

SPECIFICATIONS TECHNIQUES ET EXIGENCES SYSTEME DES OUS BORD DORIS

Rédigé par:

DORIS Team

Date et Signature

**Dutrey
Jean-
Francois**
Signature
numérique de
Dutrey Jean-
Francois
Date : 2025.06.19
18:15:41 +02'00'

Pour approbation:

Olivier DUMOND
DOA/OT /DOR

Date et Signature

**Dumon
d Olivier**
Signature
numérique de
Dumond Olivier
Date :
2025.06.19
16:26:45 +02'00'

Projet(s) Concerné(s)	DST3	DST3A	DST3B	DST3C	DST3D	DJ3	DSW	DOGE		DOR	SMM
										X	
	DJCS	DJCSA	DJCSB	DHY2	DHY2C	DHY2D					
Modèle(s)											

Configuration interne projet DORIS:

Conf. Applicable :

OUI

Géré par :CCM DORIS

depuis :.1ere version

Conf. Appliquée :

OUI

Ce document est la propriété du CNES. Les informations contenues dans celui-ci ne peuvent être communiquées, publiées ou reproduites sans l'accord préalable du CNES.

• • • • •

PARIS - Les Halles
SIÈGE
2, place Maurice Quentin
75039 Paris Cedex 01
☎ +33 (0)1 44 76 75 00

PARIS - Daumesnil
DIRECTION DES LANCEURS
52, rue Jacques Hillairet
75612 Paris Cedex
☎ +33 (0)1 80 97 71 11

TOULOUSE
CENTRE SPATIAL DE TOULOUSE
18, avenue Edouard Belin
31401 Toulouse Cedex 9
☎ +33 (0)5 61 27 31 31

GUYANE
CENTRE SPATIAL GUYANAIS
BP 726
97387 Kourou Cedex
☎ +594 (0)5 94 33 51 11

RCS Paris B 775 665 912
Siret 775 665 912 000 82
Code APE 731 Z
N° identification :
TVA FR 49 775 665 912

Titre : Spécifications Techniques OUS bord DORIS

BORDEREAU D'INDEXATION

Confidentialité :OUI	Type : Restriction à la liste de distribution
Mots clé : DORIS, DIODE	
Logiciel de création: WORD 2016	Nombre de pages supplémentaires :
Résumé d'auteur :	

MODIFICATIONS

Les modifications par rapport à la version précédente sont signalées par un trait vertical en marge.

Versio n	Date	Objet
0.00	27/04/01	Création du document suite à la DM CO-D12-265-CN. Annule et remplace le document CO-ST-D12-EA-11677-CN pour les missions DORIS après DS5 et DH2.
1.00	10/01/02	Modification suite à la DM CO-D12-282-CN
2.00	17/04/03	Modification suite à la DM CO-D0-314-CN.
2.01	22/05/03	Modification suite à la DM CO-0-333-CN (pages 5 et 6
3.00	19/06/2025	DM3391 : Réintroduction de l'aspect thermique (avec modification du gradient 8°C/h ->5°C/h), magnétisme (à +/-45µT sinus), retouche aspect radiations (pré-irradiations à 100kRad Gamma minima).

Titre : Spécifications Techniques OUS bord DORIS

DOCUMENTS APPLICABLES ET DOCUMENTS DE REFERENCE

DA est ici utilisé au sens défini dans l'IM-70, c'est-à-dire que le contenu des DA dans leur version courante, complète le texte du présent document qui précise obligatoirement les conditions d'application. S'ils ne sont pas appelés dans le texte, ils peuvent être considérés comme documents de référence.

Référence	Titre du document
	AD 1
	AD 2
	DR1.
	DR2.

LISTE DES AC ET AD

AC/AD	ParagrapheSection	Intitulé succinct
AC	Néant	
AD	Néant	

ABREVIATIONS

DGXX-S	Modèle de série de l'instrument DORIS qui succède à DGXX
OUS	Oscillateur Ultra Stable
SCAO	Système de Contrôle d'Attitude et d'Orbite
LEO	low earth orbit



