

"GALILEO", EL SISTEMA EUROPEO DE POSICIONAMIENTO POR SATÉLITE*

Luis Ruiz
(Empresa Común Galileo)

En la presentación del Sistema europeo de posicionamiento por satélites *Galileo*, examinaremos sucesivamente los puntos siguientes:

- Organización del proyecto y sus objetivos.
- Principios generales de posicionamiento.
- Frecuencias, señales y servicios.
- Arquitectura del sistema y sus aplicaciones.
- Calendario de puesta en marcha.

1 - ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

Galileo nació oficialmente el 26 de marzo de 2002 con motivo de una reunión de los Jefes de Estado y de Gobierno de la **Unión Europea**. El desarrollo industrial de la operación ha necesitado más de un año, habiéndose confiado la supervisión a la empresa común que reagrupa a la Unión Europea a través de la **Comisión Europea** y la **Agencia Espacial Europea**.

Recordemos que, en virtud del artículo 171 del *Tratado de la Unión*, ésta puede crear empresas comunes para la Investigación y Desarrollo de un proyecto. Este es el primer ejemplo de tal creación.

La **Unión Europea** interviene igualmente en el ámbito espacial a través de otros dos programas:

- El Programa GMES (*Global Monitoring of Environment by Satellites*), relativo a la gestión de las crisis y de la Federación de los programas espaciales,
- El Programa marco de Investigación y Desarrollo (PCRD), un programa plurianual muy ambicioso que

abarca todos los sectores de Investigación. El programa *Galileo* dispondrá de 100 millones de euros.

La fase de desarrollo del proyecto *Galileo* está, por tanto, lanzada y financiada. Incluye el desarrollo de los conceptos y la realización y el lanzamiento de seis satélites:

- Dos satélites denominados "tecnológicos", destinados a validar las tecnologías críticas del programa (principalmente los relojes) puesto que veremos que, desde el momento en que se habla de navegación, se necesita una medida del tiempo extremadamente precisa (precisión del tiempo y precisión de la posición respecto al suelo, que están estrechamente ligadas). Ambos satélites, que se lanzarán en 2005, servirán para validar esta medida y comenzarán igualmente a difundir señales de navegación para respetar el Reglamento de la **Unión Internacional de las Telecomunicaciones**, que exige un respeto muy estricto de las fechas de puesta en servicio de las frecuencias asignadas.

- Los cuatro primeros satélites de la constelación operativa *Galileo*.

Esta fase representa un presupuesto de 1.100 millones de euros y se estima que el costo del programa completo (incluyendo los 30 satélites operativos y las infraestructuras en el

suelo) ascenderá a los 3.000 millones de euros, a los que será necesario añadir los costos anuales de explotación, que serán del orden de 220 millones de euros.

2 - LAS APUESTAS

Puede preguntarse por qué la **Unión Europea** ha decidido realizar este programa sabiendo que existen ya dos programas de navegación por satélites en el mundo:

- El programa americano *GPS* (*Global Positional System*)
- El programa ruso *Glonass*.

Este último es parcialmente operativo porque sólo funcionan alrededor del 50% de los satélites. Por el contrario, el *GPS* funciona en condiciones muy notorias en términos de eficacia. Entonces, ¿por qué la **Unión Europea** se lanza a esta aventura? Es una cuestión muy compleja pero que se puede resumir en una palabra: independencia. La **Unión Europea** desea ser independiente porque, tras la navegación por satélite, existen apuestas muy importantes:

- De entrada, apuestas económicas: el mercado *GPS* representa hoy 8.000 millones de euros y las previsiones a diez años representan cifras de varios órdenes de magnitud superiores. Se trata, pues, de un mercado en un crecimiento muy fuerte en el que la **Unión Europea** quiere estar presente. Sólo desde el punto de vista económico, estas cifras justifican ya el desarrollo de *Galileo*.

- Pero existen otras motivaciones: en el ámbito de la Defensa, bien sea en la localización de aeronaves o el control de bombas guiadas, Europa depende del sistema *GPS* y es sabido que la utilización de este sistema juega un papel esencial en los combates modernos. A título de ejemplo, du-



European Space Agency

*Del texto transcrito por los Srs. **Pierre Ricard** y **Jacques Gauthier** a partir del registro magnético de la Conferencia pronunciada por el autor el 17 de octubre del 2003, en la ESTIA, durante la Fiesta de la Ciencia. Las informaciones presentadas en el transcurso de la Conferencia traducen el punto de vista personal del autor y no comprometen, por tanto, a la **Empresa Común Galileo**.

