



# Quoi de neuf sur Diode et le réseau Doris ?

G. Tavernier, J.-P. Granier, C. Jayles, P. Sengenès, F. Rozo - Cnes, France  
Gilles Tavernier - E-mail : Gilles.Tavernier@cnes.fr



Balise maîtresse de Toulouse

## Navigateur Diode

Trois satellites équipés de récepteurs Doris de seconde génération ont été récemment lancés :

- Jason-1 a été lancé le 7 décembre 2001, le récepteur Doris a été allumé le 8 décembre et s'est mis en route automatiquement. La précision de l'orbite est déjà comparable à celle de Topex/Poséidon et devrait atteindre le niveau centimétrique visé pour l'erreur de position radiale.

- Envisat a été lancé le 1<sup>er</sup> mars 2002

- Spot-5 a été lancé le 4 mai 2002

Les récepteurs Doris bi-canaux de deuxième génération, permettent un positionnement sur plusieurs stations dans la même région, sont plus précis, utilisent les mesures de phases et disposent d'une réelle autonomie grâce au navigateur Diode.

L'auto-initialisation de Diode permet de passer de la mise en route au mode routine sans envoi de commande du sol. L'auto-programmation consiste à utiliser les informations de Diode pour l'acquisition du signal des balises, rendant inutiles les téléchargements quotidiens. Les balises-maîtres transmettent en permanence vers le satellite les données nécessaires à la mise à jour automatique de la description embarquée du réseau.

Par ailleurs, les composants électroniques sont plus résistants aux radiations, ce qui améliore la robustesse de fonctionnement de l'instrument.

## Caractéristiques générales

Le coeur de Diode est un filtre de Kalman. Il utilise une intégration numérique (algorithme de Runge-Kutta) qui propage le vecteur d'état toutes les dix secondes et traite les mesures fournies par le récepteur Doris pour corriger son vecteur d'état.

Toutes les mesures Doris réalisées sur des satellites en orbite sont stockées à bord et transmises quotidiennement au segment sol Doris. Cette quantité importante de données, issue de plusieurs années de mesures Doppler continues avec Spot-2, Spot-3, Topex et Spot-4, nous a permis d'améliorer les différentes versions de Diode.

## Deuxième génération et deuxième génération miniaturisée

### Caractéristiques principales

La version Envisat (deuxième génération) est presque identique aux versions (miniaturisées) de Jason-1 et de Spot-5. Elle fonctionne sur Envisat depuis mars 2002. La précision de la version Envisat est d'environ 1,0 mètre RMS en tridimensionnel et de 50 centimètres RMS sur la composante radiale.

La dernière version qualifiée de Diode équipe Jason-1 et Spot-5.

De nombreuses améliorations ont été intégrées et la précision est encore améliorée (ajustement du pôle, force de Hill, ajustement de poussée...). Les algorithmes de Diode/Jason-1 sont décrits avec précision dans Rozo et Jayles [2001]. La qualification sol a été obtenue mi-2000.

Doris a été développé pour déterminer avec précision les orbites des satellites et la localisation au sol. Trois satellites équipés de récepteurs bi-canaux de deuxième génération ont été lancés récemment. Le logiciel Diode de détermination d'orbite en temps réel embarqué sur Jason-1, Envisat et Spot-5 confère à ceux-ci une réelle autonomie. Pour l'heure, le système Doris comprend un réseau mondial de 56 stations. Afin de tenir les nouveaux objectifs de précision de Jason-1 et Envisat, la stabilité à long terme des antennes doit être améliorée. Les balises de troisième génération dont le déploiement a débuté fin 2001 offrent de nouvelles caractéristiques et sont plus fiables.





La détermination de l'orbite en temps réel est utilisée au sol pour les produits OSDR (*Operational Sensor Data Record*) de la mission Jason-1, qui sont générés et distribués dans les 3 heures aux centres opérationnels d'océanographie dans le monde entier.

### Résultats réels en vol

Une comparaison des estimations de Diode avec l'orbite de référence ZOOM (l'orbite précise POE dont la précision est meilleure que 3 centimètres RMS pour l'altitude) indique que l'erreur de position radiale est comprise entre 8 et 25 centimètres RMS (février à avril 2002). La précision spécifiée par les utilisateurs d'altimétrie est de 30 cm RMS pour la composante radiale et de 1 mètre RMS en 3-D. L'expérience acquise avec la première génération a été mise à profit dans la nouvelle version : sur Jason-1, depuis février 2002, la disponibilité observée est de 100 %.

