatiale européenne et la Commission européenne. Pendant cette phase, deux satellites tests, qui permettront, entre autres, de sécuriser les fréquences et de tester notamment les horloges, seront lancés (fin 2005-début 2006). A l'issue de la période de développement, nous serons capables de valider et de «dé-risquer» un certain nombre des technologies-clés du programme.

Ensuite, il faudra déployer le reste des satellites, ce qui prendra deux ans, et aussi déployer le reste du segment sol. En termes budgétaires, c'est le solde, soit en gros 2,2 milliards. Pour l'instant, les pouvoirs publics, et notamment la Commission européenne, se sont engagés à financer au maximum un tiers de cette somme. Le secteur privé a la charge de trouver le solde de financement, probablement sous un régime de concession par lequel la propriété de la constellation resterait dans les mains des institutionnels tout en déléguant au privé un certain nombre de risques : risques de déploiement avec les risques techniques, de budget, de planning afférents à cette phase. Pendant la phase d'exploitation, le concessionnaire aurait la responsabilité de développer le marché Galileo.

Assurer le financement de cette phase nécessite une ingénierie financière complexe à monter. Je dirais que la problématique du concessionnaire n'est pas une problématique de prise de risques techniques ou budgétaires sur

le déploiement de la constellation. En tant qu'industriels nous savons le faire, surtout une fois que les technologies auront été validées sous la responsabilité de l'Agence spatiale européenne.

Le vrai risque est un risque commercial. On a parlé du GPS d'emblée, mais lorsque Galileo sera en opération, entre 2008 et 2010, le GPS aura déjà plus de 20 ans d'opération. Il y a actuellement 60 millions de récepteurs GPS en circulation dans le monde, et il y en aura beaucoup plus dans 6 ou 7 ans. Nous aurons donc à nous battre contre un standard qui entre-temps se sera modernisé, et les performances du GPS seront probablement très proches des performances de Galileo.

Enfin, et ce n'est pas le moindre des problèmes, GPS est gratuit. Il va donc falloir générer des revenus à partir de Galileo en trouvant des facteurs de différenciation qui permettront de faire payer l'utilisateur sur la base d'un service plus performant. Il existe des possibilités de différenciation : GPS est à l'origine un système à usage militaire qui fournit un signal civil monofréquence et donc pas très précis, mais il est prévu une deuxième puis une troisième fréquence civile dans le futur. Donc je dirais que GPS, c'est du «noir et blanc», et que Galileo, ce sera la «couleur», parce que, outre le signal civil et le signal à usage gouvernemental, on aura un signal qui fournira l'intégrité, à destination de toutes les applications qui mettent en jeu la sécurité des vies humaines, notamment le transport aérien. Il y aura aussi un service commercial qui permettra de transmettre des informations à valeur ajoutée, comme, par exemple, des corrections différentielles.

Mais tout cela ne veut pas dire que les possibilités de différenciation soient énormes et qu'on va, à travers elles, trouver le financement des 2,2 milliards d'euro. Il y a peut-être quelques pistes, mais il faut rester encore prudent sur ce point.

P. de Brem :

Merci pour ces précisions. Y a-t-il des questions ?

Question :

Je voudrais rebondir sur la dernière intervention concernant l'intérêt commercial, puisqu'il a été fait mention d'un marché gigantesque. Le moins qu'on puisse dire est que la concurrence d'un GPS gratuit est difficile à combattre. Ne se dirige-t-on pas vers un *remake* d'Eurotunnel, c'est-à-dire une concession commerciale qui n'est pas rentable ?

P. de Brem :

En gros, GPS fournit un signal gratuit, même s'il n'est pas extrêmement précis, et Galileo entend en fournir d'autres qui, eux, vont être payants ; cette équation économique fonctionne-t-elle ?

R. Oosterlinck :

Il faut différencier deux choses. Le concessionnaire voudrait naturellement récupérer de l'argent pour la con-

cession, ce qui ne sera pas facile parce qu'en effet, il y a un signal ouvert GPS. Mais on espère, avec le plus apporté par Galileo, trouver quand même un marché pour des utilisations payantes.

Beaucoup plus importants seront les bénéfices énormes, au niveau macroéconomique, pour l'industrie européenne. Tout ce qui vient comme applications n'a rien à voir avec la concession. La concession met les signaux à disposition mais ce sont les applications qui vont créer le vrai marché. Les 100 000 emplois dont on parle ne seront pas créés dans l'infrastructure, mais dans tout ce qui est fait en aval. Là est l'intérêt économique pour l'Europe.

La même personne :

C'est la même chose pour GPS.

R. Oosterlinck :

Avec GPS et Galileo, on développe un système qui est compatible et interopérable : en tant qu'utilisateur, vous aurez à votre disposition une constellation de 60 satellites, donc une amélioration substantielle des services et de ce que vous pouvez faire avec ces signaux.

P. de Brem :

Des récepteurs comme ceux qu'on trouve dans le commerce seront, demain, à la fois GPS et Galileo.

R. Oosterlinck :

Tout à fait, et les applications dont on a parlé vont se multiplier grâce à la précision de ces deux constellations ensemble. De plus, lorsque vous êtes en ville, vous avez 60 satellites et vous pouvez donc capter beaucoup plus facilement le signal. C'est là un plus pour le marché.

P. de Brem :

Donc les applications vont augmenter énormément et l'économie en bénéficiera ; et c'est le problème du concessionnaire s'il ne parvient pas à vendre des signaux plus particuliers.

Question :

Je voudrais avoir des renseignements sur l'issue des négociations qui ont eu lieu récemment avec les Etats-Unis. Il y a eu des échos très divergents dans les médias. Selon certains, on avait gagné la bataille, selon d'autres, on l'avait complètement perdue.

R. Pagny :

Il est exact que les négociations avec les Etats-Unis ont été très difficiles ; elles ne sont d'ailleurs pas terminées, mais une première étape a été franchie. Selon la manière dont on voit les choses, on peut considérer que le verre est à moitié plein ou à moitié vide ! J'ai été assez présent dans ces négociations, au sein de l'équipe européenne qui rencontre les Américains, et je ne peux pas dire que c'est tout blanc ou tout noir.

