2

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES

- CENTRE SPATIAL DE TOULOUSE
18, avenue Edouard-Belin
31055 TOULOUSE CEDEX
Tél. : (61) 27.31.31
Télex 531081
SIRET : 775 665 812 000 33
APE : 8311

TOULOUSE, le 23 janvier 1986
CT/DRT/TIT/RL N° 25 T

DOUBLE
DS2-RP-1-1448-CN
ARCH: 860111

DORIS/SPOT2

DOSSIER DE DEFINITION de l'INSTRUMENTATION

PREPARÉ PAR :	J. P. AGUTTES - TIT/RL
APPROUVÉ PAR :	N. LANNELONGUE - TIT/RL
APPLICATION AUTORISEE PAR : N° DORIS	DS2/DD/10/5 ed 1

DIFFUSION

DTI/PSA - M. WINTERHOLER
G. GARGIR
D. ZOBLER
A. CARIOU

PMF/APS - M. DORRER
G. CUVELIER
B. LABORDE

DTI/MS - F. NOUEL
O. ZARROUATI
M. JAYLE

IND/SOR B. EHSTER
P. GENTET

DRT/D

DRT/DI/TF M. BRUNET

DRT/TIT J. SAINT-ETIENNE
N. LANNELONGUE
J.P. AGUTTES (6 ex)
E. CHAPUIS
M. LAMBOLEY
A. AURIOL

PLAN DU DOCUMENT

1 - INTRODUCTION

2 - DEFINITION DES SPECIFICATIONS PRINCIPALES DES ELEMENTS CONSTITUANTS

2.1 - Sequencement
Synchronisation bord-sol

Séquencement d'émission balise

Séquencement de réception bord

2.2 - Liaison radioélectrique - Antennes
- Choix des fréquences - environnement radioélectrique
- Antennes
- Définition du signal balise (puissance, fréquence, modulation)
- Interface radioélectrique de réception MVR et exigence d'immunité au brouillage

2.3 - Performance de mesure
- Représentation de la mesure et de ses erreurs
- Erreur court terme doppler
- Erreur moyen terme doppler
- Erreur datation

3 - DEFINITION DES ELEMENTS CONSTITUANTS

3.1 - Instrument

3.2 - Balise

3.3 - Antennes

3.4 - Différents modèles associés à la mesure

4 - BILAN DES PERFORMANCES

- SPOT2

- Extension Topex

5 - EVOLUTIONS FUTURES

NOTA : Cette édition ne comporte que les chapitres 1 et 2 du sommaire et les annexes correspondantes. Les éditions suivantes complèteront le document.

DOCUMENTS DE REFERENCE

DR n° : 1) - Choix des fréquences DORIS
CT/DRT/TIT/RL N°138 T

2) - Etude de brouillage DORIS
par FH à 2 GH_z
CT/DRT/TIT/RL N°84/140 T

3) - CCTP marché Instrument 084/CNES/5368 Avenant 1

4) - CCTP marché balise 084/CNES/5367

5) - CCTP marché Antennes 084/CNES/5369 Avenant 1

6) - CCTP marché OUS balise 085/CNES/5603

7) - Dossier de définition du
Système DORIS DS2/DD/01/06

8) - Plan d'essai instrumentation DS2/EI/10/2

DODUMENTS APPLICABLES

1) - Spécification de l'instrumentation. DS2/ST/10/1

1. INTRODUCTION

Le présent document décrit la définition de l'instrumentation DORIS.

Les spécifications de l'instrumentation font l'objet du DA(1) et reçoivent une justification vis-à-vis de la mission DORIS dans le document Dossier de définition Système DR(7).

L'instrumentation constituée d'un réseau de balises et d'un segment embarqué sur SPOT2 est réalisée sous maîtrise d'oeuvre CNES par plusieurs industriels. On a le découpage suivant en éléments constituants :

- OUS balises ==> marché Oscilloquartz
- balise (hors antenne et intégrant l'OUS fourni par le CNES et issu des marchés OSA) ==> marché CEIS
- antennes sol + antennes bord ==> marché ATES
- instrument bord (MVR + OUS) ==> marché ESD

Les documents DR (3 à 6) constituent les spécifications techniques correspondant à ces fournitures.

Le chapitre 2 du présent document décrit et justifie au regard des spécifications principales de l'instrumentation les spécifications imposées aux différents éléments. Ce chapitre réalise de fait la définition générale de l'instrumentation.

Le chapitre 3 décrit la définition de chaque élément. Il explicite les solutions mises en oeuvre par l'industriel et décrit le produit final.

Le chapitre 4 fait le point au vu des performances mesurées au cours des différents essais prévus au plan d'essai instrumentation DR(8) (recettes éléments + essais d'ensembles) sur les performances attendues en vol SPOT2 et TOPEX.

Le chapitre 5 donne en guise de conclusion, les grandes lignes des améliorations envisageables après SPOT2 dans le domaine des performances, du coût récurrent, ou des paramètres généraux (poids, volume, consommation) ceci aussi bien pour les balises que pour le segment bord.

2. DEFINITION DES SPECIFICATIONS PRINCIPALES DES ELEMENTS CONSTITUANTS

2.1 - SEQUENCEMENT

1) - Synchronisation bord-sol par la correction automatique

En reprenant les notations du DA (1) on définit les séquencements suivants :

Vi séquencement 0,1 Hz T.A.I.,
TDi séquencement bord (présenté en sortie Test),
Si séquencement balise (présenté sur la face Arrière).

On définit les erreurs de séquencement suivantes que les différents moyens de correction balise et bord visent à limiter :

es = Si - Vi erreur balise,
eb = TDi + δ - Vi erreur bord.

δ est une constante de conception consigne de phasage de TDi par rapport à Vi définie en relation avec le séquencement bord de l'instrument afin que le signal balise soit traité à l'intérieur de l'équipement au moment optimum. Cette constante prend en compte le temps de transit de réception du signal jusqu'au point de traitement (voir § 2.2).

Synchronisation par la correction automatique

La réception de l'évènement de synchronisation T_3 se fait à l'instant Trep.

Trep = Si + $\tau 3$ + τe = Vi + es + $\tau 3$ + τe
$\tau 3$ = constante de conception (temps de transit matériel voir §3.7 du DA(1))
τe = temps de transit d'espace

Trep reçoit à bord une datation T_3 de la manière suivante :

Trep = TDi + T_3 (l'instrument donne les deux valeurs TDi et T_3 en temps OUS bord).

On a alors :

$T_3 = \delta - eb + es + \tau 3 + \tau e$

τe varie entre 2,8 (Zénith) et 11,2 ms (0° d'élévation) ce que l'on peut mettre sous la forme :

$\hat{\tau e} - 2{,}7 \text{ ms} \leqslant \tau e \leqslant \hat{\tau e} + 5{,}7$

en retenant comme valeur $\hat{\tau e}$ la valeur médiane entre le zénith et l'élévation 10° (8,2 ms), $\hat{\tau e}$ = 5,5 ms

On pose : $\hat{T_3} = \delta + \tau 3$

la correction automatique s'intéresse à la valeur $T_3 - \hat{T_3}$ on a :

$$T_3 - \hat{T_3} = es - eb + \tau e$$

$$es - eb + 2{,}8 \text{ ms} \leq T_3 - \hat{T_3} \leq es - eb + 11{,}2 \text{ ms}$$

La procédure de correction consiste à agir sur TDi et donc sur eb d'un pas de 10 ms chaque fois qu'une proportion α % des mesures $T3 - \hat{T_3}$ dépasse un seuil $-\varepsilon$ ou $+\varepsilon$. Le fait de décider à partir d'un minimum de dépassement, permet de limiter l'impact des mesures de T_3 aberrantes.

Le facteur principal de dérive de la synchronisation provient de l'erreur de fréquence de l'oscillation bord limitée à 210^{-7} (§ 3.2.1 du DA(1)) et peut valoir 17 ms par jour, le pas de 10 ms à raison d'une correction toutes les 12 heures permet de contrôler cette dérive et même de récupérer au bout d'un nombre variable de corrections toute erreur initiale de synchronisation plus importante (bien que la correction de temps directe soit préférable à cet effet).

Si la correction est nécessaire, on a par exemple :

α % des valeurs $T_3 - \hat{T_3} > \varepsilon$ avant correction

donc α % des valeurs $T_3 - \hat{T_3} > \varepsilon - 10$ ms après correction

il suffit de prendre $\alpha > 50$ et $2\varepsilon = 10$ ms pour s'assurer qu'après correction on ne puisse avoir la détection opposée c'est-à-dire :

α % de mesure $T_3 - \hat{T_3} < -\varepsilon$

Remarque : d'autres solutions existent bien sûr en prenant $\alpha < 50°$ et $2\varepsilon > 10$ ms, mais on peut craindre des situations de conflit (deux détections opposées) en présence de mesures aberrantes.

En fait, il faudra prendre une marge suffisante sur α afin d'être certain que compte tenu des mesures aberrantes, il y a bien 50 % au moins de bonnes mesures qui vérifient la condition détectée, sinon on pourrait avoir la situation suivante où en l'absence de dérive entre passage, les corrections inverses se succèdent par le simple jeu des mesures aberrantes.

Si l'on fait l'hypothèse que 25 % de mesures aberrantes constituent une limite rarement atteinte ou dépassée, en prenant $\alpha = 75$, on est certain qu'une détection correspond toujours à 50 % de bonnes mesures vérifiant le dépassement et que l'introduction de mesures aberrantes ne peuvent masquer les cas, conduisant avec des mesures correctes, à un dépassement à 100 %.

Après le passage, juste après la correction éventuelle et en considérant le processus de correction en régime établi (retard initial compensé) on peut assurer :

(a) pour $(100 - \alpha)$ % de mesures

$$es - eb + \tau e < \varepsilon$$

(b) et pour $(100 - \alpha)$ % des mesures

$$es - eb + \tau e > - \varepsilon$$

soit τmax la valeur maximale de τe dans le groupe de mesure (a) et τmin la valeur minimale de τe dans le groupe de mesures (b), on peut avoir après un passage zénithal court $\tau max \simeq \tau e$ (zénith), ce qui offre comme tolérance supérieure à $es - eb + \hat{\tau}e$ la valeur $\varepsilon + 2{,}7$ ms, de même pour un passage bas on peut avoir τmin à peine inférieur à $\tau e(10°)$ et donc accepter, sans correction, une valeur limite basse de $es - eb + \hat{\tau}e$ égale à $- \varepsilon - 2{,}9$ ms.

Le processus maintient $|es - eb + \hat{\tau}e|$ inférieur à $\varepsilon + 3$ ms en sortie de passage balise maître.

Au global, à tout moment, on aura grâce à cette procédure en tenant compte de la dérive entre passage :

$$|es - eb + \hat{\tau}e| < \varepsilon + 3 + \text{dérive} < 20 \text{ ms}$$

Pour améliorer la sécurité, on ne fera porter la correction que sur les passages comportant au moins 20 mesures réalisées (bonnes ou aberrantes).

Si l'on considère pour la balise maître le cas d'une défaillance longue durée du réseau 1 Hz CNES pour la synchronisation externe, au bout de 30 jours en synchronisation interne après le dernier recalage de temps et de fréquence on aura :

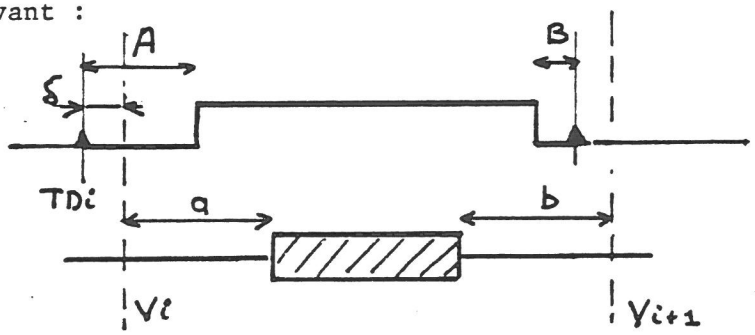
$$|es| \leq 10 \text{ ms} + 10^{-9} \times 30 \times 0{,}85\ 10^{5} + \frac{1}{2}\ 5\ 10^{-11} \times (30)^2 \times 0{,}85\ 10^{5}$$

pas de calage en temps	dû au pas de calage en fréquence (10^{-9})	dû à la dérive du séquencement balise ($5\ 10^{-11}$/jour)
$\leq$ 15 ms		

ce qui donne pour $|eb - \hat{te}|$ la valeur max. de 35 ms. Cette valeur est réduite à 20 ms en temps normal de bon fonctionnement du réseau 1 Hz CNES.

2) - Séquencement d'émission balise

Le créneau de comptage bord doit encadrer l'arrivée du message. On a le chronogramme suivant :



Le travail à exécuter dans le séquencement bord est plus important avant le créneau qu'après (accrochage des boucles) la durée A doit être plus grande que la durée B. Ceci peut être pris en compte de deux manières :

- par δ (a et b égaux)
- en décentrant le message à l'émission a > b

On adopte la deuxième solution qui permet de laisser TDi voisin de Vi, δ pourra être utilisé essentiellement pour réaliser un calage fin de compensation du temps de transit bord (quelques millisecondes).

Le décentrage nécessaire est de 0,3 secondes. le rythme de modulation retenu est de 200 Hz/s (voir § 2.2.3 c), on verra ci-dessous que les marges en final vis-à-vis des bords du créneau de comptage ne permettaient guère un débit plus faible. L'entête nécessaire à la synchronisation primaire et secondaire est fixée à 96 bits, ce qui porte le message

standard de la balise à 160 bits (96 + 16 bits d'identification balise + 48 bits de données).

- séquencement de la balise normale ou de localisation :
  . le message dure 0,8 secondes (160 bits) de Si + 4,9 à Si + 5,7
- séquencement de la balise maître :
  . le message durait initialement 6 secondes au maximum (160 bits + 5 x 208 bits), ce qui donnait le séquencement suivant : Si + 2,3 à Si + 8,3

  L'entête primaire a été ensuite augmenté pour la balise maître uniquement et porté à 136 bits afin de favoriser la stabilité court terme de la datation T_3. Cette longue séquence de bits permet de stabiliser les circuits de filtrage avant la datation sur l'événement de référence constitué par les 16 derniers bits (voir § 3.1).

  Cette modification étant apparue en cours de développement par souci de simplicité, le rajout a été porté en début de message sans translation de celui-ci. Le séquencement adopté est donc Si + 2,1 à Si + 8,3.

3) - Séquencement de réception bord

. Balise d'orbigraphie normale

Le message balise est reçu dans le créneau :

$$Vi + es + 4,9 + \tau e \text{ min} \quad \text{à} \quad VI + es + 5,7 + \tau e \text{ max}$$

Soit par rapport à TDi

$$TDi + \delta - eb + es + 4,9 + \tau e \text{ min} \quad \text{à} \quad TDI + \delta - eb + es + 5,7 + \tau e \text{ max}$$

Dans l'hypothèse de synchronisme et d'élévation supérieure à 10° on a :

$|eb| \leq 1$ seconde (obtenu par RAZ)

$|es| \leq 2$ secondes

$\tau e \text{ min} \geq 2,5$ ms (zénith)

$\tau e \text{ max} \leq 8,5$ ms (10°)

Le message s'inscrit dans le créneau $TDi + \delta + 1,90$ à $TDi + \delta + 8,71$

. Balise d'orbitographie maître

On refait le calcul précédent avec l'hypothèse de synchronisme suivante :

$|eb| \leq 1$ seconde

$|es| \leq 15$ ms (panne réseau 1 Hz au bout de 30 jours)

On trouve le créneau d'arrivée suivant :

$TDi + \delta + 1{,}08$ à $TDi + \delta + 9{,}33$

. Balise de localisation

Il s'agit ici de connaître le créneau pendant lequel la porteuse est reçue sans brouillage par les emissions de balise des deux séquences voisines. Le séquencement d'émission porteuse balise diffère du séquencement interne balise en raison de temps de montée émission et coupure émission. On admet les tolérances suivantes :

. émission à $Si + 5$ ms
$- 0$

. coupure à $Si + 1$ ms
$- 0$

Les hypothèses de synchronisme sont dans ce cas :

$|eb - \hat{\tau}e| \leq 35$ ms obtenu avec la correction automatique (voir ci-dessus)

$|es| \leq 100$ ms

Début de créneau utilisable :

. arrivée au plus tard de l'émission utile

$TDi + \delta - eb + es + \tau e \max (10°) + 5$ ms

$= TDi + \delta - eb + es + \hat{\tau}e + (\tau e \max (10°) - \hat{\tau}e) + 5$ ms

soit $TDi + \delta + 142{,}7$ ms

. arrivée au plus tard de la fin de l'émission précédente

$TDi + \delta - eb + es + \tau e \max (0°) + 1$ ms

$= TDi + \delta - eb + es + \hat{\tau}e + (\tau e \max (0°) - \hat{\tau}e) + 1$ ms

soit $TDi + \delta + 141{,}7$ ms

On peut assurer comme début de créneau utilisable $TDi + \delta + 150$ ms

Fin de créneau utilisable :

. fin au plus tôt de l'émission utile

TDi + δ - eb + es + τe min (zénith) + 10 s

= TDi + δ - eb + es + $\hat{\tau}$e + (τe min (zénith) - $\hat{\tau}$e) + 10 s

soit TDi + δ + 10 s - 137,7 ms

Ceci coïncide avec l'arrivée au plus tôt du début de l'émission suivante.

On peut assurer comme fin de créneau utilisable TDi + δ + 9,85 ms

2.2 LIAISON RADIOELECTRIQUE - ANTENNES

2.2.1 - Choix des fréquences - Environnement radioélectrique

Les gammes de fréquences retenues sont

2036 à 2036,25 MHz

et 401,125 à 401,275 MHz

Ce choix résulte d'une analyse DR (1) de l'occupation des 2 bandes utilisables d'après leur attribution pour ce type de service (401 - 403 MHz) et (2025 - 2110 MHz).

La liaison radioélectrique DORIS doit être établie dans l'environnement permanent créé par les utilisateurs de fréquences voisines de la gamme et aussi ceux qui utilisent cette même gamme.

L'environnement "hors gamme" est dimensionné par les autres utilisation spatiales. L'analyse faite en Annexe 1 a permis d'établir les gabarits de niveau d'émissions discrètes que doit supporter DORIS.

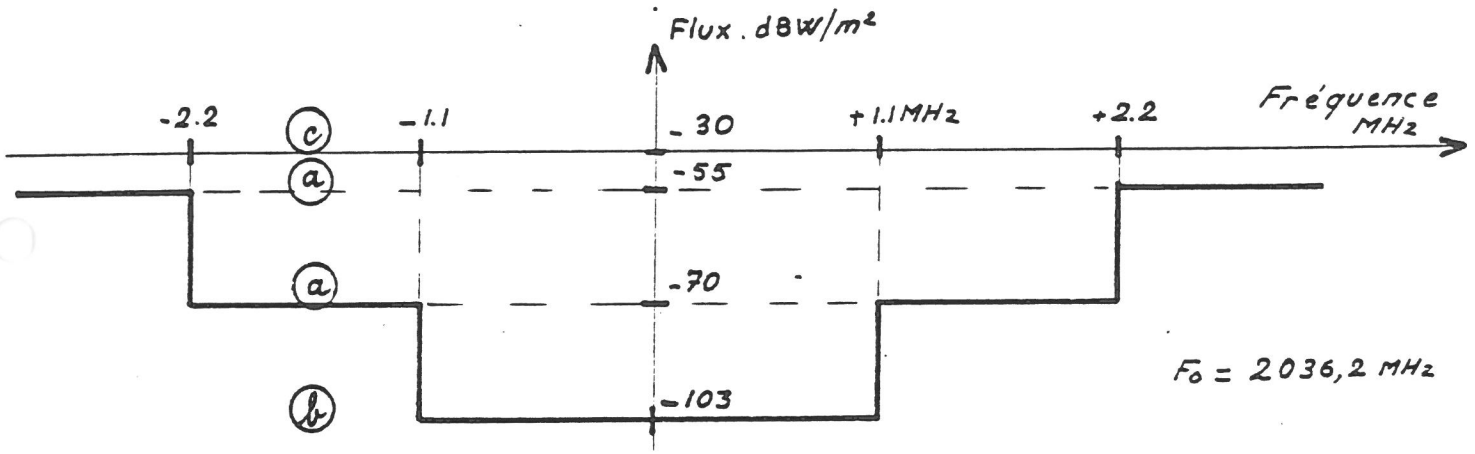
A 2 GHz, les faisceaux Hertziens terrestres sont à l'origine y compris dans la gamme utile d'émissions discrètes et d'émissions de bruit diffus. Le document DR(2) analyse le problème et donne le niveau de bruit diffus reçu par l'antenne bord dans toutes les directions ainsi que la probabilité de brouillage discret (4 séquences/passage) que l'on est en droit d'attendre. Cette probabilité est liée à la condition imposée à DORIS de non perturbations par un signal discret de 103 dBw/m^2 (Flux provenant des lobes latéraux de l'émission FH à incidence rasante) et distant de 5 KHz du signal DORIS (voir § 2.2.4).