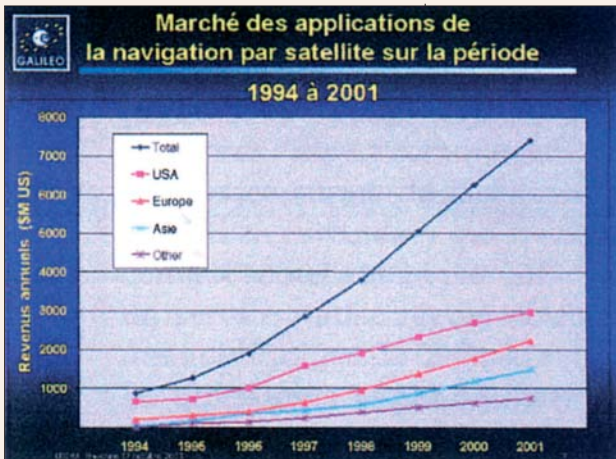


Fig. 1a

radadores. Esta búsqueda de equilibrio es una condición importante para la elección técnica a realizar, que se olvida frecuentemente.

3 - LOS PARTICIPANTES

Los participantes en el programa

Galileo son los Países Miembros de la **Agencia Espacial Europea** y los miembros de la **Unión Europea** (los 15 Países de la Unión, más Suecia y Noruega, que sólo son miembros de la Agencia Espacial Europea). Esta Europa "de geometría variable" está gestionada con pragmatismo y una norma especialmente interesante es la de la seguridad del sistema. Los satélites *Galileo* emiten señales consideradas como críticas desde el punto de vista de la seguridad y deberán instaurarse procedimientos de encriptado con la aprobación de los gobiernos de la Unión Europea. Suecia y Noruega están asociadas a estas reflexiones.

A nivel de organización, participan dos Instituciones, en régimen de paridad, en la construcción del proyecto: la **Comisión Europea** y la **Agencia Espacial Europea**. Cada una ostenta el 40% de los derechos de decisión de la *Empresa Común Galileo*. Esta situación deja la puerta abierta a otros participantes en la *Empresa Común*. Se ha establecido un acuerdo de cooperación con China cuya contribución financiera al programa será la no despreciable cifra de 200 millones de euros, lo que le convertiría en el quinto país contribuidor de *Galileo*, detrás de Francia, Alemania, Italia y el Reino Unido, pero delante del resto de países europeos.

Fig. 1b

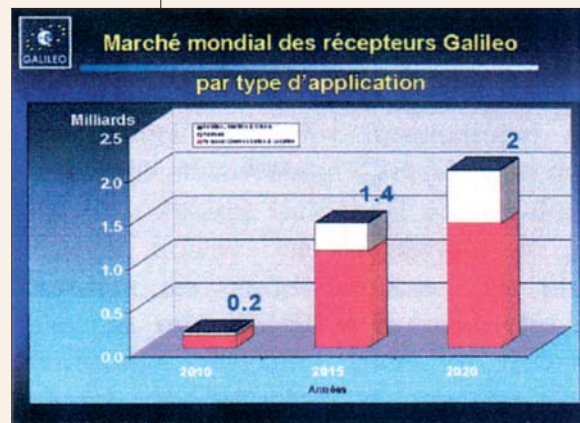
Al nivel de funcionamiento, la *Empresa Común* supervisa el programa y delega el presupuesto a la **Agencia Espacial Europea** para la fase de desarrollo del programa: seis satélites y los segmentos de suelo asociados.

La *Empresa Común* gestiona, por otra parte, los 100 millones de euros del programa marco de Investigación y Desarrollo descrito. Estos 100 millones cubren los gastos complementarios no comprendidos en el programa delegado: desarrollo de nuevos receptores adaptados a las señales de *Galileo*, desarrollo de proyectos de demostración, creación de interfaces entre *Galileo* y el mundo exterior, sobre todo al nivel de la gestión del tiempo que debe acercarse al máximo al tiempo internacional...

4 - EVOLUCION DEL MERCADO

Ya hemos visto que el mundo de la navegación por satélite está en plena expansión. Para prever su volumen en el futuro, los especialistas en *marketing* han comenzado por estudiar su evolución en los diez últimos años. Esta evolución se presenta en la figura 1a.

Se puede observar que en 2001 se alcanzaba la cifra de ocho millones de volumen de negocio en el mundo. La figura 1b muestra las previsiones para el horizonte 2020 pero no refleja la evolución en términos de cifra de negocios sino del número de terminales vendidos. Se pasaría así de algunos millones de receptores en 2001 a cerca de 2.500 millones en 2020. Estos serían receptores combinados *Galileo-GPS* en su gran mayoría, ya que todo el sistema está con-



rante la I Guerra en Irak, en 1991, la coalición liderada por los Estados Unidos utilizó del 5 al 8% de bombas guiadas del total lanzado. En 2003, durante la II Guerra de Irak, esta cifra pasó a ser del 70-80%

La **Unión Europea** tiene toda la razón en aspirar a su independencia y disponer de un sistema de navegación independiente del estadounidense. Pero, ¿el nuevo sistema será compatible, es decir interoperativo, con el *GPS*? Desde el punto de vista del utilizador, se trata de una cuestión muy importante: ¿podrá utilizar los 24 satélites del *GPS* y los 30 de *Galileo* de una manera concomitante y simple, o deberá elegir entre ambos sistemas? La elección de la Unión Europea ha sido desarrollar un sistema ciertamente independiente, pero que sea interoperativo con el *GPS*. La opción de independencia no excluye por tanto la interoperatividad.