Nous avons obtenu certaines choses des Américains,

notamment l'interopérabilité. Celle-ci est extrêmement importante pour les utilisateurs civils, d'autant plus qu'elle sera poussée dans les référentiels de temps puisqu'il y aura un échange permanent de temps et de diffusion, par les deux constellations, de l'écart de temps entre elles, afin de permettre aux récepteurs de fonctionner de façon plus aisée en étant tout à fait interopérables. Nous avons obtenu des accords de non discrimination entre GPS et Galileo, et que ce soient les règles du commerce international qui s'appliquent pour la vente des récepteurs GPS et Galileo. Nous avons également obtenu la possibilité de faire évoluer Galileo, notamment ses différents signaux, pour améliorer la performance sans que les Américains aient un droit de veto.

Cela dit, les Américains étaient seuls sur le marché, et le fait de laisser émerger un concurrent sérieux ne s'est pas fait facilement. Ils ont essayé d'abord, comme cela a été dit, de bloquer le projet, et ensuite de limiter ses capacités techniques, ce que nous avons totalement refusé.

P. de Brem :

Que voulaient-ils limiter comme capacités techniques, sans trop entrer dans le détail ?

R. Pagny :

Je laisserai Bernard Mathieu vous parler des fréquences. Les points qu'ils voulaient surtout limiter étaient la superposition des fréquences sur les usages militaires ou réservés aux gouvernements du côté européen.

P. de Brem :

C'est-à-dire qu'en gros, Galileo voulait pouvoir émettre à des fréquences qui étaient utilisées par ailleurs par GPS pour des usages militaires.

R. Pagny :

Oui, d'une part, et, d'autre part, sur un service ouvert qui est la bande déjà occupée par le GPS américain, ils voulaient aussi limiter les capacités du choix de modulation qui avait été fait par les experts européens.

P. de Brem :

Vous avez donc obtenu des choses d'eux, mais qu'ont-ils obtenu de vous ?

J.-F. Bou :

Ils ont obtenu, premièrement, qu'on ne soit pas superposé sur le signal militaire, au moins dans la *baseline*.

P. de Brem :

Cela vous coûte-t-il ?

J.-F. Bou :

Cela coûte à ceux qui veulent utiliser le service pour des usages militaires ou gouvernementaux.

Deuxièmement, ils ont obtenu qu'on ait une modulation commune sur le service ouvert en bande L1, avec

comme base de modulation ce qu'on appelle en jargon technique le Bock 1-1.

P. de Brem :

A vous entendre, j'ai l'impression que le verre est plutôt à moitié plein qu'à moitié vide !

Question :

En ce qui concerne le fait de faire payer un service supplémentaire, vous avez parlé de «noir et blanc» contre «couleur», mais dans le cas de la télévision couleur, ce que vous payez, c'est un autre poste de télévision. Ici, dans la mesure où vous avez une interopérabilité, les gens qui ont actuellement le GPS dans leur voiture devront-ils en changer ? Devront-ils payer à l'acte comme pour les téléphones mobiles ? Comment envisagez-vous le paiement pour ce supplément de service ?

J.-F. Bou :

Les futurs récepteurs Galileo seront en majorité bi-mode (Galileo + GPS), en revanche les récepteurs GPS actuels ne sont pas a priori compatibles Galileo. La complexité des récepteurs, compte tenu des schémas de fréquences qui ont été négociés, ne sera guère plus grande que celle des récepteurs GPS actuels parce que la technologie va évoluer, mais il faudra effectivement renouveler le parc de récepteurs. Je rappelle quand même qu'on trouve aujourd'hui des récepteurs grand public à 200 euro, prix qui va encore probablement baisser - une puce GPS coûte quelques euro.

Pour ce qui est de la facturation du signal, je rappelle que le signal ouvert est, par essence, un signal qui tombe comme la pluie ! Autrement dit, il suffit d'avoir un récepteur et l'on reçoit le signal. Je précise d'ailleurs, pour les gens de la Commission nationale de l'informatique et des libertés qui s'inquiéteraient, qu'il n'y a pas de voie retour : on reçoit un signal, mais il est impossible de communiquer ce signal à qui que ce soit, sans voie de communication dédiée.

P. de Brem :

En fait, c'est mon récepteur qui calcule ma position à partir des signaux obtenus des satellites : je connais ma position, et le satellite, lui, ne la connaît pas.

J.-F. Bou :

Le signal de navigation en lui-même donne des coordonnées (longitude, latitude, voire un z) mais on ne peut pas en faire grand chose. Dans une ville, votre longitude et votre latitude ne vont pas vous aider à trouver la station de métro, à moins que vous ayez un plan qui se réfère aux mêmes coordonnées. Si l'on veut pouvoir faire payer un utilisateur, il faut donner de la valeur ajoutée. On la donne en faisant correspondre ce positionnement avec des systèmes qui calculent la vitesse, etc., qui sont capables de faire un peu de trajectographie, ou calcul de trajectoire, par dessus ; on met des cartes. Ensuite, surtout, on va

lier cela à des services. Quand on parle d'utilisation au travers de la communication, il y a toute une partie du marché qu'on appelle l'infomobilité (*location-based services*), qui permettront aux opérateurs de téléphonie de proposer un certain nombre de services basés sur l'information de positionnement. Par exemple, quand vous vous promenez en voiture ou à pied, on vous localise en transmettant l'information à la cellule de base qui calcule votre position, et l'on va pouvoir vous indiquer où trouver une pizzeria ouverte, des soldes, une chambre d'hôtel libre, ou vous permettre d'identifier quelqu'un que vous connaissez, etc.

En ce qui concerne les applications professionnelles, on a aussi la possibilité de faire de la valeur ajoutée. Du reste, Thales exploitait un réseau de différentiel GPS : à partir du signal de base ouvert, accessible à tout le monde, on calculait des corrections pour améliorer la précision du signal et on la vendait à des gens qui en avaient besoin. La précision n'est pas un facteur déterminant du marché de masse. On vendait, par exemple, cette précision à l'industrie du pétrole *offshore*, qui a besoin, pour ses forages, d'une précision quasi décimétrique et en temps réel. Ce n'est pas un gros marché, mais c'est un marché qui existe.

La disponibilité accrue du signal est, en revanche, une demande forte du marché.

Question :

Il me semble qu'en son temps, la défunte Union soviétique avait lancé un système similaire au GPS. Est-ce exact, et si oui, qu'est-il devenu ? Qu'en est-il par ailleurs de la Russie d'aujourd'hui, s'intéresse-t-elle à Galileo ? Y a-t-il d'autres grands pays extérieurs à l'Europe et techniquement développés qui s'intéressent également à ce système, tels que la Chine ou l'Inde ?