A 400 MHz, d'après le répertoire des signaux déclarés le seul signal présent dans la gamme retenue devrait être l'émission télémesure des ballons CNES (voir DR (1)) dont il faut bien sûr éviter la fréquence porteuse lors du choix final de fréquence DORIS. Les expériences ARGOS et SARSAT ont prouvé néanmoins que ces bandes contenaient de nombreuses émissions non déclarées à l'origine de raies discrètes et de bruit diffus. L'annexe 1 dresse les caractéristiques d'un environnement brouilleur type.

Les données concernant l'environnement radioélectrique de type DORIS sont rassemblées ci-dessous et sont exprimées en flux reçus par l'antenne bord.

2 GHz

* Gabarit de brouilleurs discrets



a - polarisation quelconque
  - 1 seule raie tous les 50 MHz à un instant donné
  - incidence de réception (angle par rapport au géocentrique) = quelconque

b - polarisation rectiligne
  - 1 seule raie à 1 instant donné tous les 10 MHz
  - incidence 61 à 62°

c - niveau atteint fugitivement pendant 40 secondes
  - 1 seule raie dans 100 MHz
  - polarisation quelconque et incidence quelconque

* Niveau de bruit blanc (outre la température de bruit normal antenne 300° K).

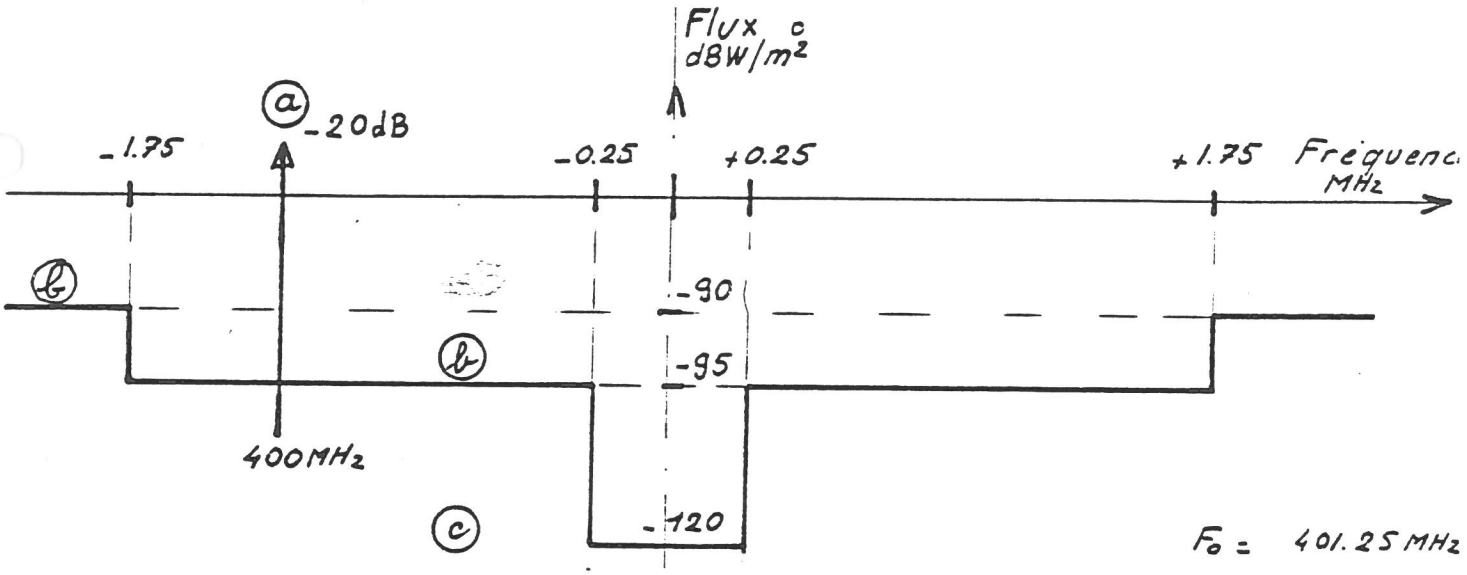
Le tableau ci-après donne la densité de bruit blanc totale reçue dans l'angle solide délimité par deux valeurs d'incidence. Il y a équirépartition isotrope de la densité reçue dans chacun de ces angles solides.

Incidence	0 à 10	10 à 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 56	56 - 60	60 - 61	61 - 62,4
Flux dBw/m²/Hz	-185	-184,2	-184	-180	-177	-178,8	-177	-178	-159,5

La polarisation est rectiligne.

400 MHz

* Brouilleurs discrets



a - incidence 90°
- polarisation rectiligne
- la signal est unique à la fréquece 400,036 MHz

ne concerne que TOPEX, voir Nota correspondant

b - incidence quelconque
- polarisation quelconque
- 1 signal tous les 500 KHz

c - incidence et polarisation quelconque
- 1 signal tous les 25 KHz

* Bruit blanc (outre la température de bruit normal antenne 300° K)
- incidence quelconque - polarisation rectiligne
- 178 dBw/Hz/m²

Nota - CAS TOPEX
Le brouilleur discret "a" 400 MHz est spécifique à TOPEX, le niveau des autres brouilleurs discrets est diminué de 4 dB.
Le niveau du bruit 400 MHz est 4 dB inférieur.
Les plages d'incidence pour le bruit 2 GHz vérifient une homothétie de rapport 56/61,4 par rapport à celle de SPOT et les valeurs de flux correspondant sont 1 dB inférieur.

2.2.2. Antennes

a) - Contraintes

Simplicité oblige, l'instrumentation fonctionne avec des antennes bord et sol fixes et donc omnidirectionnelles ou plus exactement hémisphériques. Les principales exigences auxquelles doivent satisfaire ces antennes sont les suivantes :

- cohabitation de deux antennes dans une seule : les centres de phase peuvent être distincts ;
- polarisation circulaire : le caractère spatial de la liaison impose cette polarisation ; de plus le choix du sens (droit aussi bien à 2 GHz qu'à 400 MHz) permet de gagner en protection contre l'émission TRANET (400 MHz) et l'émission télécommande vers SPOT (2GHz) (voir § 2.2.1) ;
- bilan de liaison minimal à assurer sur la couverture, ceci impose un minimum de formation du lobe pour compenser une partie de la variation de distance ;
- limitation du gain de réception bord des signaux brouilleurs : (voir § 2.2.1), Ceci va un peu à l'encontre de l'exigence précédente de compensation de la distance et exclu pour le moins toute formation du lobe bord dans ce sens. Tout l'effort de compensation sera reporté sur l'antenne sol ;
- bonne connaissance et stabilité du diagramme de phase : ceci résulte de la spécification Doppler moyen terme ; la tenue de cette exigence par les antennes sol indépendamment de leur environnement sol impose un bon rapport avant-arrière du diagramme afin de se prémunir des réflexions parasites. Ces réflexions influent également sur le gain (ondulations). Le phénomène de réflexion est analysé en annexe 2.

Pour l'antenne bord, le problème est moindre dans la mesure où si ce rapport est insuffisant, on pourra toujours caractériser le diagramme de l'antenne dans son environnement satellite qui est unique et invariant. La spécification antenne inclue pour la part antenne bord l'influence de cet environnement.

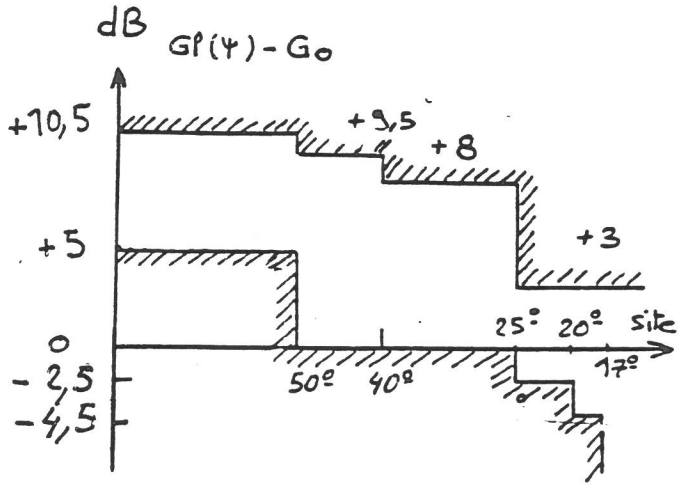
Il apparaît que les performances principales de bilan de liaison ou de stabilité de phase (rapport avant-arrière) du système d'antennes sont déterminées par l'antenne sol. Deux types d'antenne sont envisageables : le type "quadrihélice" et le type "dipole croisé", ils conduisent à des performances différentes et des coûts différents. Un net avantage sur le plan coût et également compacité d'encombrement, a conduit à retenir le "dipole croisé". Les spécifications sont donc calquées sur les performances types que l'on est en droit d'attendre avec cette catégorie d'antennes.

b) Spécifications principales

Ne sont indiquées ici que les spécifications intervenant sur la liaison radioélectrique ; d'autres spécifications propres à la performance moyen terme sont introduites ultérieurement (ex. stabilité centre de phase - voir § 2.3.2). On a 4 types de spécifications :

. Gain de liaison $G1(\psi)$:

Il s'agit de la somme $(Gb + Gs + D(\psi))$ du gain sol, du gain bord et l'atténuation d'espace supplémentaire en dB à site d'émission sol ψ par rapport à l'atténuation d'espace au zénith ($D(90°) = 0$ dB).
Le gain de liaison en fonction du site doit s'inscrire dans le gabarit ci-dessous avec la condition suivante sur G_o : $G_o \geq -3$ dB



Il s'agit là du gain moyen du système d'antennes comprenant l'antenne bord dans son environnement satellite et l'antenne sol prise isolement sans l'influence du sol. La spécification de rapport avant-arrière pour l'antenne sol permet de limiter les ondulations de gain provoquées par la réflexion spéculaire du rayonnement arrière sur le sol (voir Annexe 2), elle limite en même temps les perturbations associées sur le diagramme de phase intervenant sur le bilan moyen terme Doppler (voir § 2.3.2).

. Rapport avant-arrière :

Il s'agit du rapport Gain (site = Ψ)/Gain (site = $-\Psi$). Pour "Ψ" supérieur à l'incidence opérationnelle minimale (17°), on adopte les spécifications :

rapport AV/AR $\geq$ 10 dB à 2 GHz

$\geq$ 5 dB à 400 MHz

La différence des deux chiffres s'explique par le fait que les limites d'encombrement ne permettent pas de réaliser à 400 MHz la géométrie d'antenne optimale envisageable à 2 GHz.

L'ondulation induite sur le gain de liaison s'obtient en combinant ces valeurs de protection AV/AR avec les coefficients de réflexion évalués par le cas type de sol considéré (rugosité moyenne = 1 cm).

On obtient les résultas suivants : (voir annexe 2).

	400 MHz	2 GHz
Site $\geq$ 17°	$^{+\ 2}_{-\ 3}$ dB	$\pm$ 1,5 dB
Site $\geq$ 40°	$\pm$ 0,5 dB	$\pm$ 0,5 dB
Site $\geq$ 50°	0,5 dB CC	0,5 dB CC

La diminution de l'ondulation avec l'incidence résulte de l'évolution que suit le coefficient de réflexion spéculaire.

. Taux d'ellipticité :

L'ellipticité des antennes a pour effet de causer des pertes de liaison et de perturber la réponse en phase théorique. Le taux d'ellipticité est surtout important à basse incidence, on adopte les spécifications suivantes :

sol TE $\leq$ 7 dB 2 GHz
$\leq$ 11 db 400 MHz
bord TE $\leq$ 3 dB 2 GHz et 400 MHz

avec la précision suivante importante du point de vue de la perturbation de phase : (voir § 2.3.2).

| Les deux composantes Eθ et Eϕ (trièdre local en coordonnées
| sphériques : écart à l'axe d'antenne, azimuth) sont en quadrature à
| $\pm$ 6,5 degrés pour le bord 2 GHz, à $\pm$ 13 degrés pour le bord 400 MHz
| et 20 degrés crête à crête pour le sol 2 GHz et 400 MHz.

Les pertes induites minimum et maximum suivant l'orientation relative des ellipses bord et sol sont les suivantes :

	400 MHz	2 GHz
Maximum	+ 2,2 dB	+ 1,3 dB
Minimum	+ 0,5 dB	+ 0,16 dB

Il s'agit là des pertes de liaison par rapport au cas de deux antennes à polarisation circulaire parfaite. Or, le gain de liaison G1(θ) est spécifié comme somme du gain sol et du gain bord dans la polarisation retenue (droite), cette quantité inclue donc la somme des pertes observées lorsque chaque antenne antenne sol ou bord travaille avec une antenne de mesure sensible uniquement à cette polarisation c'est-à-dire parfaite. Ramenées à cette quantité, les pertes deviennent :

	400 MHz	2 GHz
Maximum	+ 0,9	+ 0,6
Minimum	- 0,8	- 0,5

Remarque 1 :

Les limites hautes des gabarits de spécification G1(Ψ) - Go concernent essentiellement les incidences fortes pour lesquelles l'ellipticité est faible. Par conséquent, il est possible de considérer que ce même gabarit délimite le gain réel de liaison sol + bord (hors réflexions sol)

moyennant l'adoption par ailleurs dans le bilan de liaison d'une perte de base pour l'ellipticité égale à 1 dB à 400 MHz et 0,5 dB à 2 GHz. C'est ce que nous ferons par la suite.

Remarque 2 :

L'onde réfléchie par le sol présente à priori un taux d'ellipticité très important, si ce n'est même une polarisation inversée. L'analyse de perturbations de phase et d'amplitude, faite en annexe 2 à partir de la sommation directe de l'onde réfléchie à l'onde normale, est quelque peu pessimiste car les pertes d'ellipticité subies au travers de l'antenne bord sont à priori plus importantes pour l'onde réfléchie que pour l'onde normale.

. Gain maximum de réception bord

Le niveau de signal utile balise en réception bord, dépend du gain de laison spécifié précédemment tandis que le niveau des signaux brouilleurs amenés par l'environnement radioélectrique de DORIS ne dépend que du gain de réception de l'antenne bord. L'effort consiste donc à réaliser le gain de liaison désiré avec un gain bord le plus faible possible, ce que l'on traduit par une spécification de gain maximum bord par rapport à la valeur Go obtenue pour le gain de liaison.

Là encore, les chiffres résultent des possibilités entrouvertes par le type d'antennes retenues.

$$G_{max} < G_o + 7{,}5 \text{ dB}$$

Au-delà de la spécification à caractère contractuel, on place un objectif reflétant un peu plus la performance que peut viser et obtenir le réalisateur des antennes.

$$G_{max\ (objectif)} < G_o + 6 \text{ dB}$$

Il s'agit du gain maximum vu par l'antenne bord toutes incidences confondues. Le niveau important de bruit diffus reçu à incidence faible à 2 GHz (origine faisceaux hertziens - voir § 2.2.1 et annexe 1) conduit à préciser un peu plus la spécification :

$$G_{max} \leq G_o + 3 \text{ dB}$$

Pour $\theta \geq 61{,}5°$ (θ = écart à l'axe géocentrique)

L'objectif à viser étant :

$$\leq G_o + 1 \text{ dB}$$

2.2.3 - Définition du signal balise

a) - Puissance

Voie 400 MHz

La puissance d'émission des balises ARGOS et SARSAT à 400 MHz est de 5 w. C'est une valeur classique qui ne pose aucun problème technologique de réalisation, autorise un rendement correct au niveau des amplis et conduit à un bilan de liaison correct. Le dernier est dimensionné essentiellement par la présence de brouillage diffus en réception bord, on obtient un ordre de grandeur du rapport signal à bruit de la manière suivante : (on se reporte au § 2.2.1 pour les valeurs de niveau)

- Flux maximun de bruit reçu : - 178 dBw/m^2, ce flux est reçu en polarisation rectiligne (- 3 dB) avec un gain maximum de Go + 6 dB.

non circulaire ⇒ 3 dB de marge

- Le niveau derrière l'antenne est donc inférieur à :

$$178 - 3 + G_o + 6 + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) \text{ (dBw/Hz)}$$

- Le niveau de signal utile type pour une site $\geq 17°$ et pour une émission de 5 w vaut par ailleurs

$$7 \text{ dBw} + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi d^2}\right) + G_O - 4{,}5 + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right)$$

(d = 830 km → - 129 dB)

- Le rapport signal à bruit est ainsi de l'ordre de 49 dB/Hz, ce qui constitue une valeur confortable.

Le choix d'une puissance plus faible est peu souhaitable, la valeur de 5 w correspond à peu près à la puissance d'émission sol estimée des brouilleurs discrets que l'on rencontre dans la bande (voir annexe 1), se placer en dessous constitue un handicap certain et risque contre un avantage matériel modeste d'augmenter les situations de brouillage de DORIS.

Voie 2GHz

La liaison sur la voie 2 GHz est plus difficile à réaliser ; elle souffre par rapport à la voie 400 MHz d'une perte d'espace plus importante (carré du rapport des fréquences) de plus, le niveau de brouillage à caractère de bruit évalué dans cette bande est important.

Le niveau de bruit reçu s'obtient par le bilan suivant :

$$-159,5 \text{ dBw/m}^2\text{/Hz} - 3 \text{ dB} + Go + 1 + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right)$$

et conduit à une valeur du même ordre que ce qui est reçu à 400 MHz. Par contre, à puissance sol égale, le signal utile est 14 dB plus faible (20 log (5)) ; ce qui situe le handicap de la voie 2 GHz.

Le rapport signal à bruit ainsi obtenu (≃ 35 dB/Hz) avec une puissance sol de 5 w exige en réception pour répondre à la spécification Doppler court terme une boucle de phase avec une faible bande de bruit (dizaine de Hz), trop faible dans le cas d'une boucle du 2e ordre pour pouvoir assurer parallèlement l'asservissement en phase sans erreur sur le signal reçu qu'exige la spécification Doppler moyen terme. Seule, la technique plus délicate du 3e ordre permet d'obtenir une boucle "étroite" autour du signal et présentant de bonnes qualités dynamiques dans la "poursuite" du signal.

Parallèlement à un effort du côté bord, il est possible également d'utiliser à 2 GHz une puissance un peu supérieure, un passage à 10 w semble pouvoir se faire tout en restant dans des limites acceptables vis-à-vis des technologies à utiliser, des rendements d'amplificateur et de conséquences induites sur la thermique et l'autonomie de la balise et également bien sûr vis-à-vis des coûts.

b) Fréquence nominale d'émission

401,25 MHz et 2036,25 MHz

Ce sont les valeurs retenues dans la gamme DORIS utilisable. Ce choix résulte de la recherche de la plus grande aisance possible au niveau des plans de fréquence et principalement de celui de l'émission balise (voir § 3.2).

c) Modulation

. Type

Il n'est pas utile de protéger la porteuse vis-à-vis de la modulation puisque les moments de début et fin de comptage Doppler qui nécessitent toute la précision de phase porteuse ne sont pas accompagnés de modulation de données ; ceci résulte du principe de séquencement bord-sol retenu pour DORIS. Il est donc possible de moduler directement la porteuse, cela est même préférable par ailleurs, car la présence de sous-porteuse par l'élargissement du spectre qui en découle conduit forcément à augmenter les situations de brouillage entre signaux balise. La modulation type "biphase" est retenue, l'autre solution classique, le type "NRZ", était bien sûr préférable pour l'occupation spectrale mais exige une boucle de poursuite de la phase porteuse à très faible bande passante afin de supprimer le moins possible les basses fréquences qui composent l'information, chose que la dynamique Doppler imposée à la boucle ne permet pas de réaliser.