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



DIFFUSION LIMITEE DORIS



Référence : CO-ST-D12-EA-11677-CN

Version : 03.00

Date : 19/06/2025

Page : 4/12

Titre : Spécifications Techniques OUS bord DORIS

SOMMAIRE

1	OBJET DU DOCUMENT	5
2	DOMAINE D'APPLICATION	5
3	CLAUSES TECHNIQUES	5
3.1	DESCRIPTION GENERALE	5
3.2	CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES	5
3.2.1	FREQUENCE GENeree ET DERIVE LONG TERME	6
3.2.2	STABILITE DE FREQUENCE A COURT TERME	6
3.2.3	STABILITE DE FREQUENCE A MOYEN TERME	6
3.2.4	SENSIBILITE A L'ACCELERATION	8
3.2.5	ECARTS DE FREQUENCE APRES VIBRATIONS	8
3.2.6	SENSIBILITE AU CHAMP MAGNETIQUE	8
3.2.7	RADIATIONS	9
3.2.8	BRUIT DE PHASE, SIGNAUX HARMONIQUES/NON HARMONIQUES, TOS DE SORTIE	9
3.2.9	DERIVE EN TEMPS	9
4	RECETTE EQUIPEMENT	10
4.1	CONDITIONS GENERALES	10
4.2	SYNOPSIS DE LA MATRICE DES RESULTATS DE RECETTE	11
	(DERNIERE PAGE DU DOCUMENT)	12

Titre : Spécifications Techniques OUS bord DORIS

1 OBJET DU DOCUMENT

Le présent document définit les spécification techniques et exigences système pour les oscillateurs ultra-stables, modèles de vol (MV), utilisés pour les instruments DORIS.

2 DOMAINE D'APPLICATION

Ce document s'applique aux OUS DORIS des instruments embarqués destinés aux missions de restitution d'orbite et de localisation précises.

La présente édition s'applique aux projets DORIS en cours (Récepteur DGXX-S) et à venir (Récepteur Néo).

3 CLAUSES TECHNIQUES

3.1 DESCRIPTION GENERALE

Ce document présente les spécifications de la référence de fréquence hautes performances nécessaire au bon fonctionnement d'un récepteur du système DORIS.

3.2 CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

Toutes les caractéristiques données dans ce paragraphe doivent être garanties pour toutes les conditions d'environnement sous vide.

Les conditions d'environnement auxquelles on fait référence :

- Température stabilisée : $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dans la gamme -10°C / $+45^{\circ}\text{C}$
- Gradients de température : les gradients de température sont fixés à 5°C/h dans la gamme -10°C / $+45^{\circ}\text{C}$. Le profil des cycles thermiques choisit par le fabricant de l'oscillateur devra comporter, en sus des gradients thermiques dans la gamme, des variations thermiques sinusoïdales d'amplitude 4°C à la périodicité orbitale et sur 3 points distincts de température de la gamme.

Toutes les caractéristiques données dans ce paragraphe doivent être tenues après un minimum de 8 heures de fonctionnement continu (Sauf la retrace en fréquence de l'oscillateur et la stabilité à long terme nécessitant des temps plus longs).

Titre : Spécifications Techniques OUS bord DORIS

3.2.1 FREQUENCE GENeree ET DERIVE LONG TERME

- L'oscillateur doit délivrer une fréquence de 10MHz avec maintien de sa valeur absolue dans une plage de $\pm 2 \cdot 10^{-7}$ pendant toute la durée de vie de l'OUS.
- L'oscillateur aura une durée de vie de 10 ans, dont 5 ans de stockage.
- L'oscillateur doit présenter à la recette finale de fabrication un calage en fréquence compris dans la plage de $\pm 5^E-9$.

La dérive long terme de l'oscillateur est définie après 40 jours de fonctionnement continu. Elle se situe à :

- Par jour $< \pm 1^E-10$
- Par mois $< \pm 1^E-9$
- Par an $< \pm 2^E-8$

3.2.2 STABILITE DE FREQUENCE A COURT TERME

La moyenne des écarts-types de Picinbono glissants sur 2 heures de mesures doit être inférieure à $5 \cdot 10^{-13}$ (objectif $5 \cdot 10^{-14}$) dans des conditions de température stabilisée.

Les écarts-types de Picinbono sont calculés sur 30 triplets selon la formule suivante :

$$\sigma_{picinbono}^j = \frac{1}{F_{OUS}} * \sqrt{\frac{1}{2N} \sum_{i=j}^{i=j+N-1} \left[\left(\frac{F(i) + F(i+2)}{2} \right) - F(i+1) \right]^2}$$

N = 30, nombre de triplets. Les F(i) sont mesurés sur un temps d'intégration de 10 s.