B. Mathieu :

Le système russe est le Glonass, qui a été développé au temps de la guerre froide. C'était une sorte de «copier/coller» du système GPS, avec une constellation de 25 satellites qui a été entièrement déployée, est devenue opérationnelle à la fin 1995, puis est progressivement tombée en déshérence parce que les Russes, compte tenu de leur situation économique, n'ont pas été capables de maintenir en orbite leur constellation. La technologie russe était basée sur des satellites pressurisés, qui n'ont qu'une durée de vie nominale de trois ans, même si certains atteignent cinq ans voire plus, et cela nécessitait donc des relancements fréquents pour maintenir la constellation. Les Russes ont tout de même lancé récemment deux salves de trois satellites à un an d'intervalle. Actuellement, il doit y avoir six satellites Glonass en exploitation, mais qui n'offrent pas le service nominal puisque la constellation nominale devait opérer avec 24 satellites.

Le système était équivalent au système GPS à la différence près que les signaux de satellite, au lieu d'être différenciés par ce qu'on appelle un code pseudo-aléa-

toire, étaient émis sur des fréquences différentes, une fréquence par satellite, avec un service ouvert accessible aux civils et un service militaire accessible essentiellement aux forces de la Fédération de Russie et de l'ex-Union soviétique. Le problème est que le segment aval, le marché des récepteurs Glonass, n'a pas été fortement développé.

Le CNES a fait beaucoup d'études en liaison avec la Russie, pendant trois ans, avec un audit complet du Glonass, pour voir si l'on pouvait réutiliser une partie de l'acquis russe pour le système Galileo dans le cadre des études préparatoires faites avant que le programme ne se développe dans un cadre européen. Nous avons donc été amenés à voir de très près comment Glonass fonctionnait, et il n'est pas exclu qu'une coopération se développe avec la Russie dans le futur, ciblée sur Galileo et non sur Glonass, ce qui amènera à une coopération peut-être au plan industriel ou dans d'autres domaines.

A la différence des autres systèmes existants, à savoir le GPS et le Glonass - même si le Glonass n'est plus en phase nominale opérationnelle -, Galileo prévoit de fournir deux classes de services, d'abord un service de positionnement datation qui sert à se positionner et à naviguer avec des cartes, et un service d'intégrité.

P. de Brem :

Il faut expliquer ce qu'est l'intégrité, qui est vraiment l'un des apports majeurs de Galileo.

B. Mathieu :

Aujourd'hui, quand vous utilisez le GPS, votre récepteur reçoit des signaux. Pour rappeler en deux mots le principe, le satellite émet l'heure et vous recevez l'heure avec le temps qu'elle a mis pour arriver à votre récepteur. Comme l'émission de l'heure et l'information sur la position du satellite sont données au moment où l'heure part du satellite, vous pouvez, par une triangulation, calculer la distance entre votre récepteur et trois satellites. En fait, il en faut quatre parce qu'il y a une inconnue supplémentaire qui est l'écart entre l'horloge de votre récepteur et l'horloge des satellites, qui est extrêmement précise, comme on l'a expliqué. Avec quatre satellites, vous pouvez faire votre point. C'est la même chose sur Glonass et ce sera la même chose sur Galileo.

Le problème est qu'aujourd'hui, vous n'avez pas d'information d'intégrité dans GPS. Cela veut dire que si les signaux qu'émet GPS sont erronés - pour des raisons diverses comme une panne à bord d'un satellite ou un terroriste qui s'amuse à leurrer le signal, c'est-à-dire à émettre un signal de type GPS mais qui n'est pas un vrai signal GPS -, vous n'avez aucune information qui vous dise que le signal que vous exploitez n'est pas le bon.

L'intégrité est une fonction qui s'élabore à partir d'un réseau de surveillance au sol de l'ensemble des signaux de tous les satellites disponibles dans la zone de surveillance, par exemple l'Europe entière dans le cas du

système Egnos qui est un complément à GPS à cet effet. Les stations qui surveillent les signaux sont capables de traiter tous les signaux des satellites et de voir si, par rapport à la position où elles se trouvent, il y a un signal parmi ces signaux qui donne un résultat faux. Elle peut donc déclarer un de ces signaux comme non valide et déclencher l'envoi d'un message au récepteur de l'utilisateur pour lui dire de rejeter ce signal non valide. Naturellement, envoyer ce message pour invalider certains signaux prend un certain temps, qu'on appelle le temps d'alarme. Quand ce temps d'alarme sera transmis par un système à base de satellites géostationnaires comme dans le cas du complément à GPS, ou directement par les satellites de la constellation Galileo puisque cela sera de base dans Galileo, cela prendra nominale six secondes - c'est l'ordre de grandeur de la spécification. C'est insuffisant pour un avion de ligne en procédure d'atterrissage automatique - ce qu'on appelle la catégorie 3C -, où il faut un temps d'alarme inférieur à la seconde, permettant au pilote de réagir si tout d'un coup son système détecte une anomalie et qu'il ne peut plus se fier à l'utilisation d'un signal de navigation de type GPS ou Galileo. Cette fonction d'intégrité est donc fondamentale dans toutes les applications où la sécurité des personnes et des biens est essentielle, les transports notamment. Dans Galileo, on aura à la fois les signaux de positionnement et de datation, et les messages d'intégrité.

P. de Brem :

Donc une garantie sur la qualité du positionnement.

Question :

Je voudrais revenir aux raisons qui ont fait se développer Galileo, à savoir le monopole américain du GPS, qui est même le monopole du département de la Défense, le Pentagone. Durant les quinze années de fonctionnement du GPS, n'en avons-nous pas eu des exemples ? Je pense à la guerre du Golfe où l'on a vu brutalement «switcher» la précision du GPS dans un sens parfois inattendu.

Par ailleurs, dans GPS, il y a «P» comme positionnement. Il existe une autre catégorie de services qui sont les services de localisation, que vous avez avec les services de téléphonie mobile comme le GSM où un tiers peut vous repérer, par exemple l'opérateur téléphonique. Donc je crois qu'il est intéressant de faire cette distinction.

P. de Brem :

Le GPS étant aux mains du département de la Défense, y a-t-il eu des exemples où celui-ci a décidé unilatéralement de couper le signal au-dessus d'une zone pour des raisons militaires ?

R. Oosterlinck :

Il faut savoir que le GPS actuel, qui a un signal militaire et un signal civil, ne permet pas de couper le signal au-dessus d'une certaine zone. C'est du tout ou rien. Soit personne n'a le signal, soit le monde entier l'a. Actuel-

lement, pour que quelqu'un n'ait pas accès, il faut localement brouiller le signal, et c'est ce qui se fait dans le Golfe, en Afghanistan, etc.