L'ajustement de l'indice de modulation à $\pm \frac{\pi}{3}$ résulte du type de modulateur retenu pour la balise (voir § 3.2). La transition de phase se fait par commutation entre 3 signaux déphasés de $\frac{\pi}{3}$ (o, $\frac{\pi}{3}$, $-\frac{\pi}{3}$) résultant d'une division par 6 d'un signal de base, il n'y a pas ainsi intervention d'élément analogique déphaseur sujet à dérive et donc préjudiciable vis-à-vis de la spécification Doppler moyen terme.

. Débit

On a vu (§ 2.1.3) que la taille des messages ne permettait pas, compte tenu des tolérances de synchronisation par rapport au T.A.I. admises à bord et au sol, d'envisager un rythme binaire inférieur à 200 bps. Il est par ailleurs important d'utiliser le rythme le plus faible possible afin de conserver un spectre le plus étroit possible. Le rythme de 200 Hz est adopté après avoir vérifié qu'il était compatible avec l'exigence de précision de la datation T3.

En considérant les estimations de rapport signal à bruit précédentes, la précision de bruit σ = 10µs pourra être tenue avec une bande de filtrage pas trop étroite 5 à 10 Hz donc apte à suivre le Doppler (faible sur la modulation) et à évacuer les transitoires éventuels précédant l'événement à dater. Cette dernière préoccupation est déjà à l'origine de l'introduction avant l'événement d'une longue séquence de 1 favorisant la stabilisation des circuits.

2.2.4 - Interface radioélectrique de réception MVR et exigence d'immunité au brouillage

a) - Niveaux reçus

. Signal

Le tableau ci-contre réalise le bilan de la liaison, à chaque poste apparaît une valeur de base et un aléa ou paramètre de variation.

. a_3 et a_4 correspondent à des valeurs constantes liées aux écarts possibles en fin de conception par rapport aux valeurs fixées pour Go et la perte bord. On fixe les limites de $(a_3 + a_4)$ à :

+ 4 dB cas antennes bien meilleures,
- 2 dB cas pertes bord plus fortes.

On fixe ainsi les limites d'une caractéristique de conception appellée niveau de référence NR.

Signal balise	400 MHz	2GHz
Puissance (au niveau balise)	7 dBw + a'1	10 dBw + a"1
Perte sol (câble antennes)	- 1 dB + a'2	1,5 dB + a"2
Perte d'ellipticité	- 1 dB	- 0,5 dB
Perte d'espace au zénith	- 142,8 dB	- 156,8 dB
Perte bord	- 0,5 dB + a'3	- 0,5 dB + a"3
Gain de liaison Go	- 3 dB + a'4	- 3dB + a"4
Gℓ(Ψ) - Go	a'5	a"5
Ondulation	a'6	a"6
Niveau signal NS (en dBm)	NR + (a'1 + a'2) + a'5 + a'6	NR + (a"1 + a"2) + a"5 + a"6
Niveau de référence		
NR	- 111,3 dBm (+ a'3 + a'4)	- 122,3 dBw + (a"3 + a"4)
Brouilleurs		
Discret	NR + 5 dB type C; 35 dB, 40 dB } type b; - 10 dBm type a	NR + 20 dB type b; 57 dB, 72 dB } type a; 97 dB type c
Diffus	NR - 39,2 dBm/Hz	NR - 50,7 dBm/Hz
Bruit thermique	- 174 dBm/Hz	- 174 dBm/Hz

. a_1 et a_2 correspondent aux aléas sur le niveau du signal, constants sur la durée d'un passage mais variables d'un passage à l'autre et d'un signal balise à l'autre.

On définit une caractéristique du passage NB par

$$NB = NR + a_1 + a_2$$

avec

a_1 = + 1,5 dB ==> cas surplus de puissance (13 w à 2 GHz)
- 0 dB 7 w à 400 MHz)

a_2 = + 1,5 dB ==> cas antenne connectée directement à la
- 0 dB balise à 2GHz (+ 1 dB à 400 MHz)

La valeur de base (-1,5 dB à 2GHz et - 1 dB à 400 MHz) correspond à une liaison de 10 m avec connecteurs.

On adopte globalement sur les 2 voies : NB = NR + 3 dB
- 0 dB

Il faut envisager aussi l'usage de balises moins puissantes que l'on pourrait mettre en place à titre expérimental pour comparaison, voire même ensuite définitivement si le brouillage s'avère moins important que prévu ou encore dans le cadre d'un service spécifique de localisation par DORIS. On définit un niveau réduit dit sub-nominal pour lequel il ne sera demandé au MVR qu'un fonctionnement correct (exécution de mesure) sans performances de mesures.

NB sub-nominal = NR + 3 dB
- 3 dB

. a_5 caractérise les variations lentes du signal au cours du passage par rapport à NB. Les variations résultent du gain composite bord + sol des antennes et de l'atténuation d'espace supplémentaire par rapport à la verticale. Tel que cela est explicité au § 2.2.2 ; a_5 est entièrement délimité par la spécification GP(Ψ) - Go à partir du moment où l'on comptabilise par ailleurs une perte d'ellipticité de base.

On définit ainsi le niveau moyen NM du signal pour une incidence donnée

$$NM = NB + a_5$$

. L'ondulation a6 par rapport au niveau moyen est due aux réflexions sol. On adopte les valeurs calculées au § 2.2.2 avec une marge pour aléas (réflexions plus importantes sur certains sols, antenne bord mal découplée de la plateforme et comportant elle-même des ondulations) de $\pm$ 0,5 dB.

On a : $NS = NM + a_6$

Nota : les ondulations sont assez rapides sur la voie 2GHz (voir annexe 2), on admet pour cette voie de ne considérer que le niveau moyen NM pour le tenue des performances Doppler et datation court terme ainsi qu'exécution.

. Brouilleurs

Le niveau de réception des brouilleurs est donné par la spécification de gain maximum des antennes référencée à la valeur effective de σo et par la perte bord. Ce niveau contient en absolu les deux aléas a_3 et a_4 et est donc directement référencé à NR.

On obtient le niveau de l'écart Δ à NR, à partir de la valeur de flux donnée en § 2.2.1 de la manière suivante :

$$\Delta = \text{Flux} + \text{Gmax} + 10\log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) + \text{Pe} + \text{Pb} + 30 - \text{NR}$$

- Flux : Valeur en dBw/m² § 2.2.1
- Gmax : Gain maximum bord
- $10\log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right)$: - 13,5 (400 MHz) ; - 27,5 (2GHz)
- Pe : Perte de polarisation
- Pb : Porte bord - 0,5 dB
- 30 : Valeur nominale de NR
- NR : Passage de dBw en dBm

Perte de polarisation : il s'agit de cas où la polarisation du brouilleur est rectiligne, la perte est alors de - 3 dB.

Cas 2GHz ((b) et bruit) et cas 400 MHz (bruit)

Gain max bord : - 3 dB (Go) + 6dB pour brouilleurs 2GHz ((a) et (c)) et 400 MHz ((b), (c) et bruit)
(Nota : on adopte ici la valeur objectif)

- 3 dB (Go) + 2 dB pour brouilleurs 2GHz (bruit + (b))
(Nota : on se place ici entre la spécification et la valeur objectif)

* Bruit thermique

Le bruit d'antenne étant de 300° K, quelle que soit la perte bord le bruit en réception a la même valeur soit - 174 dBm/Hz.

* Cas particulier : TOPEX

On peut dire grossièrement que le niveau des signaux est atténué de 4 dB valeur de l'atténuation d'espace supplémentaire, bien qu'en réalité la diminution soit plus faible lorsque l'on s'éloigne de la verticale. La diminution s'applique également aux brouilleurs, tout ceci se traduit par une diminution sur la valeur de NR.

Le cas du bruit diffus à 2GHz est un peu particulier, car la perte d'espace est compensée par un accroissement de surface interceptée au sol et donc du nombre potentiel de sources brouilleuses. Le niveau en absolu est 1 dB plus faible mais il est reçu avec une incidence bord un peu différente (≃ 56° au lieu de ≃ 61°) conduisant à priori à un gain bord un peu supérieur d'à peu près 1 dB si bien que le niveau reçu ne change pas, ce que l'on traduit par une augmentation de 4 dB du rapport à la nouvelle valeur de NR.

Le niveau de la raie TRANET est estimé de la manière suivante :

$$\text{Niveau reçu dBw} = \text{Flux} - 3\text{ dB} + 10\log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) + \text{Pe}$$

- 20 dBw/m² Gain de réception à incidence rasante

(soit 1w émis à 2m avec un gain de - 3dB)

La perte Pe est ici importante car les antennes sont contrapolarisées. On admet que le niveau relatif des deux polarisations est de - 12 dB pour chacune des antennes, la portion de la puissance effectivement couplée est donnée par

$$10^{-12/10} + 10^{-12/10} \quad \text{soit en dB : - 9 dB}$$

$10^{-12/10}$: Réception en polarisation droite de la partie contrapolarisée (- 12 dB) de l'onde émise.

$10^{-12/10}$: Réception en polarisation gauche (- 12 dB) de l'onde émise.

d'où niveau reçu = - 45 dBw = - 15 dBm

On adoptera la valeur de - 10 dBm, la marge de 5 dB permettant de couvrir les aléas concernant la contrapolarisation effective des antennes ainsi que la distance réelle de séparation.

b) Imunité au brouillage

- Lorsque le signal discret (c) 2 GHz est présent, le fonctionnement n'est pas demandé, le fonctionnement est rétabli dès la disparition du brouilleur.
- Les signaux 2GHz(a), 400 MHz(a + b), les bruits thermiques antenne définissent l'environnement quasi-permanent appellé "non brouillé".
- L'afflux de brouilleur à caractère de bruit, la proximité de signaux discrets 2GHz(b) et 400 MHz(c) ainsi que d'un autre signal balise définissent les conditions types "d'environnement brouillé" à considérer pour la tenue des performances.

Les différents types d'environnement brouillé diffèrent du point de vue du brouillage discret ou du brouillage inter-balises par l'écart de fréquence à considérer.

. L'environnement EX2 est applicable aux exigences de transmission de donnée et datation, c'est le moins sévère ; cela tient autant à la vulnérabilité particulière des fonctions utilisant la modulation qu'à la plus grande tolérance de dégradation que ces fonctions autorisent.

. L'environnement EX1 est applicable aux exigences d'exécution et doppler. Il est beaucoup plus sévère ; cette protection souhaitable compte tenu de l'importance de la fonction est rendue possible parce que seul le spectre englobant étroitement la porteuse est utilisé.

. L'environnement EX3 est intermédiaire et constitue un relâchement de EX1 en ce qui concerne l'exécution lorsque la séquence n'est pas précédée d'une séquence exécutée sur le même signal balise, cela afin de tenir compte des difficultés particulières liées à l'accrochage des boucles de phases.

Les écarts de fréquence sont les suivants :

	EX_1	EX_2	EX_3
400 MHz Type c	200 Hz	1 KHz	700 Hz
Autre balise (valeurs à 400 MHz)	250 Hz	1 KHz	700 Hz
2 GHz Type b	5 KHz	5 KHz	5 KHz

L'écart "autre-balise" EX_1 a été choisi afin de garantir de la part de l'instrument, une sélectivité entre signaux balises de l'ordre de grandeur de la précision en connaissance à priori de la fréquence Doppler obtenue à bord par les téléchargements depuis le sol.

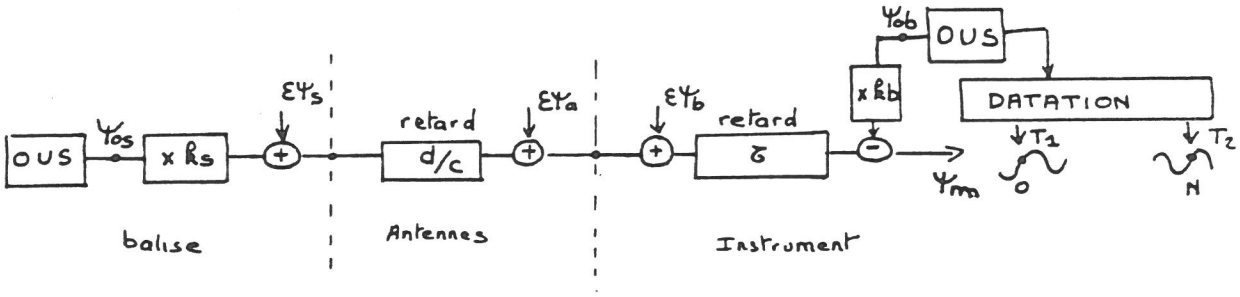
L'écart EX1 pour le brouilleur 400 MHz type c s'inspire du précédent puisque le niveau est voisin, l'absence de modulation sur ce brouilleur permet, toutefois, d'être un peu plus sévère.

L'écart donné pour le brouilleur 2GHz type b permet de limiter au vu de l'étude accomplie sur le brouillage potentiel par les faisceaux Hertziens, la probabilité de brouillage discret à 4 séquences/passage en moyenne (voir § 2.2.1 et DR(2)).

Dans le cas "autre balise", le niveau relatif du brouilleur par rapport au signal désiré peut être important. La réalité nous incite à ne retenir comme typique pour les écarts de fréquence considérés ci-dessus, que les cas pour lesquels l'écart de niveau est inférieur à + 5 dB.

2.3 - PERFORMANCE DOPPLER

2.3.2 - Représentation de la mesure et de ces erreurs



L'instrumentation fournit les temps T1 et T2 comptés en temps OUS bord séparant N cycle de Ψm :

si θ1 et θ2 sont les datations en temps absolu des évènements datés T1 et T2 on peut écrire :

$$(1)\quad 2N\Pi = \left|\Psi m\ (\theta)\right|_{\theta 1}^{\theta 2} = \left|ks\ \Psi os\ (\theta - \tau - \frac{1}{c}\, d\ (\theta - \tau)) - kb\ \Psi ob\ (\theta)\right|_{\theta 1}^{\theta 2} + \Delta\ \varepsilon\Psi s + \Delta\ \Psi a + \Delta\ \varepsilon\Psi b$$

$$(2)\quad 2N\Pi = \underbrace{ks\ \left|\Psi os\ (\theta - \tau - \frac{1}{c}\, d(\theta 1 - \tau))\right|_{\theta 1}^{\theta 2}}_{\Delta 1} + \underbrace{ks\ \left|\Psi os\ (\theta 2 - \tau - \theta)\right|_{\frac{1}{c}d(\theta 1 - \tau)}^{\frac{1}{c}d(\theta 2 - \tau)}}_{\Delta 2} - \underbrace{kb\ \left|\Psi ob\ (\theta)\right|_{\theta 1}^{\theta 2}}_{\Delta 3} + \Delta\varepsilon\Psi s + \Delta\varepsilon\Psi a + \Delta\varepsilon\Psi b$$

Par contre, l'utilisation des données fournies par l'instrumentation est la suivante :

$$N = ks\ Fos(T2 - T1) - ks\ Fos \frac{\hat{\Delta d}}{c} - kb\ Fob(T2-T1)$$

ou Fos et Fob sont des constantes de même valeur Fous.
L'instrumentation réalise ainsi une mesure ou estimée de l'accroissement de distance $\hat{\Delta d}$ (ou de la variation de phase $\hat{\Delta \emptyset}$ qui en résulte à la fréquence ks Fos) entre deux instants dont elle assure la datation en temps bord (T1 - τ et T2 - τ).

L'erreur réalisée sur la mesure exprimée en fréquence est l'écart entre :

$$f = \frac{-\ ks}{(\theta 2 - \theta 1)}\ Fos\ \frac{1}{c}\ |d(\theta 2 - \tau) - d(\theta 1 - \tau)|$$

et $$\hat{f} = \frac{-\ 1}{T2 - T1}\ ks\ Fos \frac{\hat{\Delta d}}{c} = \frac{N}{(T2 - T1)} + kb\ Fob - ks\ Fos$$

On peut écrire $$\hat{f} = \frac{N}{\theta 2 - \theta 1} + kb\ Fob - ks\ Fos + \hat{\delta f} \qquad (3)$$

avec $$\hat{\delta f} \simeq \frac{N}{\theta 2 - \theta 1}\left(1 - \frac{T2 - T1}{\theta 2 - \theta 1}\right) = \frac{N}{\theta 2 - \theta 1}\left|1 - \frac{|\Psi ob|_{\theta 1}^{\theta 2}}{2\Pi\ Fob\ (\theta 2 - \theta 1)}\right|$$

$$= \frac{N}{(\theta 2 - \theta 1)\ Fob}\ (Fob - \Delta 3/2\Pi\ (\theta 2 - \theta 1))$$

En remplaçant dans l'expression (3) de $\hat{f}$ N par sa signification issue de (2) on peut écrire :

$$(\hat{f} - f) = ks\ \left(\frac{\Delta 1}{2\Pi\ (\theta 2 - \theta 1)} - Fos\right) + kb\ \left(Fob - \frac{\Delta 3}{2\Pi\ (\theta 2 - \theta 1)}\right) + \frac{\Delta \varepsilon \Psi s}{2\Pi\ (\theta 2 - \theta 1)}$$

$$+ \frac{\Delta \varepsilon \Psi a}{2\Pi\ (\theta 2 - \theta 1)} + \frac{\Delta \varepsilon \Psi b}{2\Pi\ (\theta 2 - \theta 1)} + \frac{N}{(\theta 2 - \theta 1)\ Fob}\left|Fob - \frac{\Delta 3}{2\Pi\ (\theta 2 - \theta 1)}\right|$$

$$+ \frac{ks}{\theta 2 - \theta 1}\left|Fos \times \theta + \frac{\Psi os\ (\theta 2 - \tau - \theta)}{2\pi}\right|_{\frac{1}{c} d(\theta 1 - \tau)}^{\frac{1}{c} d(\theta 2 - \tau)}$$

Cette expression se simplifie

. le dernier terme est négligeable dans le rapport

$$\frac{1}{c}\ \frac{d(\theta 2 - \tau) - d(\theta 1 - \tau)}{\theta 2 - \theta 1}$$

. si $\frac{ks - kb}{ks} < 1$ on peut écrire $ks \simeq kb$ et $\frac{N}{(\theta 2 - \theta 1)\ Fob}$ négligeable devant ks, sinon on peut admettre $\frac{N}{(\theta 2 - \theta 1)} = (ks - kb)\ Fob$ (au Doppler près $< (ks - kb)\ Fob$)

L'expression de l'erreur devient dans tous les cas :

$$\hat{f} - f = ks \left| \frac{\Delta 1}{2\Pi\ (\theta 2 - \theta 1)} - Fos \right| + \frac{\Delta \varepsilon \Psi s}{2\Pi\ (\theta 2 - \theta 1)}$$

$$+ ks \left| Fob - \frac{\Delta 3}{2\Pi\ (\theta 2 - \theta 1)} \right| + \frac{\Delta \varepsilon \Psi b}{2\Pi\ (\theta 2 - \theta 1)}$$

$$+ \frac{\Delta \varepsilon \Psi a}{2\Pi\ (\theta 2 - \theta 1)}$$

On voit donc apparaître la contribution de la balise (dont l'instabilité OUS sol), celle de l'instrument (dont l'instabilité OUS bord) et celle des antennes.