A este nivel, es necesario introducir un concepto nuevo: la compatibilidad. En opinión de la **Unión Internacional de las Telecomunicaciones**, las señales emitidas, aunque interoperables, no deben interferirse mutuamente. Se trata de un punto técnico bastante difícil de resolver porque interoperatividad y compatibilidad no forman necesariamente una buena entente. Si se desea ser perfectamente interoperable, se utilizan las mismas frecuencias y las mismas señales que *GPS*, pero se corre el riesgo de confusión. Ha sido, por tanto, necesario encontrar un compromiso entre compatibilidad, para evitar las interferencias mutuas, e interoperatividad, para facilitar el uso de los ope-

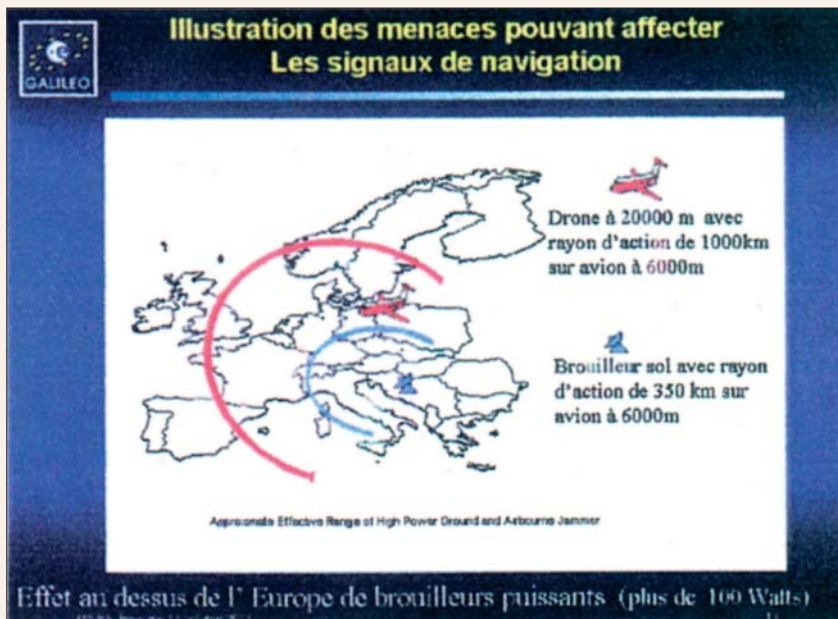


Fig. 2

cebido para facilitar la interoperatividad. En el interior de este mercado se constata que los receptores que contribuyen a las aplicaciones combinadas con la telefonía representarán alrededor de los 2/3 del mercado y solamente 1/3 para las aplicaciones combinadas con los automóviles. Las aplicaciones del tipo Aviación civil no representarán más del 1 al 2% del total. Esto conduce a una paradoja, ya que las aplicaciones del tipo de Aviación civil son muy estrictas en términos de Tecnología, en términos de precisión y- sobre todo- de integridad, no teniendo relación con la precisión exigida a los automóviles.

5 - VULNERABILIDAD DEL SISTEMA

Los sistemas de navegación por satélites son muy vulnerables dado que las señales emitidas a 23.616 km de altitud son de un nivel extremadamente débil cuando alcanzan el suelo. Es, por tanto, muy fácil su confusión. La figura 2 muestra ilustraciones de distorsión con diferentes tipos de agentes distorsionadores, sea en el suelo o embarcados en aviones. Con interferidores de algunas centenas de vatios se pueden ocultar zonas importantes. Por ejemplo, un distorsionador al nivel del suelo puede tener un radio de acción de 350 km en aviones volando a 6.000 m de altitud. Un aparato emisor no tripulado (*dro-*

ne) volando a 20.000 m tiene un radio de acción de 1.000 km sobre los mismos aviones. Esto supone un problema de seguridad muy importante.

6 - LOS SERVICIOS

El Sistema *Galileo* desarrollará "servicios" que pretenden cubrir el más amplio espectro de aplicaciones. Se pueden distinguir cuatro servicios de navegación y un servicio de búsqueda y salvamento.

Para los servicios de navegación se distinguen:

- Un servicio abierto, accesible a todo el mundo.
- Un servicio comercial con prestaciones superiores, a un costo determinado y por tanto encriptado, para preservar el aspecto comercial.
- Un servicio de seguridad de vida (seguridad de robos en particular) que no está cubierto actualmente por *GPS*.

- Un servicio público regulado destinado a las aplicaciones de Defensa y cuyos utilizadores serán designados por los gobiernos europeos.