En revanche, le futur GPS aura la possibilité de concentrer les signaux sur des zones très particulières, ce qui signifie que d'autres zones n'auront plus de signaux. Avec la nouvelle génération de GPS, on pourra s'arranger pour qu'il n'y ait pas de signal civil disponible dans certaines parties du globe, ce qui est inquiétant.

P. de Brem :

Vous dites que les Américains sont capables de brouiller de façon très locale le signal GPS, or j'ai entendu dire que pendant la guerre du Kosovo, certains pays limitrophes, comme l'Autriche, auraient eu des problèmes.

R. Oosterlinck :

C'est en effet possible. La question qu'on peut se poser est de savoir si les Américains peuvent exclure l'Europe d'un signal venant du GPS. Aujourd'hui la réponse est non, mais, dans le futur, la réponse sera oui. Actuellement, on peut brouiller localement, c'est-à-dire qu'on ne peut pas brouiller la France entière, mais seulement certaines parties.

P. de Brem :

Quelle est la différence entre *positionnement*, *localisation* et *navigation* ?

B. Mathieu :

Ce sont des notions différentes et que tout le monde, en général, confond.

Lorsque vous avez un récepteur GPS, vous vous positionnez de façon autonome et indépendante en exploitant dans votre récepteur quatre signaux parmi les n signaux que vous recevez des satellites. C'est vrai pour GPS et pour Galileo. C'est donc du positionnement.

A partir du moment où vous avez rafraîchi ce positionnement, avec un certain temps puisque vous avez l'heure, vous pouvez en déduire de combien vous vous êtes déplacé. Si vous avez un déplacement élémentaire ramené à une distance, vous avez votre vitesse. Donc votre récepteur va pouvoir déterminer votre position, votre vitesse et le temps. Si vous rapportez ces informations sur une carte que vous avez dans votre voiture par exemple, vous allez pouvoir naviguer par rapport à la carte, tout cela de manière autonome.

Enfin, la localisation est la fonction par laquelle un tiers localise un véhicule, c'est-à-dire détermine sa position. Pour faire de la localisation, vous avez besoin d'une fonction de positionnement du véhicule et d'un système de télécommunication qui permet de rapporter la position au tiers qui cherche à localiser le véhicule. Par exemple, tous les taxis parisiens G7 ou les taxis bleus sont équipés d'un GPS. Le central sait donc en permanence, et de manière extrêmement précise grâce à la correction différentielle de position, où sont localisés tous ses taxis.

Il peut ainsi router vers le client le taxi le plus proche de lui. Par ailleurs, tous les taxis disposent d'un dispositif d'alarme qui est une application sécuritaire. En cas d'agression, ils peuvent déclencher l'alarme et, comme ils sont localisés, les forces de police peuvent arriver rapidement. Ce système constitue une application dite de gestion de flotte de véhicules ou de télématique, avec deux fonctions : localisation dans le véhicule, avec éventuellement augmentation de la précision de localisation par une technique différentielle particulière au niveau du central, et transmission de la position par le radiotéléphone du taxi vers le central.

P. de Brem :

Une autre question était posée, à savoir qu'on peut connaître ma position avec un téléphone portable, ou plutôt que l'opérateur est capable de me localiser.

B. Mathieu :

Dans tous les systèmes de radiotéléphonie cellulaire, il faut localiser où sont les gens qui ont un téléphone portable pour savoir dans quelle cellule ils sont, et les suivre lorsqu'ils passent d'une cellule à l'autre. En effet la couverture est faite par des stations de base qui n'arrosent qu'une certaine zone, et la France est couverte d'un maillage de cellules juxtaposées, qui implique de suivre les gens. Il existe un certain nombre de techniques qui sont intrinsèques au système de GSM donc de téléphonie mobile et qui permettent de localiser les portables. La précision de localisation est aujourd'hui de l'ordre du kilomètre.

P. de Brem :

Avec Galileo et GPS signal ouvert, quelle précision avons-nous ?

B. Mathieu :

Aujourd'hui, après la suppression de la dégradation volontaire du signal ouvert par les Américains, qui perturbaient le signal pour n'avoir qu'une précision de 100 m, GPS a, partout dans le monde, une précision de l'ordre d'une classe de 10 m.

Avec Galileo, nous serons un peu meilleurs puisqu'on traite toutes les erreurs, notamment les erreurs de positionnement des satellites et les erreurs sur la précision des horloges. De plus, au lieu d'utiliser un seul signal, on utilisera systématiquement, pour faire un service de positionnement, deux signaux dans les récepteurs, afin de s'affranchir des problèmes de propagation dans l'ionosphère. Cela aboutira à une précision qui se situera dans la classe métrique, disons entre 5 et 8 m.

Question :

J'ai une question d'ordre matériel sur les équipements et infrastructures. On sait que la plupart des *chipset*, alimentations et autres produits RF et hyper proviennent de fabricants américains. Donc finalement, au plan économique, tout le monde sera content !

P. de Brem :

Les Américains s'y retrouveront puisque les composants électroniques que vous utilisez viennent des Etats-Unis !

J.-F. Bou :

Parmi les industriels qui fabriquent des *chipset* GPS, c'est-à-dire les puces GPS, donc l'intelligence qui traite les signaux de navigation en provenance des satellites, il y a quand même quelques industriels européens : STMicro, mais aussi des petites et moyennes entreprises qui travaillent dans ce domaine. Cependant, vous avez raison de dire que pour le moment, ce sont principalement les sociétés américaines qui sont dominantes sur le marché, et si l'on n'y prend garde, il n'y a aucune raison que cela change puisque Galileo n'est pas une révolution technologique par rapport au GPS.

Dans le cadre des négociations avec les Etats-Unis, on a retenu le fait que Galileo devrait être conforme à toutes les règles du commerce international. Il n'y aura donc pas de barrière protectrice étanche.

Je citerai un domaine important pour nous, mais aussi pour les citoyens d'Europe : le signal PRS (*Public Regulated Service*). Actuellement, les industriels européens n'ont pas accès aux technologies, notamment à la cryptologie liée au signal militaire du GPS. Le jour où il y aura un signal PRS, on peut espérer qu'on aura des relations beaucoup plus équilibrées avec nos partenaires américains. Sans dévoiler aucun secret, je peux vous dire que, depuis qu'il y a eu des décisions Galileo, on sent un intérêt un peu plus marqué des industriels américains vis-à-vis des industriels européens qui travaillent dans le domaine.