. L'erreur court terme est spécifiée en fréquence, les erreurs étant indépendantes, on partage quadratiquement la spécification en plusieurs termes :

erreur OUS sol
erreur balise (hors OUS) (Ψs)
erreur instrument (OUS bord + Ψb)

Les antennes ne créent pas d'erreur court terme.

. L'erreur moyen terme est spécifiée en deux temps :

- l'erreur due aux OUS c'est-à-dire :
ks (fos - Fos) - ks (fob - Fob) ou fos et fob désignent les valeurs effectives des fréquences OUS. On utilisera l'instabilité relative.

$$ks \frac{\Delta fos}{Fous} - ks \frac{\Delta fob}{Fous}$$

- l'erreur due aux autres causes c'est-à-dire Ψs, Ψa, Ψb. Cette erreur est traitée en phase ; on s'intéresse à la valeur $\Delta\Psi a + \Delta\Psi b + \Delta\Psi s$ à chaque comptage et à l'accumulation de ces valeurs au cours du passage.
Cette erreur apparaît dans l'équation (1) comme celle d'origine hors OUS affectant l'observation Doppler faite avec un retart τ connu. Il est possible que la variation de phase mesurée $2N\Pi$ soit en fait moins erronée quand on considère qu'elle se rapporte à l'observation Doppler avec un retard $\tau + \delta\tau$. Si on tolère une certaine méconnaissance $\delta\tau$ du retard d'observation, c'est cette erreur minimale qui est à considérer. La tolérance $\delta\tau$ concerne le retard de la mesure composite obtenue après combinaison de correction ionosphérique des mesures de chaque voie, l'évaluation $\Delta\Psi$ composite doit donc se faire en combinant l'erreur $\Delta\Psi$ de chaque voie obtenue quand on considère une inconnue $\delta\tau$ commune pour les 2 voies.
L'inconnue $\delta\tau$ est constante pour un passage et peut avoir une variation lente de type long terme sur la durée de la mission tout en restant dans la limite fixée à $\pm$ 10 µs.

2.3.2 Court terme Doppler

La spécification est éclatée de la manière suivante entre les différents éléments :

		2 GHz	400 MHz
OUS sol ($\sigma ous < 5\ 10^{-13}$)		1 mHz	0,2 mHz
* dégradation balise ($\sigma ba < 3,3\ 10^{-13}$)		0,66 mHz	0,13 mHz
Instrument bord . environnement non brouillé	pour $\Psi > 25°$	1,67 mHz	2 mHz
Instrument bord . environnement brouillé		2,1 mHz	4 mHz
** Total . environnement non brouillé		2,05 mHz	2,01 mHz
. environnement brouillé		2,41 mHz	4 mHz

Le bilan dépasse très légèrement la spécification totale qui utilise les chiffres (2 mHz, 2.4 mHz, 4 mHz), d'un autre côté on vérifie souvent que le découpage en plusieurs spécifications élémentaires amène en final des marges positives sur la performance globale.

* Correspond à une dégradation de 20 % de la stabilité OUS. La formulation du bilan représente plus la réalité en faisant apparaître la balise comme une origine indépendante de bruit plutôt qu'une dégradation de l'OUS.

** Sommation quadratique. Il s'agit d'écart type de Picinbono (voir définition de la spécification dans DA (1)).

2.3.3 Moyen terme Doppler

a) Hors OUS

Le découpage des spécifications est présenté dans le tableau ci-joint.

. l'erreur A1/A2 correspond à la méconnaissance du diagramme de phase réel des antennes ; il s'agit en fait de la méconnaissance de l'écart par rapport au diagramme théorique de ce type d'antenne à savoir :

- constance en élévation
- loi linéaire 1°/degré en azimuth (il faut combiner les variations d'azimuth sol et bord pour avoir la Loi Théorique de ? sur le passage).

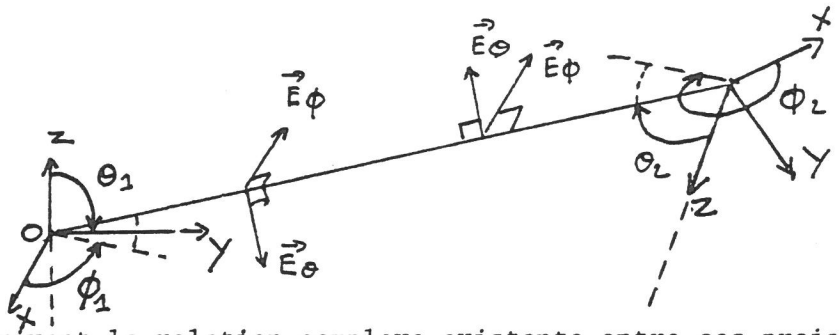
Réponse en phase du système d'antennes

Code	Cause	Valeur crête à crête en degré 2 GMz	400 MHz
S1	Erreur balise jusqu'à l'antenne (modulation parasite signal, délation câble, etc.)	± 2	± 4
A1	Méconnaissance du diagramme de phase de l'antenne: Sol (hors influence réflexion sol)	± 2	± 4
A2	et bord .	± 2	± 4
A3	Méconnaissance du diagramme de phase d'émission du fait de l'environnement sol (réflexion spéculaires)	± 9	± 16
A4	Erreur due aux taux d'ellipticité des antennes	± 12,5	± 19
	Erreur de l'exploitation du diagramme de phase due à l'erreur de pointage des antennes. Hypothèse : pente du diagramme = 1°/degré, et erreur de pointage sur le géocentrique = 1° pour l'antenne sol et 1,5° pour l'antenne bord		
A5	Sol	± 1	± 1
A6	Bord	± 1,5	± 1,5
A	Variation de la position du centre de phase pendant le passage		
A7	Cause thermique antenne bord : ± 1 mm à 2 GHz et 400 MHz	± 2,5	± 0,5
A8	Cause thermique + vent antenne sol : ± 2 mm à 2 GHz ; ± 2 mm à 400 MHz	± 5	± 1
B1	Instrument : (filtres et erreurs de poursuite boucle de phase)	± 5	± 7,5

TABLEAU 2.3.3 : BILAN DES ERREURS MOYEN TERME HORS OUS

. 1'erreur A3 est couverte par la spécification de rapport avant-arrière (§ 2.2.2.), les valeurs de dégradation sur la phase s'obtiennent en combinant le rapport avant-arrière et le coefficient de réflexion sol (voir annexe 2).

. 1'erreur A4 est couverte par la spécification de taux d'ellipticité de chacune des antennes (voir § 2.2.2). La réponse en phase du système antenne sol + antenne bord fait intervenir les paramètres λ et α de 1'ellipticité définis en adoptant une projection de l'onde elliptique rayonnée par chacune des antennes sur les composantes orthogonales $E\theta$, $E\phi$ du repère local associé aux coordonnées sphérique θ, ϕ.



et en écrivant la relation complexe existante entre ces projections :

$$\vec{E}\theta = \lambda \vec{E}\phi \; e^{i(\frac{\Pi}{2} + \alpha)}$$

($\lambda = 1$ et $\alpha = 0$ correspond à l'onde circulaire parfaite)

Le problème assez complexe dans le cas général se simplifie ici, car le croisement au centre de la terre des axes OZ assure la colinéarité des composants $E\theta$ et $E\phi$ entre les deux antennes. L'erreur due à l'ellipticité commise en approximant la réponse en phase du système d'antennes à la combinaison directe sol-bord des relevés de diagramme de phase en polarisation linéaire $E\phi$ est donnée par la formule :

$$\delta\emptyset = \text{arc tg} \left| \frac{\sin(\alpha 1 - \alpha 2)}{\lambda 1 \; \lambda 2 + \cos(\alpha 1 - \alpha 2)} \right|$$

Par rapport au diagramme $E\theta$, le calcul se fait en posant :

$$\vec{E}\phi = \lambda \vec{E}\theta e^{i(\frac{\Pi}{2} + \alpha)}$$

De toute façon, la formule ci-dessus est utilisée dans le pire cas donnant la plus grande excursion crête à crête A4 lorsque $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\lambda 1$, $\lambda 2$ varient dans les limites imposées par la spécification si bien que l'on pourra prendre indifféremment des diagrammes $E\phi$ ou $E\theta$ celui dont la connaissance satisfait au mieux la spécification A1/A2.

La spécification de taux d'ellipticité TE pour les deux antennes fixe la plage des valeurs de $\delta \emptyset$ possibles suivant l'orientation des ellipses bord et sol. Si l'on adopte une représentation en fonction de la valeur $\alpha 1 - \alpha 2$ résultant de chacune des combinaisons d'orientations, on obtient un nuage de points (voir figure ci-contre pour le cas 400 MHz : TE bord = 3 dB, TEsol = 11 dB) d'autant plus large, incliné et allongé que les TE sont forts. L'introduction d'une spécification complémentaire limitant $\alpha 1$ et $\alpha 2$ revient à tolérer des taux d'ellipticité forts à condition que l'orientation des ellipses reste voisine des directions $E\theta$ ou $E\phi$. On voit sur la représentation adoptée, l'effet direct de limitation qui en résulte sur la variation possible de $\delta\emptyset$ au cours du passage.

Le bilan global moyen terme porte sur la mesure composite obtenue par combinaison des résultats des deux voies par la formule de correction ionosphérique, ce qui revient à ajouter à l'erreur 2 GHz (quadratiquement dans le cas où l'indépendance est vérifiée) 1/5 de l'erreur 400 MHz.

Dans la somme quadratique des erreurs on a :

- d'une part, les termes pour lesquels les voies 2 GHz et 400 MHz sont indépendantes (S1 et A3), d'autre part, les termes pour lesquels il peut y avoir dépendance entre les deux voies.
- un facteur $1/\sqrt{2}$ qui permet de convertir l'erreur crête en erreur efficace pour les termes à variation lente ou périodiques.
- un facteur 1/3 pour A4 qui est un terme issu de causes multiples (valeurs des TE et orientations des ellipses).

$$|\varepsilon\ (1\sigma)|^2 = \left(\frac{S'1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{A'3}{\sqrt{2}}\right)^2 + \frac{1}{25}\left(\frac{S''1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \frac{1}{25}\left(\frac{A''3}{\sqrt{2}}\right)^2$$

$$+ \left(\frac{A'1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{5}\frac{A''1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{A'2}{\sqrt{2}} + \frac{1}{5}\frac{A''2}{\sqrt{2}}\right)^2$$

$$+ \left(\frac{A'4}{3} + \frac{1}{5}\frac{A''4}{3}\right)^2 + \left(\frac{A'5}{\sqrt{2}} + \frac{1}{5}\frac{A''5}{\sqrt{2}}\right)^2$$

$$+ \left(\frac{A'6}{\sqrt{2}} + \frac{1}{5}\frac{A''6}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{A'7}{\sqrt{2}} + \frac{1}{5}\frac{A''7}{\sqrt{2}}\right)^2$$

$$+ \left(\frac{A'8}{\sqrt{2}} + \frac{1}{5}\frac{A''8}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{B'1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{5}\frac{B''1}{\sqrt{2}}\right)^2$$

$$|\varepsilon(1\sigma)|^2 = (11,1)^2$$

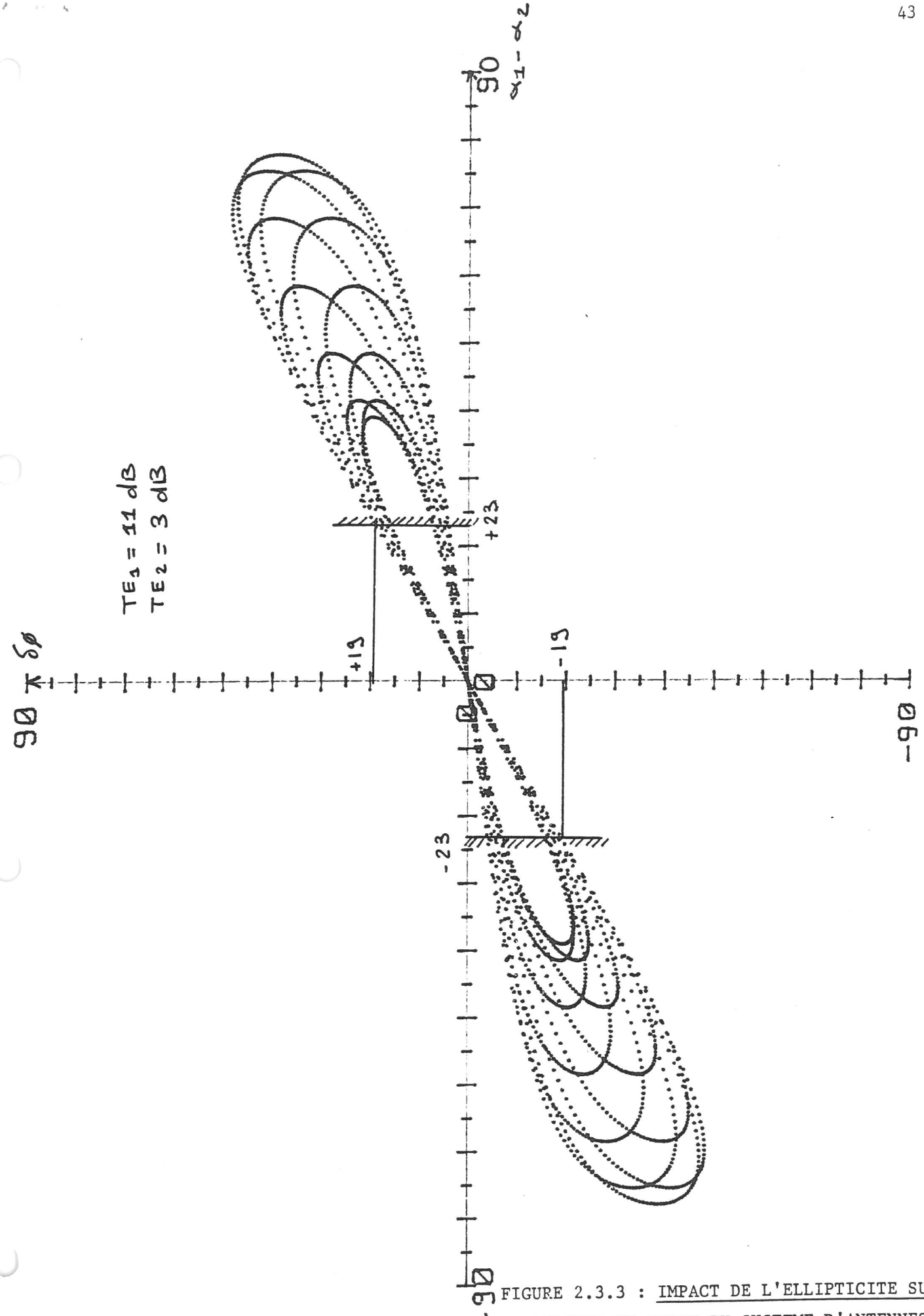


FIGURE 2.3.3 : IMPACT DE L'ELLIPTICITE SUR LA REPONSE EN PHASE DU SYSTEME D'ANTENNES

Le bilan dépasse très légèrement la spécification (10° à 1σ), là encore le découpage en spécification élémentaires établies dans le respect de la faisabilité et en accord avec l'industriel en charge permet d'espérer une marge résultante largement positive.

b) Part OUS

Il s'agit de limiter les variations sur le passage $\frac{\Delta f}{fo}$ de chacun des oscillateurs bord et sol. Ces variations sur cette durée sont généralement des dérives linéaires, aussi la spécification porte sur les pentes de fréquence. Interviennent dans cette spécification les conditions d'environnement de l'OUS (thermique et alimentation) et leur stabilité sur la durée considérée.

Les valeurs de pente sont spécifiées en moyenne quadratique $Mp^2 = \frac{1}{N} \Sigma\ p_i^2$ établie en renouvellant 20 fois de façon consécutive l'observation pi obtenue sur 15 minutes (durée totale de la caractérisation : 5 heures).

OUS sol

. Spécifications OUS

Pente en conditions stables	$p < 1{,}5\ 10^{-13}$/mn
Avec gradient thermique 5°C/h	$p < 3\ \ 10^{-13}$/mn
Sensibilité à l'alimentation	$< \ \ 10^{-13}$/mv
Sensibilité à la pression	$< 5\ 10^{-13}$/m bar

. Spécifications d'interface balise

Gradient appliqué à la balise	< 1°/heure
Gradient appliqué à l'OUS	non supérieur
Gradient de pression	< 1 m bar/15 mn
Variation de la tension d'alimentation	< 5 mV/15 mn

. Bilan de la stabilité OUS sol

On ajoute d'instabilité intrinsèque de l'OUS aux effets des variations des conditions d'environnement, ces derniers étant évalués en considérant que les spécifications de sensibilité permettent d'identifier le paramètre K d'une loi de sensibilité linéaire :

$$\frac{\Delta f}{f} = K \; \Delta \text{ conditions extérieures}$$

D'autre part, les différentes sources d'instabilité sont données quadratiquement.

on obtient ainsi $p < 1{,}6\ 10^{-13}/mn$

On peut remarquer que le gradient thermique appliqué à la balise est peu sévère, car correspond à une ambiance de local calme ; pour une balise située à l'extérieur qui verrait un gradient de 5°/h, on obtiendrait une pente voisine de $3{,}3\ 10^{-13}/mn$.

OUS bord

L'OUS fait parti de la fourniture industrielle instrument.

. Spécification instrument (OUS alimenté par le MVR)

Condition stable OUS)
) $p < 2$ 10-13/mn
Gradient MVR ==> 3°/15 mn)

Gradient OUS ==> 2°/15 mn)
) $p < 8\ 10^{-13}/mn$
Gradient MVR ==> 3°/15 mn)

. Spécification d'interface nominale

Gradient MVR ==> 3°/15 mn

Thermique support OUS ==> 2° crête à crête avec une période de 100 mn
soit un gradient maximum de $2°.\Pi/100$ mn
soit un gradient (1σ) de $2°.\Pi/\sqrt{2} \times 100$ mn

. Bilan stabilité OUS bord

$p < 3{,}3\ 10^{-13}/mn$

2.3.4 Erreur de datation bord-sol

La performance désirée en datation est explicitée par la spécification DA(1). Elle définit l'écart que l'on peut avoir à chaque mesure T3 entre :

- l'intervalle de temps réel séparant l'évènement Si présenté par la balise maître et l'évènement daté T3 à bord déduction faite du temps de trajet radioélectrique entre les points de référence (centre de phase) des antennes bord et sol.
- la connaissance $\tau 3$ que l'on a de cette même quantité par conception et/ou mesure sur le matériel.

Cette erreur reçoit une caractérisation :

- court terme : c'est la partie aléatoire de mesure T3 en mesure T3.
- moyen terme : c'est la partie lentement variable sur la durée du passage.
- long terme : partie constante ou à variation lente sur 3 ans. Il n'y a pas de variation à l'échelle de la durée inter passage.

. Pour la partie antennes (en incluant les câbles bord et sol de liaison), les erreur CT et MT sont inexistantes, l'erreur LT qui ne peut être qu'une constante liée à la mesure initiale est également négligeable.

. Pour la partie balise, on admet les chiffres suivants :

CT ==> 1 µs

MT ==> 0.5 µs

LT ==> 10 µs

. Les chiffres précédents étant très faibles et négligeables devant la spécification totale, le segment bord reçoit à lui tout seul la totalité de la spécification totale :

Soit CT ==> 10 µs

MT ==> 5 µs

LT ==> 100 µs

pour l'ensemble de l'instrumentation la partie constante de LT sera très faible car les mesures initiales de $\tau 3$ pourront être faites précisément, la totalité de la valeur sera allouée aux évolutions lentes pendant la mission.

ANNEXES

A N N E X E 1

CALCUL DE L'ENVIRONNEMENT RADIOELECTRIQUE TYPE

1 - Environnement 2 GH_2

a) Utilisations spatiales

Le seul système utilisant la gamme de fréquence retenue pour DORIS est TDRS (liaison secours), l'émission n'a lieu que d'un seul site, la gène sur DORIS est parfaitement localisée.