3.2.3 STABILITE DE FREQUENCE A MOYEN TERME

Quel que soit l'environnement (stabilisé ou sous gradient), on calcule pendant 40h l'écart-type $\sigma_{F/P}^j$ des résidus autour d'une droite sur n échantillons de glissants (pile FIFO) de mesures de fréquence de 10 secondes acquises consécutivement.

L'obtention de la première valeur des calculs décrits ci-après nécessite le remplissage préalable de la pile FIFO par l'acquisition de n échantillons.

Titre : Spécifications Techniques OUS bord DORIS

- **Exigence 1** :

La moyenne quadratique des pentes doit être inférieure à 2.10^{-13} /minute avec un objectif à 5.10^{-14} /minute.

La pente par minute est calculée au sens des moindres carrés sur le nuage de n échantillons de 10 secondes et de façon glissante :

$$\text{Pente/minute} = \frac{1}{F_{\text{ous}}} * \frac{12 * \sum_{i=1}^n (i * F(i)) - 6 * (n+1) \sum_{i=1}^N F(i)}{n * (n^2 - 1) * r}$$

Avec :

n : nombre d'échantillons considérés : 90 pour une orbite LEO. Ce nombre d'échantillons est à adapter en fonction de l'orbite (donc de la durée de passage au sol).

r : rapport de répétition des mesures par minute. $T = 10\text{s} \rightarrow r = 10/60 = 1/6$ par minute.

Fous : Fréquence nominale de l'oscillateur (Hz)

L'ensemble des pentes/minutes, Pi, permet de calculer la moyenne quadratique, les Pi étant calculées comme défini ci-dessus.

La quantité MQ ci-dessous est calculée également de manière glissante sur toutes les Pi calculées au cours de la durée du test (soit, sur un cycle de 40h de durée d'un essai de gradient thermique, un nombre de Pi égal à 14400).

et on a :

$$\text{MQ} = 3 \times \text{moyenne quadratique} = 3 \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (pi)^2}{N_b}}$$

- **Exigence 2** :

99 % des $\sigma_{F/P}^j$ obtenus doivent être inférieurs à 1.10^{-12} (objectif 2.10^{-13}).

La formule de calcul donnant les $\sigma_{F/P}^j$ est la suivante :



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



DIFFUSION LIMITEE DORIS



Référence : CO-ST-D12-EA-11677-CN

Version : 03.00

Date : 19/06/2025

Page : 8/12

Titre : Spécifications Techniques OUS bord DORIS

$$\sigma_{F/P}^j = \frac{1}{F_{OUS}} * \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n-1} \left(P_j * r * \left(i - \frac{n+1}{2} \right) + M_j - F(i) \right)^2}$$

Le calcul est effectué à l'identique de la pente/minute de manière glissante sur n échantillons.
Avec :

- n : nombre d'échantillons considérés idem à exigence 1.

$$\bullet \text{ } M_j : M_j = \frac{\sum_{i=j}^{j+N-1} F(i)}{n}$$

$$\bullet \text{ } P_j : P_j = \frac{1}{F_{OUS}} \frac{12 * \sum_{i=j}^{j+N-1} (i * F(i)) - 6 * (n+1) \sum_{i=j}^{j+n-1} F(i)}{n * (n^2 - 1) * r}$$

- r : idem exigence 1.

3.2.4 SENSIBILITE A L'ACCELERATION

Pour une variation de 1g, quel que soit l'axe considéré, l'oscillateur devra présenter une sensibilité accélérométrique dont les variations seront inférieures sur chaque axe à $\left| \frac{\Delta F}{F} \right| \leq 1 \cdot 10^{-9}$.

3.2.5 ECARTS DE FREQUENCE APRES VIBRATIONS

Après vibrations (sinusoïdales ou aléatoires dont le spectre/gabarit seront définis par le fabricant), l'oscillateur ne pourra présenter un décalage en fréquence supérieur à $\pm 5 \cdot 10^{-11}$.