La même personne :

En ce qui concerne la fiabilité des divers composants, les MTBF (*Mean Time Between Failures*) demandés doivent être conformes aux normes militaires MIL-STD, etc., et encore une fois, il y a actuellement beaucoup d'Américains qui peuvent proposer ces produits.

R. Oosterlinck :

Les composants américains posent beaucoup de problèmes aux Européens. Les Américains peuvent à chaque instant interdire l'exportation d'éléments critiques, notamment tout ce qui est assujéti à l'armement, et les horloges atomiques tombent dans cette catégorie. Les Américains ont proposé des horloges atomiques que l'Europe puisse acheter chez eux, ce que nous avons refusé, et nous développons donc nous-mêmes nos horloges atomiques pour être indépendants - je rappelle que l'horloge atomique constitue l'élément clé des satellites, avec le générateur de signal. Nous avons connu un cas à l'Agence spatiale européenne, où, quelques heures avant le lancement d'un satellite, un juge cherchait le chef de projet pour lui notifier l'arrêt du lancement parce qu'un composant à bord posait problème par rapport à la législation américaine ! Il nous faut donc posséder nous-mêmes ces technologies,

et l'Agence spatiale européenne a lancé cette semaine un projet de 30 millions d'euro pour développer de la technologie européenne afin de faire face à ce problème américain.

Question :

On a parlé du financement, et il y a eu un certain nombre de rapports sur l'importance des droits de propriété intellectuelle dans le financement de Galileo. Qu'en est-il aujourd'hui et qu'en sera-t-il demain lorsque le GIE (groupement d'intérêt économique) sera mis en place ? Comment se fera cette gestion des droits entre les différents partenaires privés et publics ?

B. Mathieu :

S'agissant du principe des droits de propriété dans le programme Galileo, lorsqu'on a lancé ce programme, et en particulier la définition de la constellation de satellites Galileo-Sat, on a posé comme principe que tous les droits des études financées dans l'industrie devaient être acquis soit à l'Agence spatiale européenne soit à la structure mise en place conjointement par l'Agence spatiale européenne et la Commission européenne, qu'on appelle l'Entreprise commune Galileo. L'objectif assigné était d'abord de garantir que les finances des contribuables européens servaient avant tout un projet européen, ce qui permettait, dans l'hypothèse où les Américains seraient intéressés par ce que nous faisons pour l'évolution dans le système GPS, de contrôler toute réutilisation des études pour des projets intéressants des pays autres qu'euro-péens.

Un problème particulier se pose en ce qui concerne le secteur aval, c'est-à-dire les récepteurs ou les équipements commercialisés. Aujourd'hui, on est en train de regarder d'un peu plus près ce problème de droits de propriété parce qu'effectivement, il gêne un certain nombre d'industriels qui développent des équipements utilisateur au niveau sol, qui ne rentrent pas dans l'infrastructure du système. Il est clair que, dans le système de concession dont on a débattu plus tôt, les candidats concessionnaires qui mènent actuellement un certain nombre d'études seront amenés à regarder quels sont les mécanismes de revenus qui peuvent être générés - en particulier l'exploitation de certains droits de propriété peut être une source de revenus. Comme ces droits de propriété sont pour le moment acquis aux structures qui pilotent l'ensemble des études et développement du programme, ils pourront être mis à disposition des concessionnaires dans l'exercice d'établissement de sources de revenus basées sur ces droits de propriété.

J.-F. Bou :

J'ajouterai que la propriété des droits pour le public s'entend bien entendu pour tout ce qui aura été développé dans le cadre de financements publics, et ne s'entend évidemment pas pour les développements faits dans le cadre de sociétés privées. Si l'on prend l'exemple du

GPS américain, il existe effectivement un certain nombre de choses qui ont été développées avec l'aide de fonds publics. En revanche, sur les 4 000 ou 5 000 brevets GPS existants, la majorité a été développée à partir de fonds privés, et, pour Galileo, on aura probablement le même type de schéma.

On parlait de la compétitivité des industriels européens, qui, pour se positionner, ont besoin de l'aide des institutions. Des cadres existent comme par exemple les PCRD (programmes de recherche et développement) au niveau de l'Union européenne, qui permettent de faire des développements plutôt génériques, dits précompétitifs, qui sont en général financés à 50 ou 100 %, et il est normal, dans ce cas, que le régime de propriété des droits en tienne compte. Mais cela doit aboutir à des développements qui intéresseront les sociétés privées et qui généreront des revenus.

Question :

S'agissant du signal d'intégrité, vous avez indiqué un temps d'alarme de 6 secondes, mais je n'ai pas compris si c'était pour Egnos ou pour Galileo.

S'agissant de la localisation, vous avez clairement indiqué la différence : pour la localisation, il faut, en plus du système Galileo, un système de télécommunication, c'est-à-dire qu'en fait, il faut une coopération de la personne qu'on cherche à localiser. Si je comprends bien, la localisation par Galileo est impossible s'il n'y a pas consentement.

Enfin, une réflexion de retraité qui n'est plus seulement préoccupé par les questions techniques : quand je vois la complexité du montage entre le «monstre» institutionnel qu'est l'Agence spatiale européenne, la Commission européenne, l'Entreprise commune Galileo, les droits de propriété, le concessionnaire, et des schémas qui restent à élaborer, je me dis que c'est bien dommage que, depuis une dizaine d'années, la notion de service public n'ait pas davantage progressé en Europe. On sait bien que pour des infrastructures dont on est convaincu qu'elles sont rentables, qu'il s'agisse du courant électrique ou des voies ferrées ou autres, il y a eu une époque où l'on disait que c'était au contribuable de payer, et ensuite, éventuellement, à l'exploitant de verser des redevances. Or, là, on s'est arrêté au milieu du chemin : on a financé la moitié du programme et maintenant on se bat les flancs pour trouver un moyen de financer le reste.

P. de Brem :

Merci pour ces réflexions sur lesquelles nous allons rebondir car c'est important. La Commission européenne et l'Agence spatiale européenne financent la moitié et attendent que le privé finance le reste ; cela pose-t-il un problème ? Il est vrai que c'est une machinerie très lourde, puisque 15 pays financent ; certaines décisions ont été reportées, il a fallu 2 ans pour les prendre...