Puede añadirse también un servicio de distribución del tiempo. Siendo el tiempo un parámetro crítico para un sistema de navegación, el sistema estará equipado para poner este tiempo a disposición de los utilizadores.

Además de los cuatro servicios de navegación, *Galileo* contribuirá al esfuerzo internacional de búsqueda y salvamento. Esto supone que en los satélites *Galileo* existirán dos cargas útiles: una de navegación, que asegurará los cuatro servicios citados, y una dedicada a la búsqueda y salvamento. En efecto, para este último servicio, el principio de medida es totalmente diferente ya que no son las señales emitidas por los satélites las que son recibidas en el suelo, sino, por el contrario, es la capacidad del satélite para detectar las señales de socorro emitidas desde el suelo la que actúa.

Por último, se considera que *Galileo* tendrá una cobertura mundial.

7 - PRINCIPIOS DE NAVEGACIÓN

El principio de navegación está basado en la técnica clásica de la triangulación. Esta técnica implica que se posicione en relación a puntos de referencia. Los puntos de referencia serán los satélites, de los que se deberá conocer la posición de forma muy precisa. Estos satélites estarán situados a 23.616 km de altitud siendo necesario conocer su posición con una precisión de centímetros. Seguidamente, basta medir la distancia satélite-receptor con una exactitud

compatible con la precisión de navegación que se desea obtener (es decir, algunos metros).

Para realizar esta operación, se mide el tiempo de propagación de la señal entre un satélite y un receptor y, conociendo la velocidad de propagación de la señal, se puede deducir su

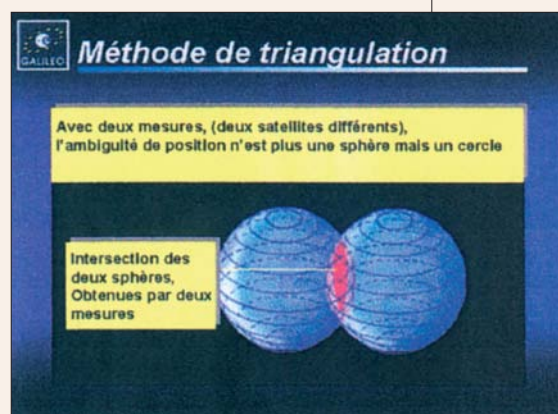


Fig. 3

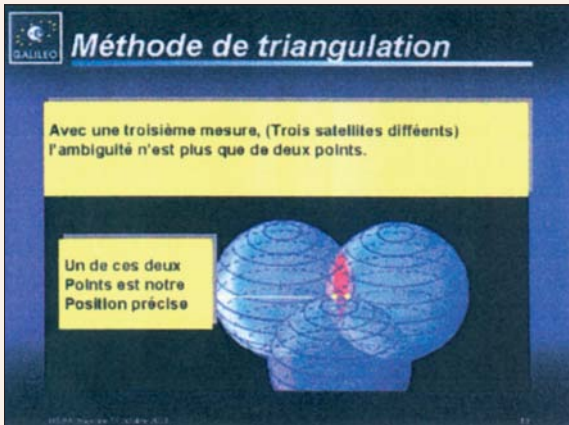


Fig. 4

distancia. Disponiendo de un punto de referencia, el satélite, y una distancia D , éste permite posicionarse sobre una esfera de radio D cuyo centro es el satélite.

Como el tiempo de propagación de la señal para un satélite situado a 23.616 km es del orden de 7/100 de segundo, es necesario medir el tiempo con algunos nanosegundos de precisión (un nanosegundo supone un error de 30 cm en la distancia). Esto demuestra claramente la importancia de los relojes embarcados en los satélites.

Con la recepción de dos medidas, provenientes de dos satélites, la zona de ambigüedad no es ya una esfera sino la circunferencia resultante de la intersección de las dos esferas (Figura 3).

Con la recepción de tres medidas, provenientes de tres satélites, la ambigüedad no es más que de dos puntos (Figura 4).

Para medir el tiempo, es necesario conocer el tiempo de salida y el tiempo de llegada de la señal: el instante de salida es suministrado por el

reloj del satélite. Son relojes atómicos extremadamente costosos pero extremadamente fiables y estables. El tiempo de llegada viene dado por el receptor, que posee un reloj de menor calidad. La determinación del tiempo de llegada

comporta el sesgo del receptor. La eliminación de esta imprecisión se resuelve por ecuaciones, que no detallaremos. Para hacerlo, es necesario tener una cuarta medida. Se resuelve, por tanto, el problema x y z por las tres primeras medidas, y t , por la cuarta.

La señal es transmitida bajo la forma de códigos, un código es una sucesión de 0 y de 1 con una secuencia pseudo-aleatoria. El receptor conoce la secuencia pseudo-aleatoria de un satélite dado, poseyendo cada satélite una secuencia particular. El receptor puede, por tanto, reconocer el satélite y evaluar el tiempo de emisión t_0 de emisión y el tiempo t_1 de la recepción. Puede, por tanto, calcular la distancia que le separa de este satélite. Pero hemos visto que el receptor incluye un sesgo debido al reloj de recepción y a que su tiempo es ligeramente diferente al del satélite. La discordancia entre estos dos tiempos no permite, pues, calcular una distancia verdadera sino una pseudo-distancia. Este error es resuelto por la cuarta medida.