Par contre, au voisinage de cette gamme existent un certain nombre de systèmes à orbite basse opérés par des réseaux à plusieurs stations et de forte puissance (car polyvalents) :

- GOES (U.S.A.) et GMS (JAP.) $f < 2035$
- Réseaux CNES, TC, SPOT, TDF, TELE-X etc. $f < 2034$
- Réseaux NASA, DEA, JSEE, NAVETTE $f > 2038,7$

. Pour toutes ces émissions, on a à faire à des antennes de grande taille et donc à lobe central assez étroit pour tolérer le brouillage causé à la traversée de DORIS. Néanmoins, DORIS passager du satellite SPOT doit pouvoir supporter le niveau émis dans l'axe d'antenne par une station du réseau $2GH_2$ réalisant une liaison de télécommande sur SPOT.
Le flux reçu se calcule de la manière suivante :

71 dBw	- 129 dB	=	- 58 dBw/m²
PIRE	perte à la verticale		

. à écart égal de l'autre côté de la gamme DORIS les émissions des réseaux NASA sont trop puissantes pour être admises dans l'axe. On a deux types de stations différant par la taille d'antenne :

G = 52 dB PIRE = 92 dBw
G = 43 dB PIRE = 83 dBw

si l'on veut conserver le niveau de dimensionnement d'origine SPOT ci-dessus il faut s'écarter de $\theta = 2°$ de l'axe d'antenne.

Cette valeur est donnée par la relation CCIR type suivante décrivant la décroissance du diagramme :

Gain en dehors du lobe principal =

$$52 - 10 \log (D/\lambda) - 25 \log \theta$$

que l'on applique à l'antenne de gain 43 dB plus dimensionnante pour le gain latéral.

Le franchissement par DORIS de cette tache de brouillage dure environ 15 secondes pour un angle de site de l'antenne brouilleuse rencontrée de 40° (cas moyen).

. Les émissions GOES sont plus proches en fréquence ; aussi il serait bon de définir moyennant, là encore, une tolérance de brouillage, un niveau de protection imposé à DORIS plus faible que la valeur - 58 dBw/m^2. L'écart considéré ci-dessus de 2° ramène à 31 dB le gain type (45 dB dans l'axe) de l'antenne utilisée. Le flux reçu est ainsi :

74 dBw	+	(31 - 45) dB	-	129 dB	=	- 69 dBw/m^2
perte max.		écart 2°		perte d'espace à la verticale		

. On adopte comme niveau de protection les valeurs suivantes :

$|F - Fo| > 2{,}2$ MHz : - 55 dBw/m^2 (marge de 3 dB par rapport au niveau calculé pour SPOT)

$|F - Fo| > 1{,}1$ MHz : - 70 dBw/m^2 (il n'est pas utile de prendre une marge, les calculs de flux ont été à la verticale et donc au pire cas)

On indique également le niveau maximum que pourra recevoir DORIS moyennant éventuellement brouillage mais aucune dégradation :
- 30 dBw/m^2
(92 dBw (PIRE) - 129 dB + marge)

On admet une émission présente en réception tous les 50 MHz (100 MHz pour l'émission forte puissance fugitive). La polarisation de ces signaux est à priori quelconque.

b) Faisceaux hertziens terrestres

Voir DR(2), la polarisation des signaux est rectiligne

2 - Environnement 400 MHz

a) Utilisations spatiales

Dans cette bande, les antennes sont moins directives. Les puissances reçues sont plus faibles ; par contre, pour la même raison la pleine puissance est reçue plus souvent d'autant plus que le nombre de stations est ici plus important (collecte de données météo.). L'utilisation spatiale dans cette bande 401-403 intervient au-dessus de 401,5 MHz (ARGOS, GEOS, METEOSAT) (voir DR(1)). On peut calculer le flux maximum que peut recevoir le récepteur en se plaçant dans le cas réel mais pire cas suivant.

Système géostationnaire (GEOS, METEOSAT).

Puissance émise 15 dBw
Gain d'antenne 10 dB
10 émissions en visibilité : 10 dB (pessimiste)
Perte d'espace moyenne : |- 129 dB (zénith) - 3 dB|
soit un flux de -97 dBw/m^2.

En dehors de la bande 401 - 403, les utilisations spatiales ne sont guère plus intenses et utilisent à priori des niveaux similaires, les autres services non spatiaux (terrestre, navigation etc.) exigent en général moins de puissance. Le flux calculé ci-dessus reste donc dimensionnant, tout au plus, pourra-t-on le majorer quelque peu par sécurité. Au vu de l'occupation de la bande (voir DR(1)), on peut admettre qu'il n'y a pas en visibilité DORIS en moyenne plus d'une émission du niveau calculé tous les 500 5Hz. La polarisation est à priori quelconque.

b) Cas TRANET

L'émetteur TRANET embarqué sur TOPEX avec DORIS a une puissance de 1w. Cette émission est reçue par DORIS avec une incidence rasante ; on peut faire l'hypothèse que le gain d'émission est inférieur à - 3 dB, le flux reçu est alors avec une séparation de 2 m entre antennes de - 20 dBw/m^2 (0 dBw - 3dB - 17 dB). Il s'agit d'une raie discrète à 400,032 MHz, la polarisation est inversée par rapport à DORIS, le niveau réellement capté par DORIS dépendra de la contrapolarisation des deux antennes à cette incidence.

c) Signaux dans la gamme DORIS

Brouilleurs : L'expérience SARSAT a mis en évidence la présence de signaux non déclarés "dits brouilleurs" sous forme de raies discrètes et de bruits diffus ; la note "ANALYSIS OF THE 406 MHZ BAND DI/LC N°0036/ 27 JANVIER 1984" donne un aperçu du problème. D'après l'expérience ARGOS, le brouillage dans la bande qui nous intéresse semble moins important mais pourtant réel (voir note "Interférences dans la bande 401-403 MHz/ 7 Novembre 1984/PMF/CLS N° 549").

Pour faire face aux évolutions possibles du phénomène et garantir une certaine marge de sécurité on utilisera donc pour définir l'environnement type dans notre cas les statistiques obtenues sur SARSAT.

Le brouilleur type est une émission discrète de puissance au sol 5 w (type radiotéléphone), le flux correspondant en réception DORIS est :

$$7\ \text{dBw} - \underbrace{129\ \text{dB}}_{\text{Perte d'espace moyenne}} - 3\ \text{dB} = -125\ \text{dBw}$$

La polarisation du signal est quelconque, on observe à peu près la présence d'un signal de ce type à tout moment dans toute bande de 25 KHz. On a noté également du bruit diffus que l'on situe 10 dB au-dessus de bruit thermique (voir référence ci-dessus) en sortie Antenne ; ce qui pourrait provenir d'un flux de bruit reçu en polarisation quelconque de $-178\ \text{dBw/m}^2\text{/Hz}$.

$$(\underbrace{-178}_{\text{Bruit thermique}} + \underbrace{0\ \text{dB}}_{\substack{\text{Gain d'antenne} \\ \text{moyen}}} + \underbrace{10\log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right)}_{\text{Perte de polarisation}} - 3\ \text{dB} \simeq -204\ \text{dBw/Hz} + 10\ \text{dB}$$

Télémesure ballons CNES

Le document DR(1) donne les caractéristiques de ces signaux. Il faut bien sûr éviter lors du choix de la fréquence DORIS l'une des fréquences porteuses, les caractéristiques indiquées nous permettent de calculer le bruit ramené sur DORIS par la modulation de cette porteuse pour un cetain écart d'évitement Δf.

Imaginons un évitement Δf de 50 KHz, la fréquence DORIS peut tomber sur une sous-porteuse 50 KHz modulée FM sur 15 % de sa valeur. La densité de

bruit ainsi créée, est par rapport à la puissance totale de télémesure :

$$-7\ dB - 10 \log (50\ KHz \times 0{,}15) = -45\ dB/Hz$$

↑ niveau raie latérale par rapport à la puissance totale.

La puissance d'émission est de - 3 dBw, le gain arrière de l'antenne ballon vue par DORIS est - 5 dB, à la verticale le flux de bruit reçu sera donc :

$$-3\ dBw - 129\ dB - 45 = -177\ dBw/m^2/hz$$

Il s'agit d'une polarisation rectiligne.

On retrouve dans cette situation propre à DORIS, un niveau voisin à celui ci-dessus correspondant à une situation empruntée à SARSAT.

A N N E X E 2

EFFET DE L'ENVIRONNEMENT SOL DES ANTENNES

Le rapport très complet de l'étude confiée à la société AERO dans le cadre du projet GEOLE permet d'extraire un modèle plus synthétique des phénomènes de réflexions sol (voir AERO Marché 075/CNES/0761).

1) Modèle de réflexion sol

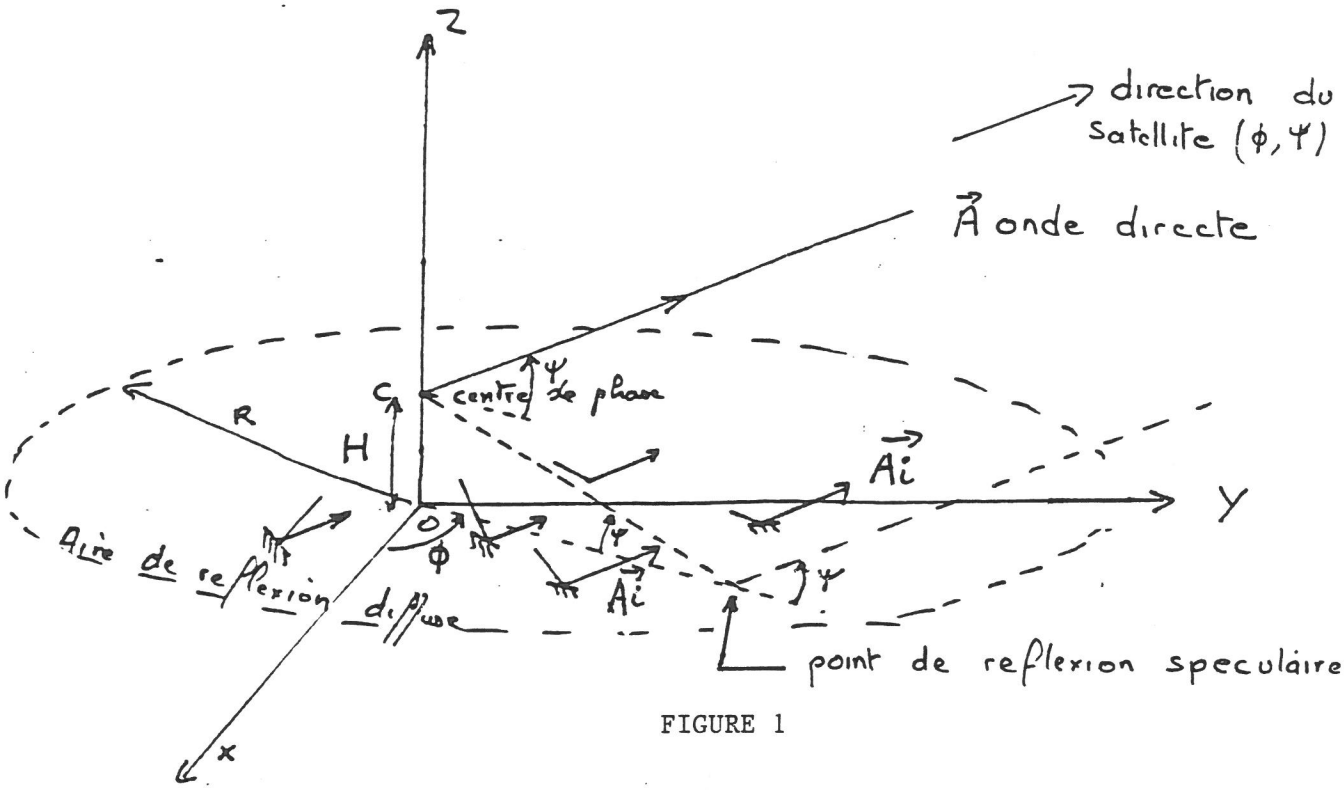


FIGURE 1

L'onde réfléchie $\vec{A}r$ reçue par le récepteur est une composition d'onde élémentaire $\vec{A}i$. L'aspect aléatoire de cette résultante (pseudo-aléatoire pour le survol d'une surface donnée, aléatoire de surface en surface) s'accroit avec la rugosité du type de surface considéré.

$$\vec{A}r = \vec{A}s + \vec{A}d$$

Réflexion spéculaire — Réflexion diffuse

$$\vec{A}s = <\vec{A}r> = \rho_S \vec{A}e^{-i\gamma S}$$

$$<Ad> = 0, \quad <|Ad|^2> = \rho d^2 \, |A^2|$$

Ces statistiques portent sur l'ensemble des surfaces du type considéré.

- La valeur moyenne As provient d'une sommation assez cohérente de réflexions au voisinage du point de réflexion spéculaire.
  Le déphasage de cette onde vu par le récepteur est :

$$\gamma s = \frac{4\Pi H \sin \Psi}{\lambda} + \alpha s$$

  αs évolue peu en fonction de Ψ, pour $\Psi > 20°$.
- La contribution aléatoire provient de réflexions élémentaires en des points éloignés du point de réflexions spéculaire et malgré tout dans la direction du satellite du fait des rugosités du sol. En raison des différences de marche importantes, la sommation est incohérente et conduit à un vecteur pseudo-aléatoire sur le survol d'une surface et aléatoire de surface en surface.

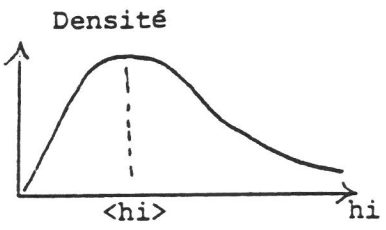
$$Ad = \Sigma\ ri\ e^{-i\gamma i}\ .\ \vec{A} = \rho e^{i\gamma}\ \vec{A}$$

. dont le module ρ évolue lentement sur le survol d'une surface et a une moyenne quadratique ρd sur l'ensemble des conditions géométriques et sur l'ensemble de surfaces du type considéré,

. dont la phase γ a une évolution vue par le satellite en mouvement dont la décomposition spectrale provient de la distribution des phases γi élémentaires. Les modules ri sont, par ailleurs, égaux et indépendants de Ψ.

$$\gamma i = \frac{4\Pi\ hi}{\lambda} \sin \Psi \quad (hi>0)$$

Distribution de hi pour une surface donnée.



$\langle hi \rangle = 1{,}7\ H$

$\langle hi^2 - \langle hi \rangle^2 \rangle = (2H)^2$

Valeurs numériques

Ψ	15	20	30	40	50	60	70	80	90
.Surface plane lisse ρs = $\rho d = 0$	0,75	0,7	0,57	0,48	0,43	0,38	0,35	0,34	0,34

.Surface rugueuse (gazon ou sable sec)
plane (rugosité moyenne 1 cm)

	15	20	30	40	50	60	70	80	90
ρs =	0,55	0,5	0,42	0,35	0,26	0,18	0,11	0,055	10^{-3}

$\rho d = 5\ 10^{-3}/H$

•Surface très rugueuse
plane (rugosité moyenne 10 cm)

Ps 400 MHz → Idem cas précédent

	15	20	30	40	50	60	70	80	90
ρs 2 GHz	0,35	0,25	--------		$\leq$ 0,1	0,02	0,01	10^{-3}	10^{-3}

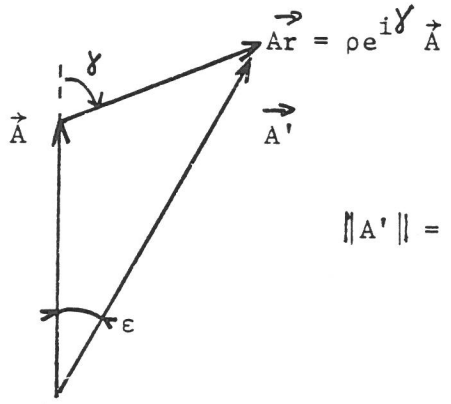
$\rho d = 5\ 10^{-2}/H$

Nota

. La surface (sol ou bâtiment) sur laquelle est posée l'antenne et intervenant dans la réflexion diffuse, est délimitée du fait de l'ombre apportée par les rugosités au-delà d'une certaine distance de 0. On définit un rayon limite R = 15 H.

2) Impact sur les performances DORIS

On peut représenter par une combinaison de type FRESNEL ce que deviennent la phase et l'amplitude du diagramme de l'antenne seule une fois celle-ci placée dans son environnement sol.



$\|A'\| = k\|A\|$

$tg\,\varepsilon = tg\,\gamma$

$tg\,\varepsilon = tg\,\frac{4\pi H \sin\varphi}{\lambda}$

$\Rightarrow \varepsilon = \arctg\left\{\frac{4\pi H \sin\varphi}{\lambda}\right\}$

La perturbation ε sur la réponse en phase de l'antenne et la perturbation k sur l'amplitude de l'onde émise évoluent en fonction de ρ et γ fonctions d'après le modèle ci-dessus de l'incidence Ψ.

Si ρ évolue lentement en fonction de Ψ, γ par contre introduit des ondulations sur ε et k dont la rapidité est fonction du rapport H/λ. On peut considérer que ρ fixe les limites des ondulations et que $\frac{H}{\lambda}$ en donne la caractéristique spectrale.

Analyse spectrale de la perturbation

Dans le cas de la réflexion spéculaire, la valeur $\frac{2H}{\lambda}$ (1 - sin 20°) caractérise le nombre d'ondulations enregistrées sur une moitié de passage entre 0° de site et le zénith. Les ondulations sont rapides à site faible et se ralentissent au zénith (fonction sinus), ceci reste vrai dans le domaine temporel en réception bord malgré le comportement inverse de la fonction Ψ (t). Pour un hauteur du centre de phase égale à 1 m, le nombre d'ondulations reste inférieur à 2 à 400 MHz et 10 à 2 GHz et permet encore même dans ce cas extrême (généralement l'antenne sera posée sur la surface du sol ou du toit d'un bâtiment, H < 1m) de ranger le type d'erreur causée sur la phase émise dans le domaine moyen terme.

L'erreur d'origine réflexion diffuse à une répartition spectrale plus élevée et plus étendue. La composante spectrale extrême obtenue en prenant une valeur hi à 2σ, λ = 15 cm, H = 1 m et $\Psi \simeq 10°$ s'évalue en calculant le nombre d'ondulations réalisées en 10 s c'est-à-dire la valeur

$\frac{2\ hi}{\lambda} \cos \Psi\ \Delta\Psi\ (10s)$:

$$\left.\begin{array}{l} \Delta\Psi \simeq 1{,}2° \text{ soit } 2{,}5\ 10^{-2} \text{ rad} \\ \cos \Psi \simeq 1 \\ \frac{2\ hi}{\lambda} = 2 \times \frac{5{,}7\ H}{\lambda} = 76 \end{array}\right\} \text{ soit 2 ondulations}$$

Ce résultat indique que la quasi totalité de l'erreur de réflexion diffuse reste inclue dans le domaine du moyen terme.

Il apparait qu'un sol très rugueux semble préférable à un sol lisse car la réflexion spéculaire est nettement diminuée et l'amplitude de la réflexion diffuse reste négligeable. En général, on rencontrera des sols d'un type intermédiaire moyennement rugueux (1 cm) et donc un peu plus pénalisant. Il faudra surtout éviter les sols trop lisses.

Amplitude

L'amplitude de la perturbation dépend de la valeur du coefficient de réflexion du sol et du rapport avant-arrière du diagramme d'antenne.

$\rho = G(-\Psi)/G(\Psi) \times \rho s$ pour la réflexion spéculaire.