B. Mathieu :

Je vais d'abord répondre à la question posée par mon ancien collègue du CNES. Le temps d'alarme de 6 secondes est effectivement le temps d'alarme qui existe dans le système Egnos, puisque Egnos est le complément GPS pour faire l'intégrité. Il va être opérationnel dans l'année. L'ordre de grandeur sera le même dans Galileo. C'est le temps d'alarme qu'on peut réaliser à partir d'un réseau de stations de surveillance, avec traitement de toutes les données et renvoi de l'information jusqu'aux récepteurs, en passant par les satellites, qu'ils soient géostationnaires ou Galileo. Comme je l'ai déjà dit, il faudra, pour un certain nombre d'applications, des systèmes qui renverront un signal d'intégrité avec un temps d'alarme beaucoup plus court, et qui seront positionnés au droit des aéroports.

En ce qui concerne la localisation, il existe deux types de localisation : dépendante ou indépendante. Dans la localisation dépendante, celui qu'on cherche à localiser est coopératif et renvoie son report de position par un moyen de télécommunication. La localisation indépendante est, par exemple, celle qu'on fait avec un radar quand on surveille l'espace aérien et qu'on localise des avions en trois dimensions (altitude, distance, site et gisement). L'avion peut ne pas être coopératif - en fait, il l'est souvent parce que des transpondeurs renvoient maintenant des informations sur le type d'avion, etc. -, mais on peut faire une localisation complètement indépendante. Dans le principe de localisation qui utilisera les signaux de type GPS, en général, ce sera fait avec une voie de communication et il s'agira donc d'une localisation avec report de position.

En ce qui concerne le problème du financement et de la complexité européenne, je laisserai René Oosterlinck vous répondre.

R. Oosterlinck :

Il est exact qu'à première vue, cela semble complexe. Il faut savoir que c'est la première fois qu'avec de l'argent communautaire, un projet n'est pas réalisé dans un pays, puisque cette constellation qui va être construite ne se trouve dans aucun pays. C'est donc quelque chose d'inédit, et d'avoir pu obtenir ces fonds communautaires est déjà un miracle, et il est normal que cela prenne du temps.

Ensuite, l'Agence spatiale européenne demandait 550 millions d'euro et les pays européens en offraient 750. En effet, la France, la Grande-Bretagne, l'Allemagne et l'Italie voulaient participer pour 25 %, donc avec quatre pays, nous avions déjà 100 %. Bien évidemment, tous les autres pays voulaient participer aussi parce que ce projet est très porteur pour l'économie. Nous avons donc rencontré des difficultés pour réduire les contributions car personne ne voulait réduire la sienne !

P. de Brem :

C'est un problème tout à fait inhabituel ! L'aviez-vous anticipé ou vous a-t-il surpris ?

R. Oosterlinck :

Nous nous y attendions un peu car, pour la phase de définition, nous avons demandé 40 millions d'euro et nous en avons reçu 60, la différence étant que nous avons pu encaisser ces 60 millions ! Là, il fallait une décision au Conseil de l'Union européenne, et au conseil de l'Agence spatiale européenne, et les Etats-membres n'étaient pas exactement les mêmes, ce qui a posé des problèmes.

L'Entreprise commune Galileo paraît à première vue compliquée mais en fait, ce n'est pas une machinerie très lourde - elle ne comprend qu'une trentaine de personnes. Les décisions sont prises très vite, en un ou deux jours, par un comité exécutif et un comité d'administration. En pratique, cela fonctionne très bien.

P. de Brem :

J'ai une question pour Roland Barillet, spécialiste des horloges atomiques, qui sont au cœur de cette constellation Galileo. S'agit-il de machineries extrêmement complexes et précises ? Cela pose-t-il un problème de les envoyer «en enfer» dans l'espace ?

R. Barillet :

Comme tous les produits qui partent dans l'espace, ils doivent supporter au décollage des conditions particulièrement brutales. Ce ne sont pas des vols habités et ils sont donc beaucoup moins amortis que ces derniers, avec des vibrations au démarrage qui, localement, peuvent atteindre des niveaux effrayants, auxquels un humain ne pourrait résister. Il y a par conséquent un travail d'industrialisation très spécifique à faire.

P. de Brem :

Vous allez donc bouger toutes les pièces à l'intérieur de votre horloge, et vous avez besoin d'une précision extrêmement fine.

R. Barillet :

Nous savons faire un démonstrateur de laboratoire qui réalise la performance demandée. Ensuite il faut que des industriels spécialisés en technique spatiale en fassent un produit capable de supporter les conditions spatiales sans perdre la performance nominale.

Au niveau européen, un certain nombre de laboratoires travaillent sur des projets d'horloge depuis une quarantaine d'années mais il y a très peu d'industriels dans ce domaine. L'Agence spatiale européenne a choisi un fournisseur suisse qui fabrique les horloges prévues pour le démarrage de Galileo. Il est envisagé, dans un futur assez proche mais pas immédiat, de faire appel à un second fournisseur d'horloge, avec un consortium européen car il est préférable d'avoir plusieurs fournisseurs pour un projet aussi stratégique aux plans économique et militaire : c'est le principe de la double source, indispensable à la pérennité de Galileo.

P. de Brem :

On peut imaginer que la France soit associée à ce consortium qui ferait ces secondes horloges.

R. Barillet :

D'après mes informations, il y a effectivement un industriel français dans ce consortium.

P. de Brem :

Nous avons donc des vibrations et, une fois dans l'espace, des radiations. Je crois que nous sommes à 24 000 km d'altitude et c'est à peu près la pire altitude en matière de radiations.

R. Barillet :

Peut-être pas la pire, mais c'est très contraignant, en particulier pour l'électronique.

R. Oosterlinck :

C'est une orbite plutôt désagréable. On a pu le constater avec un satellite Artemis dont le lancement avait été un peu manqué et qui se trouvait sur une orbite trop basse, et qu'on a fait monter doucement vers l'orbite géostationnaire. Il est resté plusieurs mois sur cette orbite, et l'on a pu observer une dégradation de ses panneaux solaires de 12 %. C'est la raison pour laquelle il faut développer un générateur de signaux qui puisse résister à ces types de radiations.

Nous avons toutefois choisi cette orbite car elle est excellente pour la navigation parce que très stable. On a donc peu de modifications ou de corrections d'orbite, ce qui est un avantage important, notamment en termes de carburant.

Question :

J'ai certainement mal compris ce que vous avez expliqué : au début, vous avez parlé de mesures de marée terrestre de 30 cm, à un autre moment d'atterrissage d'avion, et ensuite vous nous dites que Galileo a une précision de 5 à 8 m, donc je ne comprends plus.

R. Pagny :

Les récepteurs fonctionnent sur le pseudocode, le temps qui est diffusé et qu'on analyse en différentiel. Il y a une autre façon de retrouver sa position et qui permet d'arriver au centimètre ou au millimètre comme dans le cas de mesures de positionnement très longues.