Hay un segundo método para medir el tiempo de propagación de la señal efectuando las medidas, no solamente sobre el código, sino sobre la fase de la señal. La dificultad reside en que existe una ambigüedad sobre el número entero de períodos entre el satélite y el receptor. Este problema se resuelve por la existencia de un receptor de referencia cuya posición se conoce exactamente. Esta



El sistema Galileo de localización por satélite se retrasa. Será operativo en 2009 y no en 2008 como se anunció en un principio. La alternativa del sistema estadounidense GPS permitirá, por ejemplo, un acceso más rápido de los bomberos, de los servicios de salvamento y de la policía al lugar de un accidente, que conductores y deportistas encuentren de forma exacta sus posiciones o mejorar la seguridad del tráfico aéreo.

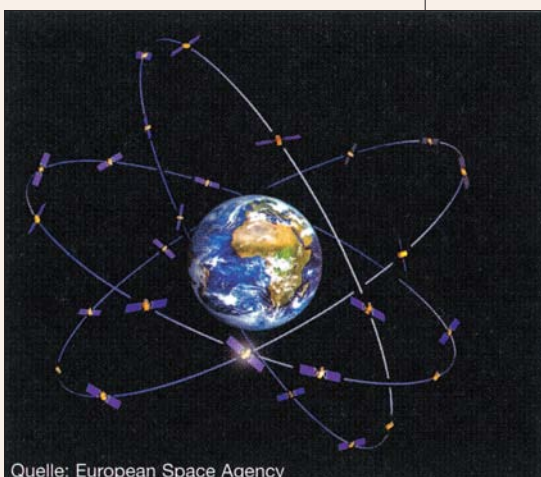
El primer satélite de prueba será lanzado en octubre de 2005 y en 2006 y 2007 se lanzarán cuatro satélites de validación en órbita. Si todo funciona bien en esta fase de validación, en 2009 se podrían mandar los 26 satélites restantes.

medida sobre la fase es bastante más precisa que la medida sobre el código. Por este método se pueden alcanzar precisiones de algunos milímetros pero sus aplicaciones tienen sobre todo carácter científico.

8 - LOS TIEMPOS

El tiempo en este Sistema se construye alrededor de cuatro relojes embarcados en cada satélite: dos relojes atómicos de rubidio y dos relojes atómicos hidrógeno-maser (pasivos). Los cuatro son de gran calidad, pero no son perfectos y su condición de utilización a bordo de satélites es difícil (variación de temperatura, por ejemplo). Por el contrario, se puede mejorar al nivel del suelo donde será instalada una red de relojes atómicos de cesio y de hidrógeno-máser activos, que proporcionarán un tiempo de referencia aún mejor que el de los satélites.

Los relojes satélites están, por tanto, supervisados permanentemente



Quelle: European Space Agency

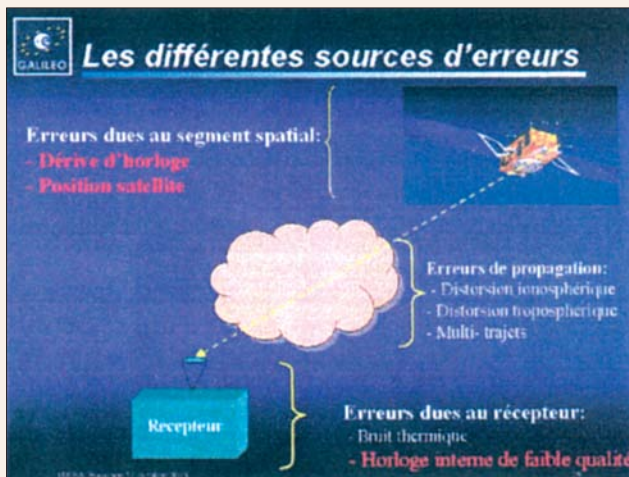


Fig. 5

ciertas aplicaciones requieren una referencia al tiempo internacional (*Universal Time Coordinate*). Es necesario que el tiempo *Galileo* sea mantenido en un intervalo de + - 50 ns en relación al tiempo atómico interna-

cional y durante más del 95% del tiempo de funcionamiento del sistema, con una incertidumbre máxima de +- 28 ns. Las aplicaciones utilizando el tiempo de referencia UTC incluyen las sincronizaciones de las redes de telecomunicaciones o de transporte de energía, transferencias bancarias, laboratorios...