Ondulation phase (rad.) $\simeq \rho$ (si $\rho \ll 1$)

Ondulation amplitude en dB = . 20 log (1 + ρ) partie positive

. 20 log (1 - ρ) partie négative

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES

CENTRE SPATIAL DE TOULOUSE
18, avenue Edouard-Belin
31055 TOULOUSE CEDEX
Tél : (61) 27.31.31
Télex 531061
SIRET : 775 685 012 000 39
APE : 8311

TOULOUSE, le

DORIS/SPOT2

DOSSIER DE
DEFINITION DE L'INSTRUMENTATION

(Chapitre : bilan des Performances)

PREPARÉ PAR :	J.P. AGUTTES TIT/RL
APPROUVÉ PAR :	
APPLICATION AUTORISEE PAR :	
N° DORIS	DS2/DD/10/5 ed. 2

DIFFUSION

DTI/PS	M. JEAN BAPTISTE
SCM/TP	MM. DORRER – ESCUDIER – HOZE LABORDE
DTI/MS	M. NOUEL – M. JAYLES
APP/SOR	MM. EHSTER – GENTET
DRT/D	
DRT/TIT	MM. SAINT-ETIENNE – AVIGNON BRUNET – LAPORTE – AGUTTES (6 ex) – CHAPUIS – AURIOL

PLAN DU DOCUMENT

1 - INTRODUCTION

2 - DEFINITION DES SPECIFICATIONS PRINCIPALES DES ELEMENTS CONSTITUANTS

2.1. Séquencement

Synchronisation bord-sol

Séquencement d'émission balise

Séquencement de réception bord

2.2. Liaison radioélectrique - Antennes

- Choix des fréquences - environnement radioélectrique
- Antennes
- Définition du signal balise (puissance, fréquence, modulation)
- Interface radioélectrique de réception MVR et exigence d'immunité au brouillage

2.3. Performances de mesure

- Représentation de la mesure et de ses erreurs
- Erreur court terme doppler
- Erreur moyen terme doppler
- Erreur datation

3 - DEFINITION DES ELEMENTS CONSTITUANTS

3.1. Instrument

A venir sur édition ultérieure

3.2. Balise

A venir sur édition ultérieure

3.3. Antennes

A venir sur édition ultérieure

4 - BILAN DES PERFORMANCES

4.1. Liaison radioélectrique
4.2. Performance d'exécution
4.3. Performance de la mesure
- Court terme doppler
- Moyen terme doppler
- Long terme doppler
- Datation
4.4. Différents modèles associés à la mesure
4.5. Cas TOPEX

5 - EVOLUTIONS FUTURES

ANNEXE 1 - Calcul de l'environnement radioélectrique type
ANNEXE 2 - Effet de l'environnement sol sur les antennes
ANNEXE 3 - Limites en écart de niveau et fréquence du brouillage inter-balise

DOCUMENTS DE REFERENCE

DR n° :

1) - Choix des fréquences DORIS
CT/DRT/TIT/RL N° 138 T

2) - Etude de brouillage DORIS
par FH à 2 GHz
CT/DRT/TIT/RL NO 84/140 T

3) - CCTP marché Instrument — 084/CNES/5368 Avenant 1

4) - CCTP marché balise — 084/CNES/5367

5) - CCTP marché antennes — 084/CNES/5369 Avenant 1

6) - CCTP marché OUS balise — 085/CNES/5603

7) - Dossier de définition du
Système DORIS — DS2/DD/01/06

8) - Plan d'essai instrumentation — DS2/EI/10/2

9) - Dossier de recette instrument — ESD 73 986 -M ed.2

10) - Cahier de recette OUS (474 FEI) — ATR A82651-1063

11) - MESURES CNES OUS MJ/MV — DI/TF N° 86/235

12) - Evaluation du brouillage interbalises
(DORRER - AGUTTES)

4. BILAN DES PERFORMANCES

4.1 LIAISON RADIOELECTRIQUE

4.1.1 Les antennes et la liaison

.gain de liaison G(él):

Il s'agit du gain moyen de liaison du systeme d'antennes tel que défini au §2.2.2.b. Aussi bien à 400Mhz qu'à 2GHz , le diagramme s'avére n'être pas suffisamment compensé en fonction de l'élevation. Il en résulte principalement que la spécification de gain minimum au dessus de 25° (Go>-3dB) n'est pas tenue, par contre la majoration de quelques dB de la dynamique en reception MVR ne constitue pas un probléme. Les écarts de Go par rapport à la valeur spécifiée situent le manque occasionné par les antennes dans le bilan de liaison classique c'est à dire établi par rapport au bruit thermique. Les spécifications de gain max. bord ci dessous n'interviennent par contre que sur le rapport relatif brouilleur /signal.(voir § 2.2.2 b) Les figures ci-contre donnent les diagrammes bord-sol obtenus.

. Rapport avant/arriere et ondulations de reflexion:

Les spécifications de rapport AV/AR sont globalement tenues, les ondulations résultantes sont représentées avec les diagrammes. Il faut se rappeller qu'elles ont été obtenues à partir du rapport AV/AR spécifié et d'un coefficient de reflexion type moyen ,suivant la valeur effective de ce dernier les ondulations pour certaines balises peuvent être bien plus fortes. Il faudra éviter principalement les sols lisses.(voir Annexe 2)

. gain maximum de reception bord:

Les valeurs de Gmax/Go interviennent sur le rapport relatif brouilleur/signal. Les valeurs obtenues dépassent les valeurs plafond spécifiées. Elles sont indiquées sous les diagrammes ci contre. Pour une même hypothése de flux de brouilleurs perçus par l'antenne bord (voir §2.2.1), l'effet se trouvera donc amplifié. Néammoins c'est sur le point le plus dimensionnant jusqu'alors (reception des brouilleurs F.H. à 2GHz sur l'horizon) que la majoration est la moindre.

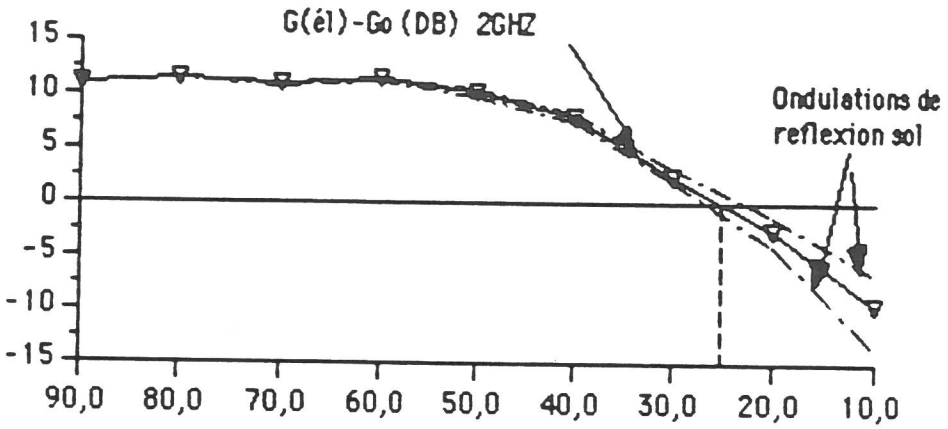
. pertes d'éllipticité et pertes bord:

Les taux d'éllipticité depassent les limites prévues, principalement pour les basses élevations. Ceci est trés net à 400 MHZ où l'antenne bord s'est montré particuliérement défectueuse dans le domaine. Les valeurs de perte indiquées ci-dessus correspondent à un cas moyen, autour duquel peuvent apparaître des accidents pour certaines valeurs d'azimut.(max =-4,15dB à 400MHZ et -1,2 dB à 2GHZ)

Les pertes bord sont par contre meilleures que les prévisions .

ANTENNES 2GHz

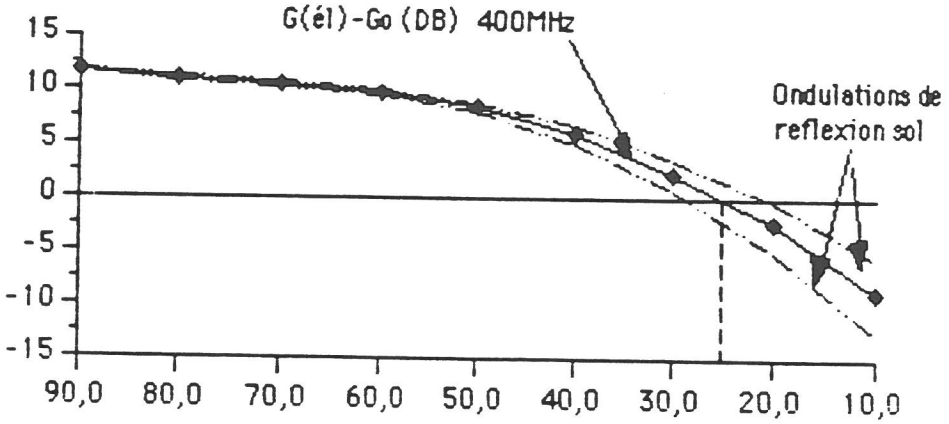
figure 1



		(spécif.)	(écart):	
Go=G(él=25°) (dB)	-4,1	-3,0	dGo=	-1,1
Gmax/G0 (dB)	9,8	6,0	dGmax=	3,8
Gmax(>61,5)/G0(dB)	3,1	2,0	dGh=	1,1

ANTENNES 400MHz

figure 2



		(spécif.)	(écart):	
Go=G(él=25°) (dB)	-3,3	-3,0	dGo=	-0,3
Gmax/G0 (dB)	8,5	6,0	dGmax=	2,5

	2GHZ	(spécif.)	400MHZ	(spécif.)
perte bord (dB)	-1,8	-2,5	-0,9	-2,5
perte d'ellipticité (...	-1,0	-0,5	-2,5	-1,0

4.1.2 l'émission balise

Les puissances moyennes typiques obtenues sont légérement superieures aux spécifications. On obtient les bilans suivant en considérant les pertes en cables qui s'avérent dans les prévisions.

On peut noter que l'on est peut être un peu optimiste en considerant que 10 metres est une longueur moyenne pour les cables. Il faudra être vigilant et s'assurer qu'en réalité on ne s'en éloigne pas trop.

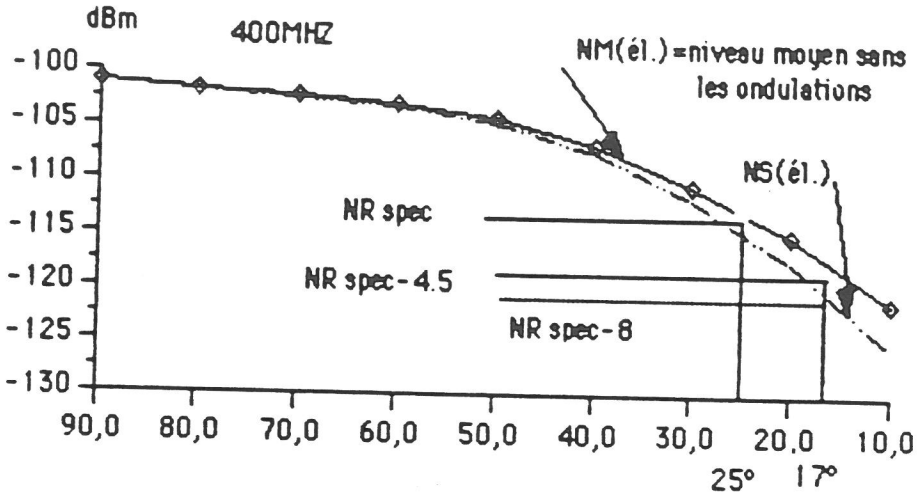
	2GHZ			400MHZ		
EMISSION			(specif.)			(specif)
Puissance nom. (W)	11,0		10,0	6,0		5,0
Puissance nom. (dB)	10,4		10,0	7,8		7,0
retrait puissance(dB)	-0,6	(Puiss-)		-0,8	(Puiss.-)	
surplus puissance(d...	1,3	(Puiss+)		0,7	(Puiss+)	
perte moy. dB (10m)	-1,5			-1,0		
retrait perte dB(5m)	-0,5	(Pert.-)		-0,5	(Pert.-)	
surpl. perte dB(15m)	0,5	(pert.+)		0,5	(pert.+)	

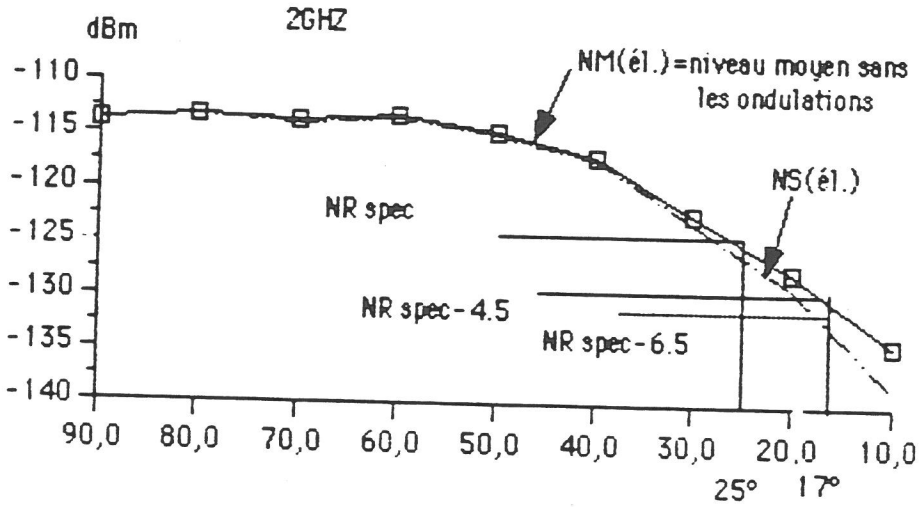
4.1.2 niveaux de reception MVR

Les courbes ci contre donnent les niveaux effectivement reçus par le MVR en fonction de l'élevation.

Les niveaux moyens NM sont établis à partir du niveau d'émission balise moyen et sans les ondulations de reflexion,dans les niveaux NS il est ajoutée la part négative de l'ondulation. Les valeurs reperées NR et NR-4.5 correspondent aux valeurs spécifiées pour respectivement NM(él.=25°)et NM(él. =17°), NR-8 correspond à la spécification de NS(él=17°) à 400MHZ tandis que NR-6.5 est l'analogue à 2GHZ.

Nous pouvons remarquer que les niveaux moyens sont presque respectés à 2GHZ et qu'une petite marge de 1dB existe à 400Mhz.Il y a compensation de la légere faiblesse des antennes, cela est dû principalement à la perte bord plus faible que prévue, cette compensation ne sera donc pas effective pour ce qui est des performances vis à vis des brouilleurs.


dBm
400MHZ
NM(él.)=niveau moyen sans les ondulations
NS(él.)
NR spec
NR spec-4.5
NR spec-8
-100
-105
-110
-115
-120
-125
-130
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
25°
17°


dBm
2GHZ
NM(él.)=niveau moyen sans les ondulations
NS(él.)
NR spec
NR spec-4.5
NR spec-6.5
-110
-115
-120
-125
-130
-135
-140
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
25°
17°

Rappellons les conditions suivant lesquelles ont été spécifiées les performances du MVR (voir §2.2.4)

A 2GHZ les ondulations de reflexion évoluent trés rapidement sur le passage, elles ne peuvent donc avoir un effet significatif sur le seuil d'élevation pour la performance d'exécution et n'introduisent qu'un effet stastistique nul sur la performance doppler court terme .

A 400MHZ il en est de même pour la performance Doppler court terme et la performance datation court terme, mais ici les ondulations étant à evolution beaucoup plus lente il faut considerer les valeurs négatives pour verifier les performances à seuil (transmission de donnée et execution).

4.2 PERFORMANCES D'EXECUTION ET DE TRANSMISSION DE DONNEES

Les courbes ci-contre donnent les marges de fonctionnement dans le cas non brouillé et dans le cas brouillé. Le niveau signal considéré est NS(él.) à 400MHZ et NM(él) à 2GHZ (voir ci dessus).

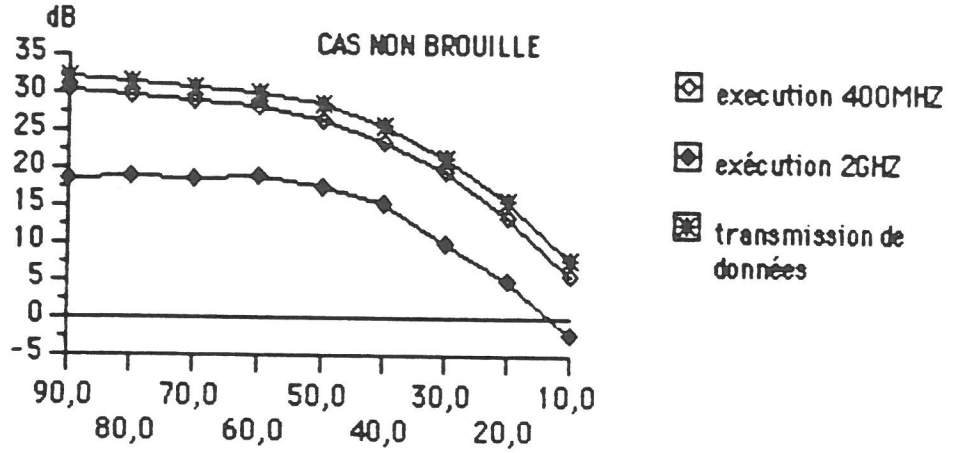
Rappellons que l'environnement brouillé spécifié(voir §2.2.4 b) permet de fixer une exigence d'immunité au brouillage indispensable pour un systeme du type DORIS. Il prend en compte les brouilleurs de type spectre diffus et discret, la derniére catégorie recouvrant aussi bien un signal externe au systeme DORIS qu'un autre signal balise DORIS proche en fréquence du signal balise désiré. Le cas typique spécifié est le suivant:

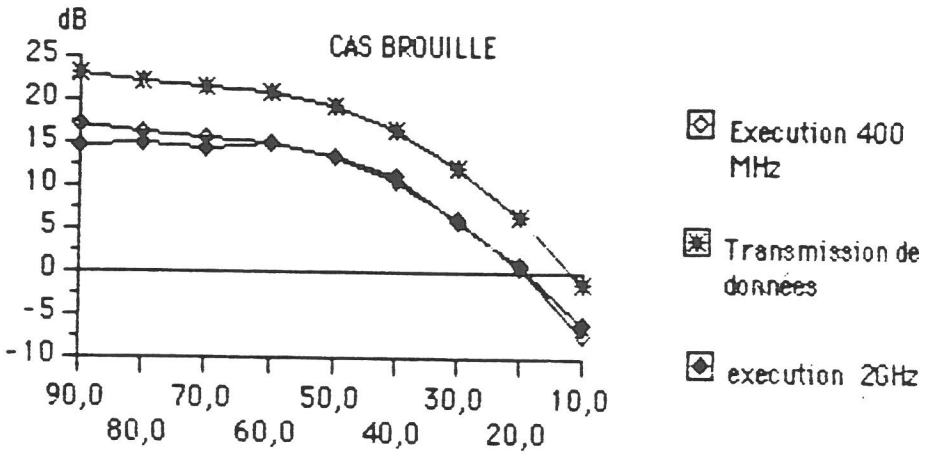
-niveau du signal Autre-Balise 5dB superieur au signal utile est distant de 700 Hz (valeurs 400MHZ)

- niveau brouilleur externe discret 2GHz à NR+21dB et 5KHZ d'écart et niveau brouilleur externe discret 400Mhz à NR+5 dB et 700hz d'écart. Ces niveaux sont établis à partir des estimations de flux de brouillage et de spécifications de gain max adoptées pour l'antenne bord.