Sur ce qu'on appelle l'analyse de phase, où le récepteur va travailler d'une autre façon, nous sommes dans une gamme de récepteurs beaucoup plus chers - que vous pouvez voir sur le site de Thales -, qui travaillent sur le *Real-Time Kinematic* et vont faire de l'analyse de phase des signaux, soit en monofréquence, soit en bifréquence, et qui, après des calculs un peu plus longs, vont déterminer le nombre de longueurs d'ondes entières qui sépa-

rent le récepteur du satellite émetteur, la longueur d'onde étant de l'ordre de 20 cm. C'est ainsi qu'on arrive à des positions de centimètre.

On a ensuite la construction des bases numériques qui vont servir à la navigation. On parle beaucoup de positionnement de navigation pour tous les mobiles qui se déplacent, mais pour visualiser ou travailler sur ces positionnements, il faut construire la cartographie numérique qui va avec. C'est grâce à ces récepteurs plus sophistiqués qu'on construit la cartographie numérique avec un référentiel universel qui met tout le monde d'accord. C'est fantastique car, quiconque a essayé de construire une cartographie numérique pour un métier donné s'aperçoit qu'il a du mal à discuter avec son collègue qui a construit une autre cartographie pour la même chose. C'est la raison pour laquelle, actuellement, plusieurs grandes villes en France développent un modèle numérique d'une agglomération entière, où l'on mesure au centimètre près, pour garantir le décimètre, l'ensemble des éléments qui constituent la ville : les bordures de trottoir, les arbres, le mobilier... Je connais bien la communauté urbaine de Bordeaux, où une équipe entière travaille depuis plusieurs années à développer ce modèle numérique sur l'ensemble de la communauté urbaine, ce qui permet de mettre en œuvre des politiques publiques extrêmement ambitieuses en termes d'aménagement : cela sert à mesurer les emprises au sols des bâtiments, leur hauteur ; à faire du contrôle de permis de construire ; à lancer des programmes de remise en cohérence du domaine public avec le parcellaire, en liaison avec les services cadastraux. Les concessionnaires sont extrêmement intéressés par ces bases numériques parce qu'ils viennent poser dessus tout leur réseau. Maintenant que l'électricité, le téléphone sont enterrés, cette précision permet, lors d'une intervention, de creuser exactement à l'endroit où la canalisation se trouve sans faire de tranchée.

Tout un marché se développe, qui utilise les facultés de positionnement GPS ou Galileo, et surtout, qui va utiliser de plus en plus la précision que va pouvoir apporter la qualité des signaux Galileo. Il faut donc bien avoir à l'esprit qu'il existe un immense marché potentiel de construction de ces bases d'information, qui sont des bases de cartographie numérique «métier», et qui vont permettre de développer toutes les applications qui sont derrière l'utilisation de la navigation et du positionnement par satellite. C'est la précision de certaines mesures qui permet de développer ces bases plus rapidement et de façon plus cohérente qu'auparavant.

R. Barillet :

Je voudrais ajouter un double commentaire.

Premièrement, s'agissant de la question «5 m près ou 1 cm près ?». 5 m près, c'est pour quelque chose qui bouge, par exemple un avion qui vole à 200 m/s, soit environ 700 km/h, et qu'il est donc important de positionner instantanément ou quasi instantanément, en une fraction de seconde. En revanche, une marée terrestre monte de 10

à 20 cm en 6 h, et vous avez donc le temps de regarder, de moyenniser ; tout votre bruit va être moyenné et donner après coup, avec un traitement certes différent, une précision de l'ordre du centimètre, y compris sur des années puisqu'on observe des dérives de continents de l'ordre de quelques centimètres par an avec le GPS Phase.

Deuxièmement, lorsque la précision, le niveau de performance d'une technique s'améliorent, de nouvelles applications se développent toujours. La cartographie numérique avec les dispositifs du type GPS différentiel, ou Galileo différentiel dans le futur, permet aussi un positionnement centimétrique, voire un peu mieux, dans un certain rayon autour de balises très bien repérées. Donc on peut imaginer que n'importe quel immeuble sera construit avec des récepteurs qui permettront de savoir qu'on plante très précisément le coin de l'immeuble à un centimètre près sur le terrain *ad hoc*, sans problèmes de voisinage.

Question :

Vous avez appelé votre système complémentaire du GPS «Egnos». Avez-vous fait exprès de choisir le mot «songe» lu à l'envers ?

P. de Brem :

Quel poète !

R. Pagny :

Nous avons passé en revue très rapidement toutes les possibilités qu'on pouvait envisager sereinement avec la navigation par satellite, mais il existe aussi les possibilités du rêve, qui sont ce qu'on n'a pas encore imaginé ! On peut obtenir, par exemple, avec tout un système d'augmentation locale, des éléments locaux qui vont donner des précisions plus importantes et surtout des services d'intégrité beaucoup plus pointus. On parle de 6 secondes, mais pour beaucoup d'applications dans le domaine du transport, 6 secondes, ce n'est pas suffisant ; il faut descendre à la seconde, ce que des éléments locaux vont permettre. On pourra alors passer à du guidage automatique de voiture sur autoroute, rêver à des applications beaucoup plus novatrices.

P. de Brem :

Qu'est ce que le guidage automatique ? Cela signifie-t-il qu'on peut lâcher le volant ?

R. Pagny :

Je ne dis pas qu'on va réaliser demain ce projet «route automatisée», ni qu'on y consacrera beaucoup de moyens au ministère du Transport, mais on y travaille quand même. Si, sur une autoroute, vous avez une précision décimétrique garantie avec un certain niveau d'intégrité, vous pourrez donc lâcher le volant et vous mettre en conduite automatisée.

Je voudrais citer une expérience de course sans pilote dans le désert du Nevada, financée par l'armée améri-

caine, avec un parcours est de 500 km où les points de passages étaient donnés par des GPS et où les voitures devaient se débrouiller toutes seules pour arriver à l'objectif. Je n'en connais malheureusement pas les résultats, mais on voit que va s'ouvrir un champ de possibilités qu'on a encore du mal à imaginer.

Question :

Quel est l'intérêt des Chinois dans tout cela ?

R. Barillet :

Peut-être qu'ils ne le savent pas encore, mais cela va venir ! Chaque fois qu'un produit nouveau arrive, on ne sait pas a priori jusqu'où on pourra l'utiliser, et c'est ensuite qu'on imagine des possibilités.

P. de Brem :

Qui travaille avec les Chinois ?