9 - OTRAS FUENTES DE ERRORES

Se ha visto que la precisión de la localización depende de los errores que se cometen sobre la posición del satélite, así como de los errores en la medida del tiempo a partir de los relojes embarcados o en el suelo. Sin embargo, existen otras fuentes de errores (Figura 5)

Cuando la señal se propaga entre el satélite y el receptor, atraviesa un medio que no es homogéneo. En su paso por la ionosfera y la estratosfera sufre deformaciones que afectan a las medidas. Los obstáculos próximos al suelo (Edificios, relieve, estructura portante del receptor, como aviones o navíos...) producen igualmente deformaciones llamadas "multitrayets". Todas estas deformaciones afectan a las medidas y son fuentes de errores a tener en cuenta. El balance global de errores de *Galileo*, llamado "User Equivalent Range Error Budget" ó UE-RE, incluye los errores sobre la órbita del satélite (*Position*) y sobre la sincronización del tiempo, que contribuyen a un error de posicionamiento de 0,65 m; el paso por la ionosfera y la troposfera contribuye con 0,25 m. En total, hay un error irreducible de 0,80 m sobre el que no tenemos posibilidad alguna de acción.

De hecho, la situación es aún más compleja ya que el sistema no es estacionario. El parámetro DOP (*Dilution Of Precision*) traduce la degradación geométrica de este sistema y se recoge en la figura 6:

Según que los satélites estén demasiado espaciados o demasiado próximos (caso favorable o desfavorable) la calidad de la medida será más o menos buena. Al final, la preci-

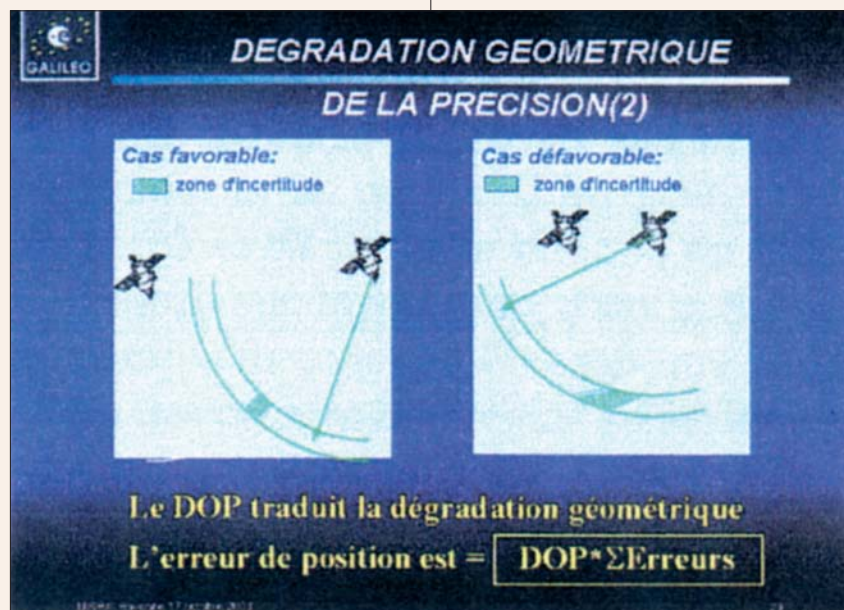
te por los relojes situados en el suelo. (Teniendo en cuenta las exactitudes de los relojes embarcados, la información del tiempo a bordo es re-sincronizada cada 100 minutos aproximadamente).

El tiempo *Galileo*, centro neurálgico del sistema, está pues suministrado por una red de relojes en el suelo y por cuatro relojes en cada satélite. Si se desea alcanzar una precisión de algunos metros en el posicionamiento al nivel del suelo, es necesario no admitir un error en la deriva del tiempo de más de algunos nanosegundos. De hecho, la deriva de los relojes de los satélites será mantenida en un intervalo de 10 ns y, a nivel del suelo, la tolerancia será aún más reducida.

Es necesario añadir que ha sido firmado un acuerdo con los Estados Unidos para sincronizar el tiempo *GPS* con el tiempo *Galileo* lo que mejorará la interoperatividad. En la práctica, esta sincronización es delicada, pero lo importante es conocer con precisión la separación entre los dos tiempos: el tiempo del sistema *Galileo* y el tiempo del sistema *GPS* pueden ser diferentes, por ejemplo, de 1 ó 10 µs, pero lo que debe conocerse es esta separación con una precisión del orden de 5 ns.

Aunque la función de navegación se satisface con el tiempo elaborado por los relojes del sistema (Satélites y segmento de referencia del suelo),

Fig. 6



(*) Estas ampliaciones son regionales. En la región de los EE UU son ya operativas, es el sistema WAAS (*Wide Area Augmentation System*). La ampliación en la región europea es operativa desde abril de 2004. La ampliación está financiada y operada por Europa. Es el sistema EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay System*).

sión de navegación es igual a la suma de los errores censados (*UERE*), multiplicada por el *DOP* (Geometría relativa del sistema). Es este producto el que permite evaluar la eficacia lograda por el sistema.