(2 GHz et 400 MHz) alors que, sur les anciennes balises, cette fonction n'était disponible que pour la fréquence de 400 MHz. Cette modulation permet de transmettre les messages des balises et le signal de synchronisation. Le temps de référence TAI (avec une LSB de 10 secondes) est émis vers le récepteur et la surveillance de l'état de fonctionnement des balises est améliorée. Les balises disposent d'un mode d'auto-initialisation, peuvent être commandées à distance et être transformées en balises-maîtresses.

De telles balises ont déjà été installées à Toulouse (balise-maîtresse), Tristan Da Cunha, Mahe, Cibinong, Ste Hélène, Terre Adélie, Kauai, Thule et Cap Vert. D'autres remplacements par des nouvelles balises sont prévus pour cette année, par exemple dans les territoires français de l'Océan indien méridional.

en fer + béton), en remplacement de celle de Wallis. Plusieurs nouveaux liens locaux avec des systèmes géodésiques ont été établis et communiqués au Bureau central du Service International de la Rotation Terrestre (IERS). Onze stations ont été rénovées en 2001 : Rio Grande, île de Pâques, Santiago, Amsterdam, Kerguelen, Kitab, Ponta Delgada, Yellowknife, Arequipa, Nouméa et Chatham et 4 en 2002 : Tristan da Cunha, Terre Adélie, Port Moresby et Kauai. Plusieurs autres rénovations sont en cours. Plus de la moitié des stations (26 excellentes, 5 bonnes) sont en conformité avec les nouvelles exigences de stabilité, contre 1 sur 6 il y a deux ans.

### Conclusion

Avec Diode, le calcul d'orbite embarqué est aujourd'hui une réalité et son efficacité a été démontrée en vol : le concept entre maintenant dans une phase opérationnelle, et les principaux points ont été validés. De nombreux constructeurs de satellites intègrent désormais une fonction "navigation" dans la conception des nouvelles plates-formes.

Dès maintenant, pour les constellations de satellites, les systèmes d'observation de la Terre et les concepteurs de systèmes spatiaux en général, le calcul d'orbite embarqué est devenu un système opérationnel, d'une excellente précision et dont la fiabilité est convaincante. Cryosat, Jason-2 et Pléiades seront nos prochains utilisateurs. Nous sommes convaincus que Doris et Diode auront encore été améliorés avant leur lancement.



Le réseau Doris

### Réseau

#### Balises de troisième génération

Le Cnes a mis au point des balises de troisième génération pour améliorer la précision et la capacité du système Doris. À présent, les fréquences émises peuvent être décalées par rapport aux fréquences nominales de +/- 50 kHz (2 GHz) et +/- 10 kHz (400 MHz). Il est donc plus facile d'éviter le brouillage entre stations voisines.

Le signal des balises peut désormais être modulé sur les deux valeurs de fréquence

#### Monumentation

Afin d'atteindre les objectifs de précision visés pour Jason-1 et Envisat, la stabilité à long terme de certaines antennes a été améliorée.

Ces travaux de rénovation du réseau ont commencé en 2000 avec les stations de Cibinong, Djibouti, Hartebeesthoek et Metsahovi. Deux nouvelles stations ont été installées à Greenbelt, remplaçant celle d'Ottawa (l'antenne étant fixée sur un poteau de béton et non plus sur un bâtiment élevé) et à Futuna (antenne fixée sur un tube



#### Références bibliographiques

Costes, M., C. Jayles, Doris-Diode, 1999: One-year results of the first European Navigator, I.A.F., Amsterdam

Jayles, C., 1999: Navicateur Diode: six mois de fonctionnement à bord de SPOT-4; CNES Technical Note n°139.

Rozo, F., C. Jayles, 2001: Onboard orbit computation with DORIS/DIODE: From experiment to operational use, *Space Flight Dynamics symposium*, Pasadena.

Tournier, T., J.-P. Berthias, C. Jayles, F. Mercier, D. Laurichesse, P. Cauquil, 1997: Orbit and time onboard computation: From the current SPOT 4 solution to GNSS2 needs; *Space Flight Dynamics Symposium*, Iguazu Falls