Les marges qui apparaissent se réfèrent à l'exigence d'immunité qui a pu être vérifiée en recette et qui se trouve légérement en dérogation par rapport à la specification. d'autre part ces marges sont réajustées pour tenir compte des caractéristiques réelles de l'antenne bord (spécification de gains max) et donc des niveaux effectifs des brouilleurs. (voir détails des calculs en Annexe 3). La dérogation observée sur l'exigence d'immunité porte:

-pour l'execution 2GHZ, sur l'erreur de prépositionnement DOPPLER qui doit être limitée à 50 m/s au lieu des 70m/s spécifiés .(cette limitation provient de la présence de bruit diffus)


dB
CAS NON BROUILLE
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
execution 400MHZ
exécution 2GHZ
transmission de données


dB
CAS BROUILLE
25
20
15
10
5
0
-5
-10
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
Execution 400 MHz
Transmission de données
execution 2GHz

- pour l'execution 400MHz sur le niveau de brouilleur discret situé à 700Hz qui a dû être baissé de 6 dB. On aurait pu tout aussi bien pour amménager la spécification garder le même niveau et augmenter l'écart de fréquence, dans les deux cas cela traduit une diminution de performance opérationnelle d'execution que l'on ne sait guére quantifier réellement, la statistique des brouilleurs discrets étant difficilement appréhendable. Aussi on peut considerer qu'à 400MHz ces notions de marges en mode brouillé n'ont qu'une valeur trés relative. En ne considérant que l'influence du bruit diffus la marge remonte de 7 dB (pour un Δv de 50m/s) par rapport aux valeurs de la courbe et donne une limite plus exploitable et plus réaliste sur un plan de fonctionnement global. Il sera par contre intéressant de prendre en compte la performance réelle d'immunité au brouillage discret pour apprécier les limites de fonctionnement avec plusieurs balises.Ceci est fait en annexe 3 et dans le DR 12.

On peut conclure sur l'éxécution en disant que les objectifs sont pratiquement atteints, l'execution qui est surtout limitée par la voie 2GHZ est garantie entre 13° et 19° suivant la présence ou non de brouillage.

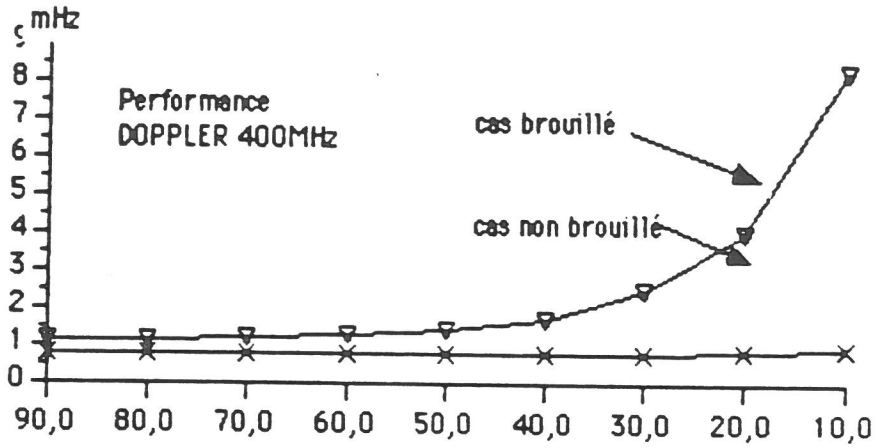
4.3 PERFORMANCES DE LA MESURE

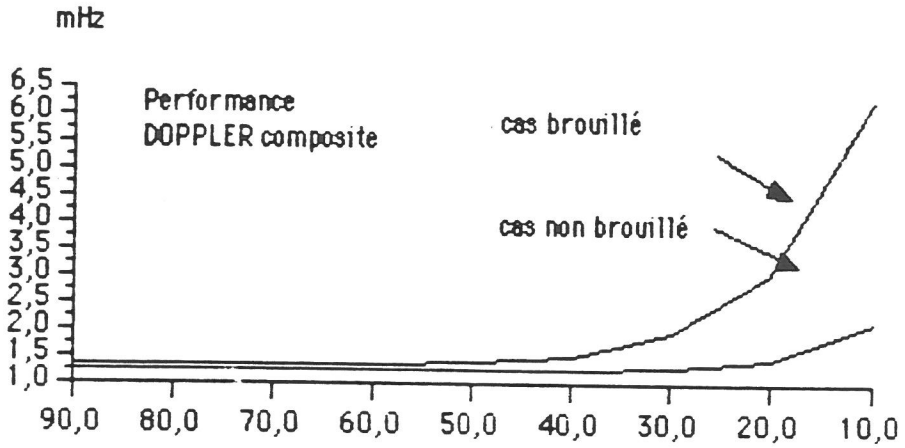
4.31 DOPPLER court terme(variance de PICIMBONO)

Les courbes ci contre donnent la performance obtenue sur la voie 400MHz et sur la combinaison des voies par la formule de correction ionosphérique (valeur trés proche de la voie 2GHz seule).

Dans la spécification le mode non brouillé considerait les signaux des bandes voisines et leurs effets d'intermodulation. Ici dans ce bilan nous préférons faire apparaître le cas idéal avec les signaux balise seuls. Le cas reel se situera entre le cas non-brouillé idéal et le cas brouillé issu d'une estimation de la réalité des brouillages.

On peut remarquer que l'erreur DOPPLER composite au dessus de 25° d'élevation est inferieure à 1,8 mHz dans le cas non-brouillé, et 2,4 mHz dans le cas brouillé pour des spécifications initiales de 2 mHz et 2,5 mHz. La bonne performance des OUS est à l'origine de ce resultat, on attribue au bord comme au sol une performance de stabilité de frequence voisine de 3 10-13 pour une specification qui etait respectivement de 7 10-13 et 5 10-13. IL faut noter que cette performance de l' OUS bord est aujourd'hui trés largement dégradée par le fonctionnement des magnétocoupleurs du satellite, un blindage sera prochainement installé afin de diminuer la sensibilité au magnétisme mais une dégradation residuelle n'est pas


mHz
Performance
DOPPLER 400MHz
cas brouillé
cas non brouillé
8
7
6
5
4
3
2
1
0
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0


mHz
Performance
DOPPLER composite
cas brouillé
cas non brouillé
6,5
6,0
5,5
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0

exclue.

4.32 DOPPLER moyen terme

Comme indiqué en §2.33 la spécification fait la distinction parmi les pertubations lentes de la mesure entre celles d'origine reference de fréquence (OUS) et celles crées par le reste de l'instrumentation. Les premiéres sont traitées en instabilités de fréquence de type pente parasite sur une durée de 15 minutes (durée du passage) tandis que les autres sont caractérisées en variations parasite de phase affectant l'observation DOPPLER.

a) Part OUS:

Pour l'OUS sol les hypothéses faites lors des spécifications §2.33b sont globalement satisfaites aussi bien pour ce qui concerne l'OUS pris isolement (instabilité naturelle + sensibilité à l'environnement) que ce qui concerne la qualité de stabilité de l'environnement offert (gradient thermique, stabilité d'alimentation..). On obtient ainsi des pentes de fréquence de l'ordre de 1,5 10-13/mn pour des gradients thermiques appliqués inferieurs à 1°/H et 3,5 10-13/mn pour des gradients thermiques de 5°/H.

Pour l'OUS bord, la pente naturelle observée en conditions stables de température est légerement superieure en valeurs typiques (3,5 10-13 au lieu de 2 10-13). La sensibilité au gradient thermique n' a pas pu être observée dans des conditions correctes, aussi bien en recette FEI que lors des essais CNES (INTESPACE) les tronçons de mesure correspondant à ces gradients etaient trés perturbés dans certaines parties. Ces problemes passés inaperçus lors de la recette ESD chez FEI, ont été interprétés commes des parasitages de mesure lors des essais CNES, dans les deux cas ceci était pour une bonne part à l'origine des mauvaises valeurs obtenues sur les pentes. (10-12 chez FEI et 3 10-12 au CNES pour une spécification de 8 10-13). Par la suite bien plus tard lors des essais sur satellite, on a pu mettre plus clairement en evidence le probleme en utilisant des gradients plus faibles , le phenoméne provenait d'une instabilité à une température particuliére et n'apparaissait que fugitivement car les gradients appliqués etaient trop importants.

Cette anomalie semble comprise aujourd'hui et la réparation est en cours, mais entre temps le comportement thermique de l'OUS avait pu être vérifié de maniere concluante en réalisant (CNES TIT/TF) un cyclage thermique directement representatif des conditions orbitales (5°CC avec une periode de 100 minutes), la pente typique observée etait alors de l'ordre de 4 10-13 pour l'OUS de vol (FEI 474) et légérement supérieure

pour l'OUS de rechange MR(FEI 473). Autant dire si l'on compare avec les instabilités naturelles que l'OUS n'est pas sensible à ce type de cyclage et réalise un bon filtrage, tout au plus remarque t'on par rapport au cas du palier thermique une corrélation des pentes et des instablités de fréquence par rapport à ce cycle thermique. Ce dernier point bien qu à peine percevable sur l'OUS MV est trés important pour la performance finale de l'instrumentation, la thermique bord correspondant au cycle orbital les perturbations qui en découlent sur la mesure même petites en volume peuvent avoir sur le traitement orbitographique DORIS un impact spécifique. Ceci demande une analyse particuliére qui prend en compte en plus des phénomenes aléatoires de passage en passage l'existence d'une perturbation de la mesure corrélée au mouvement orbital. Cette constatation est générale pour tous les problémes moyen terme ou intervient la thermique bord, comme nous le verrons par la suite les erreurs hors OUS amènent à faire la même distinction.

Nous pouvons dire pour conclure sur l'origine OUS que l'hypothese d'instabilités de fréquence caractérisées par des pentes aléatoire de passage en passage de 3 10-13/mn en valeur quadratique est vérifiée pour le bord et pour le sol, mais il faut préciser que si pour le sol cette hypothése prend bien en compte l'effet de la thermique il y a lieu pour le bord de considérer une composante d'érreur supplémentaire de signature d'évolution temporelle trés particuliére de la forme:

$$\Delta f/f = 5\ 10\text{-}12 * \cos((2\pi/100mn).t + \varnothing)$$

avec $\varnothing$ a priori stable dans le temps mais inconnu à l'avance car dépendant des constantes d'inertie thermiques du satellite est de l'OUS. Il faut préciser que l'amplitude considérée est un pire cas car elle est établie à partir de mesures réalisées à l'ambiance et non au vide où le"filtrage" thermique devrait être plus fort.

Pour ces resultats on pourra se reporter aux documents en référence traitant des mesures OUS. (DR 10 et DR 9)

b) <u>part hors OUS</u>:

Le tableau ci-contre fait le point des différentes causes d'èrreurs,on est trés proche de la ventilation adoptée lors des spécifications (voir §2.3.3a) et on atteint donc l'objectif initial de +/- 10° de phase (ou +/- 5 millimetres) d'excursion quadratique sur le passage. Il faut toutefois préciser deux points:

-Il y a, nous en avons déjà vu les effets en amplitude, des depassements importants de specifications au niveau des taux d'ellipticité. S'agissant d'accidents se démarquant nettement du cas typique sur la couverture nous

CODE	CAUSE	VALEUR CRETE A CRETE EN DEGRE	
		2 GMz	400 MHz
S1	Erreur balise jusqu'à l'antenne (modulation parasite signal, dilatation câble, etc...)	± 2	± 4
A1	Méconnaissance du diagramme de phase de l'antenne Sol (hors influence réflexion sol) et bord	± 2	± 4
A2	et non conformité loi de φ en Az	± 2	± 4
A3	Méconnaissance du diagramme de phase d'émission du fait de l'environnement sol (réflexions spéculaires)	± 9	± 16
A4	Erreur due aux taux d'ellipticité des antennes	± 9	± 16
	Erreur de l'exploitation du diagramme de phase due à l'erreur de pointage des antennes. Hypothèse : erreur de pointage sur le géocentrique = 1° pour l'antenne sol et 1,5° pour l'antenne bord		
A5	Sol	± 1	± 1
A6	Bord	± 1	± 0,75
A	Variation de la position du centre de phase pendant le passage		
A7	Cause thermique antenne bord : + 1 mm à 2 GHz et 400 MHz	± 2,5	± 0,5
A8	Cause thermique + vent antenne sol : + 2 mm à 2 GHz ; - 2 mm à 400 MHz	± 5	± 1
B1	Instrument : (filtres et erreurs de poursuite boucle de phase)	± 5	± 7,5

BILAN DES ERREURS MOYEN TERME HORS OUS

TOTAL COMPOSITE BIFREQUENCE ± 10° (1 σ)

avons choisi de conserver le cas typique de TE bord et sol (90% de la couverture à 2GHZ et 70% à 400MHZ) pour établir l'excursion crête de phase rencontrable sur la plupart des passages. Les cas max oubliés sont d'un facteur 2 supérieurs.

-Les valeurs obtenues pour l'instrument excluent les causes d'origine thermique, ces dernieres mal prises en compte lors de la conception conduisent à des dépassements importants de la valeur allouée (30° de variation au lieu des 10° spécifiés) et doivent de plus, comme nous l'avons vu pour l'OUS, faire l'objet d'une analyse spécifique en raison du couplage important avec le mouvement orbital. L'erreur a pu être observée au vide en simulant le cyclage thermique prévu sur SPOT de 6° CC, l'amplitude cc est alors de 200° soit 8,5 CM et la constante de temps par rapport à la température MVR est de l'ordre de 40mn .

Le fait que l'amplitude sur le passage de ces érreurs dépasse la prévision n'est pas le plus grave car le dimensionnement sur ce poste était sévére , par contre la nature de cette erreur couplée à l'orbite sort totalement du cadre initial du dimensionnement qui prévoyait un caractére aléatoire entre passages. Sur ce probléme l'attention doit être portée d'abord sur le cas de l'OUS abordé précedement, en effet le cyclage de fréquence conduit à un cyclage de phase bien supérieur à ce que peut produire le reste de l'instrumentation puisque cela se compte en tours de phase (5 à 10 sur l'orbite) il faudrait déja refaire le cyclage OUS sous vide où l'on peut esperer une plus grande inertie thermique.

4.3.3 Long terme doppler

Il n'y a pas de contrainte de type biais sur la mesure DOPPLER, c'est le principe de ces systemes de tolérer un décalage des OUS entre bord et sol dans la mesure ou celui ci est constant ou suit une variation monotone et lente . La vitesse de variation intervient dans le moyen terme OUS et est déjà limitée au travers de la spécification correspondante mais ce sont les fonctions de séquencement bord-sol (voir §2.21) qui introduisent le plus de contrainte à ce niveau. En effet l'èrreur de fréquence bord est limitée à 2 10-7 (condition de bon fonctionnement de la correction automatique de séquencement) sur une durée de 5 ans dont 2 en stockage, ce qui fixe la limite de la dérive journaliére à 10-10 si le décalage initial du"saut au vide" est prévisible et peut être anticipé ou est négligeable dans le bilan.

Le comportement des OUS s'est avéré conforme à ces prévisions; le "saut au vide" est de l'ordre de 3 10-9 et la dérive journaliére se réduit à quelques 10-11 dans les quelque jours suivant le passage au vide.

4.34 Datation

. erreur court terme:

La spécification de 10 µs (1 sigma) est tenue en présence ou non de brouillage et pour une élevation supérieure à 17°.

. erreur moyen terme

A la mesure DOPPLER est associée un modéle de correction totalement déterministe lié au principe du synchrobit.(voir §4.4). Les erreurs residuelles pour toutes les causes identifiables lors de la conception (nonlinéarités , etc) furent bien contenues dans les limites de la spécification de 5µs pour la variation cc sur la passage. Ceci reposait uniquement sur une analyse théorique trés fine des differents causes et effets qui incluait la sensibilité thermique mais pas l'effet du niveau du signal.

La recette n'a pas permis d'analyser comme il se devait le comportement de la datation car son bon fonctionnement a longtemps buté sur des problémes logiciels. Il a été possible de noter une sensibilité thermique plus importante que prévue sans toutefois que cela ait, compte tenu du faible gradient à considerer sur le passage, un impact sur la performance moyen terme. D'autre part le couplage orbital des variations thermiques n' a pas d'effet dangereux pour cette fonction.

Ce n'est qu'en essai satellite qu'une sensibilité parfaitement anormale aux variations de niveaux a pu être identifiée, le besoin d'analyse plus fine a conduit au démontage du MVR. IL semble aujourd'hui qu'il faille s'attendre à un modéle de correction supplémentaire qui de plus n'empêchera pas un certain débordement de la spécification.

.Erreur long terme:

La spécification fixe les limites d'une évolution lente de la datation à 100µs . La part de la thermique (passage du cas froid de début de vie au cas chaud de fin de vie) a pu être mesuré au niveau de 20µs, ce qui laisse une marge confortable pour le vieillissement naturel compte tenu de l'évaluation théorique qui en est faite.

4.4 CONSTANTES SYSTEMES ET MODELES DE CORRECTION

4.41 constantes systeme

Constante de la mesure:

positions des centres de phases.

Situées sur une même normale au plan de réference de l'antenne, elles sont definies par la hauteur par rapport à ce plan.

A bord:
2GHZ->355cm
400MHZ->160 cm

Au sol:
-> 510cm
-> 330 cm

•*Retards d'observation DOPPLER:*

Il s'agit des valeurs de τ correspondant à la représentation de la mesure faite au § 2.3.2

2GHZ-> 9µs +/- 1
400MHZ-> 25 µs+/- 1

•*Temps de transit bord sol τ_3*

Cette quantité qui sépare l'apparition de Si au niveau balise de l'instant daté par T3 à bord, déduction faite du trajet radioelectrique (voir § 2.3.4), a pour valeur : 907µs

On adopte ici une constante et on choisit de faire porter une correction sur la mesure de datation T3 pour tenir compte des influences du DOPPLER, du niveau, et de la température.(voir ci dessous).

•*constantes de séquencement (voir § 2.1.2)*

phasage bord -sol: $\delta = 0$

Position et durée du créneau de comptage.

-> A=0,85 sec, B= 0,15sec, durée = 9sec

Consigne de correction automatique sur la balise maitre (voir §2.1.1):

-> la mesure T3 doit être asservie sur la valeur: 2780907 µs
soit 2781ms.

4.4.2 Modèles de correction

correction sur la datation T3

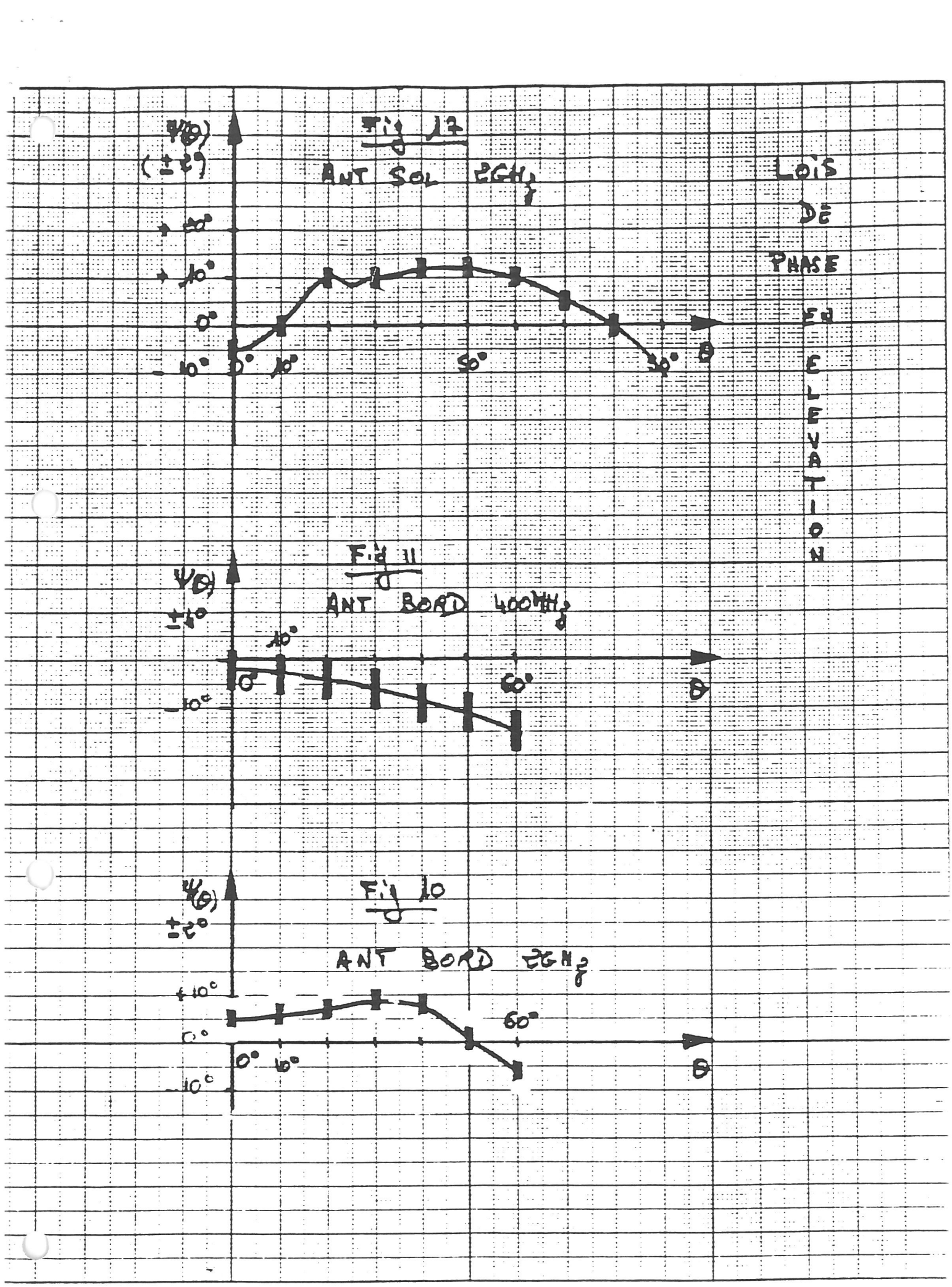
La seule correction identifiée aujourd'hui porte la compensation des erreurs de trainage DOPPLER du synchrobit. L'analyse des problèmes en cours (§ 4.3) devrait conduire à un autre modèle de correction en niveau signal.