Para *Galileo*, la eficacia especificada es de cuatro metros en el plano horizontal y de ocho metros en el plano vertical. Estos datos indican que la precisión es más difícil de obtener en el plano vertical que en el horizontal.

El *DOP* tiene, por tanto, gran importancia, ya que interviene directamente en la precisión de navegación y para optimizarlo es necesario trabajar sobre la constelación de los satélites. ¿Se deben tomar 40 ó 24 satélites? ¿Se deben colocar en una órbita de 800 km ó de 36.000 km? Para realizar esta optimización se experimenta con cada modelo y se examinan los resultados. El error crece muy rápidamente en función de número de satélites y de la altitud de las órbitas.

Para *Galileo*, la elección ha sido la de una constelación de 30 satélites posicionados a 23.616 km de altitud.

La constelación de *GPS* es de 24 satélites, lo que comparativamente degrada el resultado.

El periodo de la órbita es de 14 horas 25 minutos (*Cuanto más se acercan a la tierra, más rápido giran los satélites; cuanto más se alejan lo harán más lentamente*). Los satélites están posicionados sobre una órbita a 23.616 km.

Las especificaciones de *GPS* son de *DOP* verticales de 2,8 y horizontales de 1,7 para el 90% del tiempo. Estas especificaciones conducen a que este sistema sea aceptable para aplicaciones militares, pero que no pueda ser certificado como tal para las aplicaciones civiles, en especial para la Aviación civil. Uno de los problemas fundamentales a resolver es el de llegar a realizar un sistema civil para las aplicaciones de resultados muy exigentes.

10 - NOCIÓN DE INTEGRIDAD

Hasta el momento sólo hemos visto los problemas ligados a la precisión pero llegamos ahora a la noción de integridad. Se hace una medida sobre la posición de un móvil, por ejemplo,

un avión, y se sabe que se van a cometer errores inherentes al sistema y errores ligados al *DOP*. Estos errores están limitados por un incrementador llamado *PL* (*Protection limits*). Hay una protección horizontal (*HPL*) y una protección vertical (*VPL*).

La localización de un móvil del que se busca determinar la posición es conocida con un error limitado por *HPL* y *VPL*. Pero en una aplicación

el *VAL* (*Vertical Alarm Limit*) es preciso que el utilizador sea informado en menos de seis segundos. El sistema está además concebido con una fiabilidad de 2/ 10.000.000 por periodo de 150 segundos (*Probabilidad de superación de las alarmas límites sin que el sistema lo detecte*). Las normas OACI proporcionan los niveles de alarma para las diferentes fases de vuelo. El sistema *Galileo* está conce-



Fig. 7

dada, en nuestro ejemplo de Aviación civil, si el avión se encuentra en régimen de crucero o si está en fase de aproximación final, es necesario respetar un volumen de seguridad específico: es como se llama a las alarmas límites (*VAL* en el plano vertical y *HAL* en el horizontal). Es necesario que el sistema sea capaz de asegurar, cuando asimilemos los errores a las protecciones límite (*HPL* y *VPL*), que no salgan fuera de las alarmas límite (*VAL* y *HAL*). Esta es la noción de integridad. El riesgo de integridad es el riesgo de que la señal de error sobrepase la alarma límite sin que nos demos cuenta.

Cuando el sistema detecta correctamente la transgresión del límite de alarma, debe de informar a los utilizadores, en el breve plazo de seis segundos: si el sistema detecta una anomalía tal que, por ejemplo, el *VPL* (*Vertical Protection Limit*) sobrepasa

bido para realizar aproximaciones con un guiado vertical de categoría *AVP2* (*Riesgo de 2/ 10.000.000 y tiempo de información de seis segundos*). Por el contrario, el sistema *GPS* clásico, de cobertura global, no satisface este nivel de necesidades de la Aviación civil. Se ha previsto realizar "ampliaciones" (*) de *GPS* en las que se añaden sistemas regionales o locales para supervisar la calidad de las señales.

Existen tres sistemas regionales: el sistema americano *WAAS*, el europeo *EGNOS* con tres satélites, y el japonés *MSAS*. Así, con el *GPS* mejorado en complementariedad con el *EGNOS*, se llega a realizar un guiado vertical de tipo *APV1* en Europa, es decir, una alarma de error en menos de 10 segundos (Compárense con los seis segundos de *Galileo*). El día en que se logre combinar *GPS* y *Galileo* se llegarán a mejorar en las diferentes fases de vuelo.

Combinando todos los sistemas, se puede llegar a la categoría III, es decir que se puede hacer aterrizar a un avión. Actualmente para lograr la categoría III no se emplean satélites sino los medios en tierra.

El interés de la compatibilidad entre los dos sistemas es que, en particular en las ciudades, donde existe el *efecto máscara* debido a los edificios, se aumenta la probabilidad de recibir la señal de un número suficiente de satélites para calcular una posición. Para la ciudad de Bayona hay tres satélites por encima de 30° con el sistema *GPS*. Si se combinan *GPS* y *Galileo*, habrá siete satélites.