R. Oosterlinck :

Je pense que Thales a des accords avec la Chine pour les applications.

L'Union européenne a signé un accord avec la Chine sur Galileo. Il faut savoir que la Chine représente un marché énorme et que les Chinois ont une capacité intellectuelle et industrielle considérable. Il y a vingt ans, on a exclu les Chinois du projet de station spatiale, avec pour résultat que la Chine construit elle-même sa propre station, son vol habité. S'agissant du téléphone mobile, la Chine a choisi le système européen, donc le standard européen GSM est utilisé en Chine. Nous étions convaincus en Europe que, soit la Chine collaborait avec l'Europe pour la navigation, soit elle y allait toute seule, ce qui n'était certainement pas dans l'intérêt européen.

Aujourd'hui, nous avons trouvé un accord avec la Chine sur certaines contributions, dont l'intégrité régionale : Galileo va offrir une intégrité globale mondiale, de l'ordre de 6 secondes de temps d'alarme, mais donne une possibilité d'améliorer encore cette notion d'intégrité dans certaines régions. Par exemple, on a prévu un système régional où les Chinois pourront, avec des stations terrestres autour de la Chine, envoyer un signal vers les satellites pour avoir un signal amélioré au-dessus de la Chine.

Concernant les applications, la Chine fait des choses incroyables. Ce n'est plus un pays en voie de développement dans beaucoup de technologies, et, pour les applications en matière de navigation, ils sont parfois en avance sur l'Europe. J'ai vu des expériences avec des rameurs, pour les jeux olympiques, où des récepteurs différentiels indiquaient l'accélération à chaque coup de rame, pour donner les rythmes des rameurs. En Europe, on ne peut pas se permettre ce type d'expérience pour des raisons de coût, mais en Chine la main d'œuvre ne coûte rien, les gens sont intelligents, et des milliers d'ingénieurs y travaillent. On peut donc vraiment tirer un profit en travaillant avec eux. Thales a d'ailleurs conclu récemment un accord, dont je laisse à M. Bou le soin de vous parler.

J.-F. Bou :

On parlait tout à l'heure de télématique, c'est-à-dire la combinaison des techniques de positionnement et de communication. Nous venons de démarrer une entreprise commune avec une société chinoise dont l'objet est de développer les applications télématiques, c'est-à-dire principalement de la gestion de flottes de véhicules pour tous les grands comptes chinois (par exemple, la poste et les institutionnels), comme nous le faisons en Europe.

Question :

Vous avez dit, en somme, que l'Europe va pouvoir accéder à un domaine qui lui était interdit c'est-à-dire le domaine défense, le domaine militaire. Quelles sont les caractéristiques physiques qui distinguent les applications civiles des applications militaires ? L'Europe de la défense est quelque chose d'assez pluriel - il y a l'OTAN -, mais dans le cas d'un conflit où les Américains et certains Européens travailleraient ensemble, y aura-t-il une interopérabilité entre les deux systèmes ?

J.-F. Bou :

S'agissant des caractéristiques des signaux militaires par rapport aux signaux civils, on a évoqué la facilité avec laquelle on peut brouiller le signal GPS civil, qui n'est pas un signal très puissant. On a évoqué aussi des techniques plus sophistiquées de leurrage.

Les signaux militaires doivent avoir pour principale caractéristique une certaine robustesse par rapport à ces possibilités de brouillage et/ou de leurrage, ce qui a des impacts sur l'architecture du système, qu'il faut sécuriser au niveau du signal lui-même, qu'il faut crypter de façon à en garantir l'accès à certains utilisateurs autorisés. Il y a donc à la fois un aspect garantie de la disponibilité du signal, pour les utilisateurs autorisés, en toutes circonstances, y compris sur des théâtres d'opération qui sont parfois compliqués en termes de contexte électromagnétique, et un deuxième aspect qui est qu'il faut pouvoir brouiller les autres signaux tout en continuant à utiliser celui-là. Autrement dit, on peut décider qu'en cas de crise majeure, les utilisateurs non gouvernementaux vont être privés des signaux Galileo parce qu'on ne veut pas que celui-ci soit susceptible d'être utilisé par des gens qui pourraient menacer nos intérêts.

En tant qu'industriels, nous souhaiterions en plus que le futur signal PRS Galileo, superposé ou non au signal militaire GPS, soit au moins aussi performant parce que, s'il l'était moins, je ne vois pas pourquoi les forces européennes auraient intérêt à l'utiliser. De plus, il est vraisemblable que les Américains pourraient être de grands utilisateurs du signal Galileo parce qu'il augmentera la robustesse de leurs signaux pour leurs propres forces, et qu'il permettra aussi de garantir la sécurité des soldats américains. Bien évidemment, ils ne vont pas se baser uniquement sur Galileo, mais on espère bien qu'ils utiliseront les deux signaux, ce qui est, du reste, susceptible de garantir un certain équilibre entre les positions des indus-

triels américains et européens sur des marchés importants. Pour le moment, on parle d'applications aérospatiales, mais on commence aussi à parler de fantassins : un marché a été signé récemment concernant des équipements de fantassins du futur. Cela signifie que demain, on vendra des centaines de milliers de récepteurs Galileo militaires.

Question :

Quelle est l'orbite ?

B. Mathieu :

Le GPS est à 19 000 km d'altitude et Galileo sera à 23 560 km, avec trois plans d'orbite inclinés de 56° par rapport à l'équateur.

Le choix des orbites a été optimisé pour les raisons indiquées par René Oosterlinck mais aussi pour une raison, je dirais, d'égalité européenne. Les pays qui sont les plus au Sud et ceux qui sont les plus au Nord vou-

laient avoir la même qualité de service. On a donc optimisé les choix des plans d'orbite, et naturellement la distribution des satellites sur les plans d'orbite, pour garantir une performance de service équilibrée et sensiblement identique partout quelle que soit la latitude, équatoriale ou polaire. Dans les systèmes comme le complément au GPS d'Egnos qui permet de faire de l'intégrité, mais où l'on diffuse le message d'intégrité dans un signal de type GPS émis par un géostationnaire, aujourd'hui, on ne couvre pas les pôles. En conséquence, un certain nombre de pays à latitude élevée n'étaient pas satisfaits du complément européen à GPS fait à partir de géostationnaires, qui constitue la première étape dans les systèmes de navigation. On diffusera donc l'intégrité dans Galileo par les mêmes satellites que ceux qui envoient les signaux de positionnement/datation.

P. de Brem :

Merci à nos intervenants, et merci à la société UME.