3.2.6 SENSIBILITE AU CHAMP MAGNETIQUE

La stabilité de fréquence à court et moyen terme à température stabilisée spécifiée dans les paragraphes ci-avant doit être garantie lorsque l'OUS est soumis à un environnement magnétique dont les variations sont les suivantes :

Titre : Spécifications Techniques OUS bord DORIS

- a. Champ sinusoïdal :
 - * Amplitude $\pm 45\mu\text{T}$ maximum, à ajuster en fonction de l'orbite visée,
 - * Période : AD en fonction de l'orbite visée
- b. Champ impulsionnel (type généré par les magnéto-coupleurs) :
 - * Amplitude $\pm 100\mu\text{T}$ maximum
 - * Récurrence/profil : AD en fonction du SCAO du satellite porteur.

3.2.7 RADIATIONS

L'oscillateur sera fabriqué en employant un résonateur ayant préalablement subi une pré-irradiation dans le but de diminuer sa sensibilité naturelle. Cette pré-irradiation du résonateur devra être supérieure à 100kRad.

3.2.8 BRUIT DE PHASE, SIGNAUX HARMONIQUES/NON HARMONIQUES, TOS DE SORTIE

Le bruit de phase de la fréquence délivrée par l'oscillateur devra respecter le gabarit ci-dessous :

Offset de fréquence à la porteuse	L(f) en dBc/Hz
10 Hz	- 120
100 Hz	- 130
1 kHz	- 140
≥ 10 kHz	- 150

Le niveau des signaux harmoniques sera d'une puissance maximale de -40dBc.

Le niveau des signaux non-harmoniques sera d'une puissance maximale de -90dBc.

Le TOS de sortie de la fréquence oscillateur sera inférieur à 1,25.

3.2.9 DERIVE EN TEMPS

L'écart-type des résidus du modèle de temps estimé sur 24 h (modèle parabolique) par rapport à l'écart de temps mesuré doit être < 500 nanosecondes.

Méthodologie de mesure et de calcul :

Titre : Spécifications Techniques OUS bord DORIS

- Mesure de la dérive de temps sur 24h avec un échantillon acquis chaque 10 secondes
- Estimation des paramètres de biais de temps, biais de fréquence et dérive de fréquence du modèle parabolique sur les 24h d'acquisition.
- Estimation de l'écart type des résidus par rapport au modèle sur ces 24h.

4 RECETTE EQUIPEMENT

4.1 CONDITIONS GENERALES

Afin de garantir les performances du système, le maître d'œuvre instrument devra s'assurer que l'OUS approvisionné est conforme aux exigences du système DORIS définies dans ce document au travers d'un plan de validation qui aura reçu l'aval du projet DORIS/CNES.

La matrice de conformité présentée au § suivant sera complétée.

Titre : Spécifications Techniques OUS bord DORIS

4.2 SYNOPSIS DE LA MATRICE DES RESULTATS DE RECETTE

Exigence système	Paramètre	Valeur obtenue	Conforme / Non Conforme
3.2.1	Fréquence générée - Calage initial - Dérive long terme (40j)		
3.2.2	Stabilité court terme		
3.2.3	Stabilité moyen terme (TVac) : - P/mn - Sigma F/P		
3.2.4	Sensibilité à l'accélération		
3.2.5	Décalage en fréquence après essais de vibration		
3.2.6	Sensibilité magnétique - Sinus : - Impulsionnel		
3.2.7	Sensibilité du résonateur aux radiations après pré-irradiations		
3.2.8	Bruit de phase		
3.2.8	Harmoniques Non-Harmoniques TOS		
3.2.9	Dérive en temps - Biais de temps: - Biais de fréquence - Dérive de fréquence modèle - Ecart type résidus/modèle		

Titre : Spécifications Techniques OUS bord DORIS

DIFFUSION

DUMOND Olivier	DOA/OT /DOR
HOUDELIN Stéphanie	DOA/OT /DOR
BUZON Pierre	DOA/OT /DOR
DIDELOT François	DOA/MDA /OC
DUTREY Jean-François	DOA/OT /DOR
BENEZETH Jean-Michel	LOGIQUAL pour DTN/QE /BA
BONOMO Thomas	AKKA - DOA/OT
CHAUVEAU Jean-Pierre	CLS - DOA/MDA /OC
PERELMUTER Philippe	AKKA - DOA/OT /DOR
VIVIES Michel	CLS - DOA/OT
Diffusion Externe	
AUGIER Pascal	T-DMS

(DERNIERE PAGE DU DOCUMENT)