11 - FRECUENCIAS

Los códigos de los que hemos hablado, que permiten medir las distancias entre los satélites y los receptores, no se propagan solos sino mediante ondas portadoras.

En *GPS* tenemos tres señales: C/A en la banda L1 y los códigos militares en las bandas L1 y L2. (C/A significa *Coarse Acquisition*). Los americanos aceptan que los utilizadores civiles traten el código C/A. Actualmente para la navegación automovilística éste es el código (una sola señal por tanto) que se utiliza. Los militares están más favorecidos ya que utilizan dos señales, una en la banda L1 y una en la L2. Se constata igualmente que los códigos P son más largos y, por tanto, más precisos. Existe en P un índice "Y" que significa que están encriptados.

Los códigos encriptados militares no son accesibles. Los americanos han propuesto introducir una segunda señal civil en L2 e introducir los códigos militares en L1 y L2. A corto plazo, a partir de 2008 y a plena capacidad en 2010, tendremos por tanto dos códigos civiles. Esto es interesante porque se podrán realizar correcciones: ionosfera, estratosfera... que no se pueden hacer hoy en los receptores de monofrecuencia. Una tercera mejora consistirá en la creación de una señal civil en la banda L5, reservada a la Aeronáutica, que permitirá a *GPS* ser certificada para la Aviación civil.

Se ha cuestionado la elección de las bandas de frecuencia en las que serían difundidas las señales de navegación de *Galileo*. La decisión ha sido: habrá una banda común *GPS/Galileo* en la banda L1. Existirá una banda específica de *Galileo*, llamada E6. La L2 será específica de *GPS* y la L5 es una banda futura común a *Galileo* y *GPS*. El problema crucial es cómo introducir las señales *Galileo* en L1, teniendo en cuenta la saturación de esta banda. No solamente está saturada sino que hay que tener en cuenta que detrás de cada señal hay una multiplicación por el número de satélites. Por ejemplo, existe un código C/A propio de cada satélite, lo que significa que todos estos códigos, emitidos en la misma frecuencia, se superponen los unos a los otros... la discriminación entre los diferentes C/A se hará por códigos binarios específicos de cada satélite tal como hemos visto. Esto permitirá identificar al que está emitiendo. Otro problema a resolver es la compatibilidad de las operaciones de *Galileo* con los imperativos de seguridad de *GPS* que es, recordemos, un sistema en primer lugar militar.

12 - ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Hemos visto que el sistema *Galileo* estará constituido por una constelación de 30 satélites navegando a 23.616 km de altitud, con una inclinación de 56° respecto al Ecuador. Las características del satélite tipo se muestran en la figura 7.

Cada satélite tendrá una masa de 680 kg, dispondrá de una potencia de 1,6 kW y podrá transportar una carga útil para el sistema de navegación de 70/80 kg y una carga útil para el sistema de búsqueda y salvamento de 20 kg.

El lanzamiento estará asegurado por el lanzador *Ariane 5*, capaz de colocar simultáneamente en órbita ocho satélites y por cohetes *Soyuz ST 2003*, que pueden poner en órbita dos satélites.

El segmento a nivel del suelo estará constituido por:

- Dos centros de control para gestionar el conjunto del sistema.
- Cinco estaciones TT y C en banda S (2 GHz) con una antena en banda S de 11 m por estación (*TT and C: Telemetry, Tracking and Command System*).
- Diez estaciones-misión en banda C (5 GHz) con cuatro antenas de 3,20 m en banda C por estación. Estas 10 estaciones servirán para cargar los datos de navegación (incluyendo los datos sobre la referencia de tiempos) a bordo de los satélites.
- Treinta estaciones de supervisión necesarias para las operaciones de determinación de órbitas, de sincronización de tiempo y de integridad (comportando cada estación dos cadenas: una para la navegación y la otra para la integridad)
- Centros de tratamiento de datos.

13 - CALENDARIO

Decidido en marzo del 2002, el calendario prevé:

- Una fase de desarrollo y validación de 48 meses (2003-2006) durante la cual serán lanzados dos satélites tecnológicos y cuatro satélites operativos.
- Una fase de despliegue de 24 meses (2007-2008) con el lanzamiento de 26 satélites y el fin del montaje sobre el suelo.
- Una fase de operación / mantenimiento comenzando en 2008 y que será la fase operativa del sistema. A consecuencia de diferencias entre la Unión Europea y la propia Agencia Espacial Europea...

14 - APLICACIONES DE GALILEO

Son numerosas y variadas, y atañen a todos los aspectos de nuestra vida cotidiana. Se pueden citar:

- La navegación, sea automovilística, marítima o aérea.
- Topografía y Geodesia.
- Aplicaciones industriales o agrícolas en lo que se refiere a posicionamiento (Construcción de infraestructuras, BTP...)
- Ocio, recreo, turismo... ■