T3 corrigee =T3 mesuree + a * v/c (en secondes)

avec : v = vitesse d'éloignement du satellite (correspondant a l'instant date avec une precision de 170m/S)
c= vitesse de la lumiere
a = 0,173

reponse en phase des antennes:

la reponse théorique prévoit une constance en élevation et une loi linéaire 1°/° en azimuth. L'azimuth est compté en regardant dans la direction de l'axe Z (verticale géocentrique centripète à bord, centrifuge au sol) de maniére positive dans le sens trigonométrique. Une augmentation d'azimuth déphase le signal (retard de phase <=>


Fig 12
ANT SOL 2GHz
LOIS DE PHASE
Ψ(θ)
(±2°)
+20°
+10°
0°
-10°
10°
30°
50°
θ
ELEVATION
Fig 11
ANT BORD 400MHz
Ψ(θ)
±4°
10°
0°
60°
-10°
θ
Fig 10
ANT BORD 2GHz
Ψ(θ)
±2°
+10°
0°
-10°
0°
10°
60°
θ

augmentation de trajet). On peut remarquer que les évolutions des azimuth bord et sol sur un passages se retranchent en grande partie.

La constance en élevation n'est respectée que pour l'antenne sol 400 MHz, aussi la planche ci-jointe indique les lois effectives (loi fonction de l'écart géocentrique)

• *réponse des mesures CAG en mode mesure:*

la mesure de niveau Ne du signal balise s'obtient à partir de la tension CAG receuillie par la télémesure par la formule suivante:

Ne=No + a * VCAG

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de No et a pour une température de 30°c, on trouve aussi les corrections que l'on doit appliquer à ces valeurs pour d'autres température si l'on veut rester dans une précision de l'ordre du dB.

	2 GHz	400 MHz
No	- 158,0 dBm	- 152,6 dBm
$\frac{\delta N'o}{\delta T}$	+ 0,15 dB / °C	+ 0,09 dB / °C
a	13,6 dB / V	14,5 dB / V
$\frac{\delta a'}{\delta T}$	- 8,1.10-3 dB/V /°C	- 9,4.10-3 dB/V / °C
plage de mesure	- 140 à - 95 dBm	- 140 à - 85 dBm
résolution	0,54 dB / LSB	0,58 dB / LSB

• *Réponse des CAG en mode brouillage:*

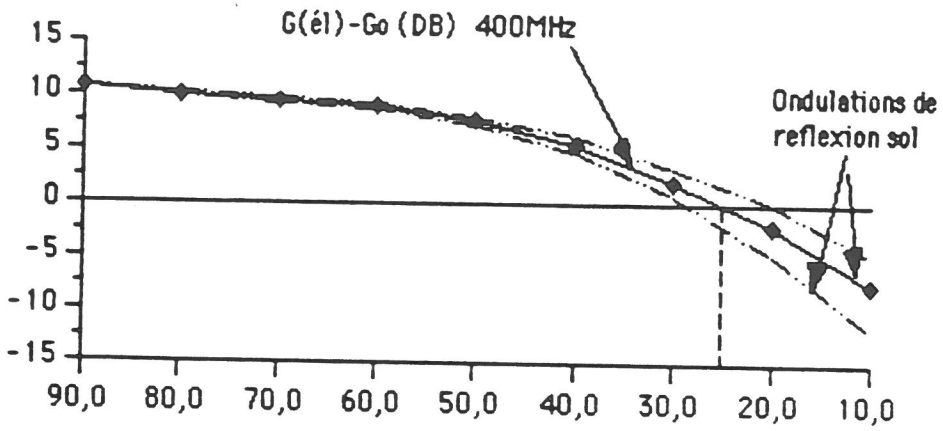
La mesure se faisant dans ce mode de manière un peu différente (détection non-cohérente), les caractéritiques sont donc légerement différentes.En présence de bruit seul c'est à dire en l'absence d'indication

d'accrochage dans le bloc telemesuré, le niveau calculé doit être minoré de 1dB.

	2 GHz	400 MHz
No	- 156,8 dBm	- 151,1 dBm
$\frac{\delta N'o}{\delta T}$	+ 0,23 dB / °C	+ 0,19 dB / °C
a	13,6 dB / V	14,5 dB / V

ANTENNES 400MHz

figure 2



			(spécif.)		(écart):	
Go=G(él=25°) (dB)	-2,3		-3,0		dGo=	0,7
Gmax/G0 (dB)	7,5		6,0		dGmax=	1,5

pertes

		2GHZ	(spécif.)		400MHZ	(spécif.)
perte bord (dB)	-1,8		-2,5	-4,9		-2,5
perte d'ellipticité (...	-1,0		-0,5	-2,5		-1,0

l'émission balise

		2GHZ			400MHZ	
EMISSION			(specif.)			(specif)
Puissance nom. (W)	11,0		10,0	6,0		5,0
Puissance nom. (dB)	10,4		10,0	7,8		7,0
retrait puissance(dB)	-0,6	(Puiss-)		-0,8	(Puiss.-)	
surplus puissance(d...	1,3	(Puiss+)		0,7	(Puiss+)	
perte moy. dB (10m)	-1,5			-1,0		
retrait perte dB(5m)	-0,5	(Pert.-)		-0,5	(Pert.-)	
surpl. perte dB(15m)	0,5	(pert.+)		0,5	(pert.+)	

4.5 EVALUATION DU CAS TOPEX

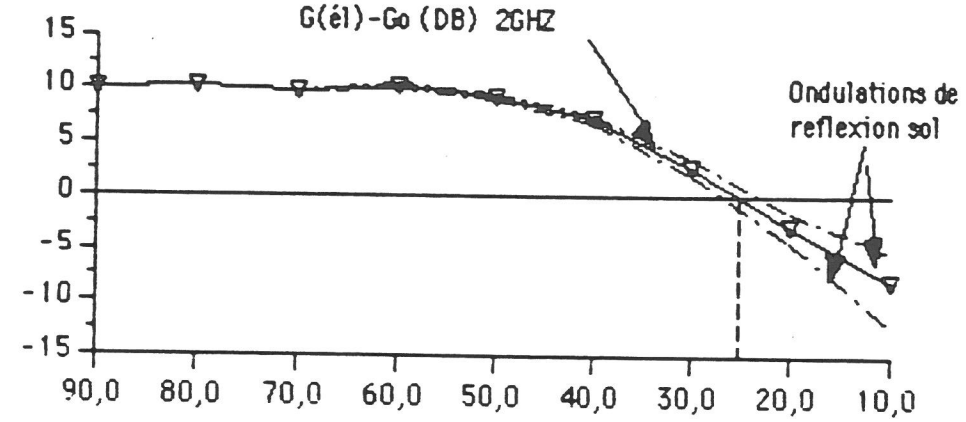
Les pages qui suivent reconduisent dans le cas TOPEX les courbes et tableaux établis precedemment pour SPOT2.

4.5.1 Liaison radioelectrique

La perte d'espace à la verticale est 4 dB superieure. On reconduit les pertes en cable bord obtenues pour SPOT2, par contre il convient d'ajouter un supplement de perte à 400MHZ dû à l'introduction d'un filtre en-tête pour la protection vis à vis de TRANET. La valeur prèvisionnelle adoptèe est de 4dB.

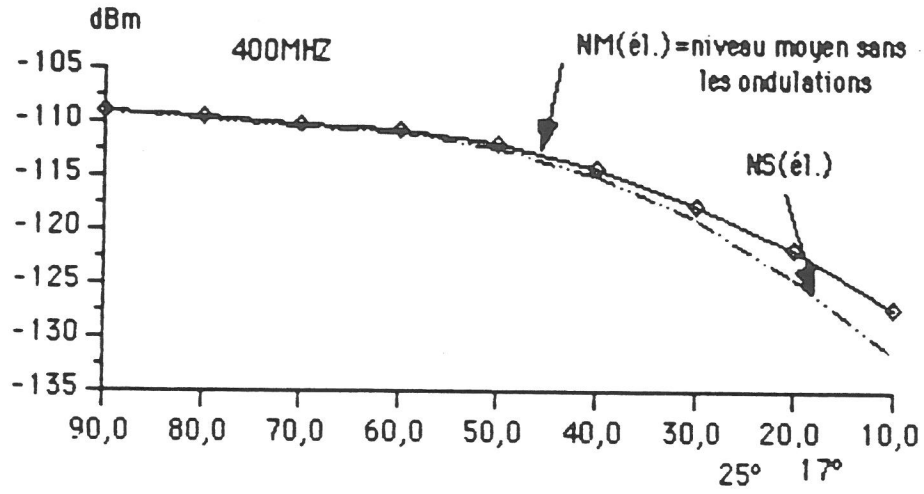
ANTENNES 2GHz

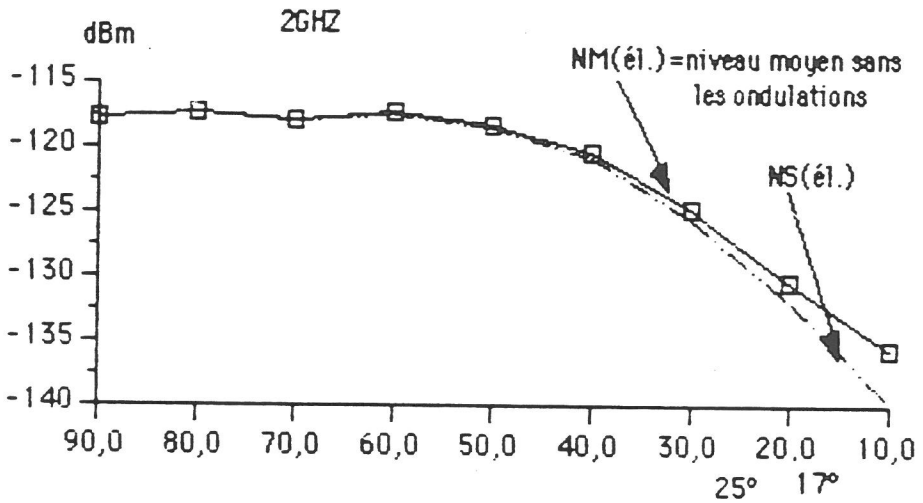
figure1



			(spécif.)	(écart):	
Go=G(él=25°) (dB)	-2,9		-3,0	dGo=	0,1
Gmax/G0 (dB)	7,8		6,0	dGmax=	1,8
Gmax(>56°)/G0(dB)	3,3		2,0	dGh=	1,3

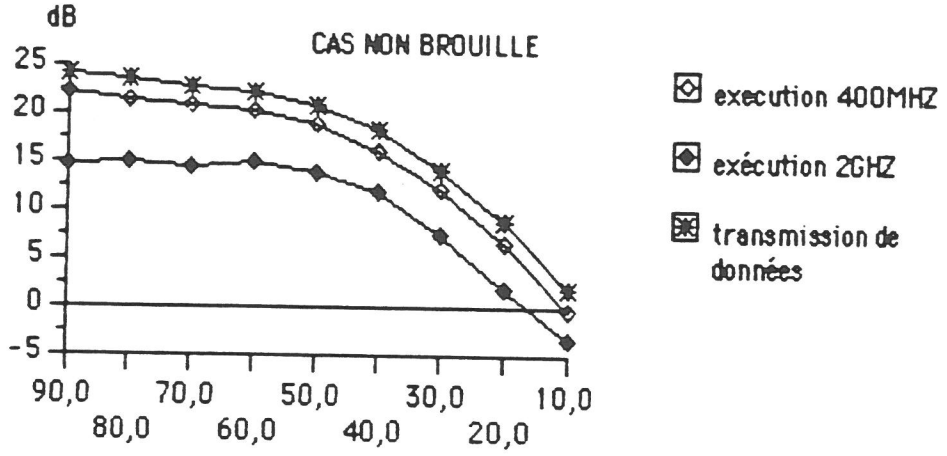
niveaux de reception MVR

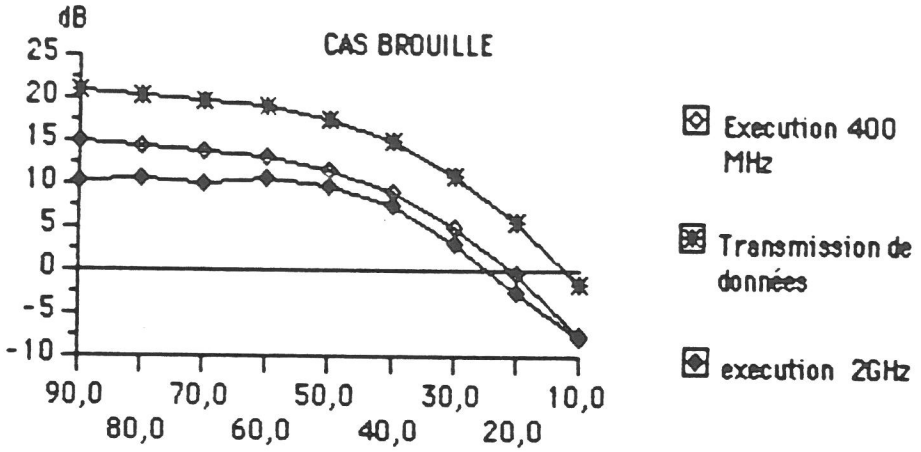




4.5.2 Performances d'execution et de transmission de données

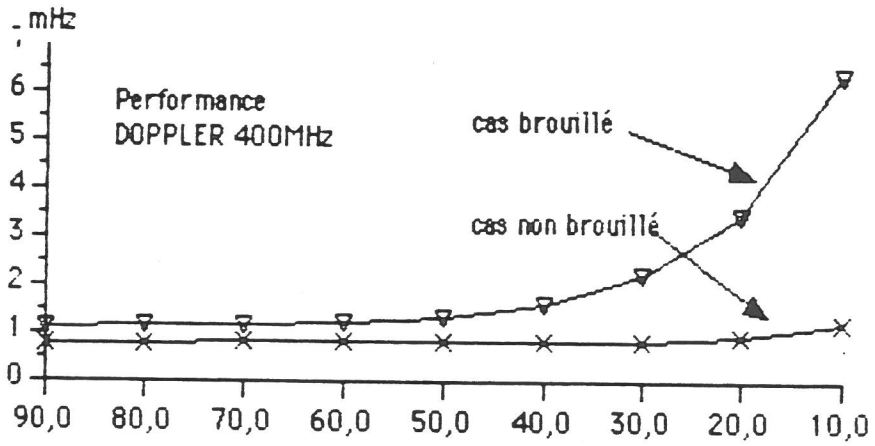
C'est dans ce domaine qu'apparait le plus nettement l'impact de l'augmentation de perte d'espace, le seuil varie de 17° à 25 ° suivant les conditions de brouillage.

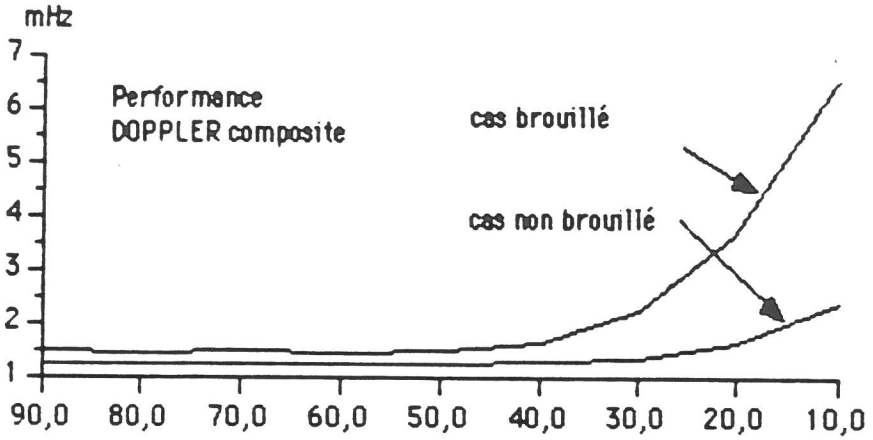




4.5.3 Performances de la mesure
DOPPLER court terme(variance de PICIMBONO)

Pour le passage au cas TOPEX la compréhension du tableau de calcul necessite quelques explications particuliérement dans les "cas brouillé". La ligne 59 introduit l'effet des brouilleurs agissant directement dans la bande DORIS, sur TOPEX leur flux en reception est 1dB plus faible pour un signal dont le flux reçu au zenith est 4 dB plus faible. La ligne 60 introduit l'effet des brouilleurs hors-bande ramenés dans la bande par les intermodulations, les brouilleurs sont reçus avec 4 dB de moins comme le signal au zenith, la formule de prise en compte est inchangée par rapport à SPOT2.





DOPPLER moyen terme

inchangé, aux phènomenes thermiques prés eventuellement diffèrents sur TOPEX

Long terme doppler

inchangé

Datation

inchangé

4.6 RAPPEL DES PROBLEMES EN COURS

OUS bord: sensibilité au magnétisme , recherche de blindage
sensibilité thermique et couplage orbital

datation bord: caractérisation des sensibilités en niveau et température

(A suivre)

BILAN DORIS/SPOT2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Ray. terr. R (km)	6378,4									
2	Alt.Orb. H (km)	832,0									
3	Frequence (GHz)	2,0									
4	Longueur d'onde (m...	147,3									
5											
6	EMISSION			(specif.)		(écart)					
7	Puissance nom. (W)	11,0		10,0							
8	Puissance nom. (dB)	10,4		10,0		dPe(dB)=	0,4				
9	retrait puissance(dB)	-0,6	(Puiss-)								
10	surplus puissance(d...	1,3	(Puiss+)								
11	perte moy. dB (10m)	-1,5									
12	retrait perte dB(5m)	-0,5	(Pert.-)								
13	surpl. perte dB(15m)	0,5	(pert.+)								
14											
15	ANTENNES/LIAISON			(spécif.)		(écart):					
16	perte bord (dB)	-1,8		-2,5		dPb=	0,7				
17	perte d'ellipticité (...	-1,0		-0,5		dPx=	-0,5				
18											
19	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0	
20	Théta Bord (°)	0,0	8,8	17,6	26,3	34,7	42,7	50,0	56,2	60,6	
21	Ecart Géoc. G (°)	0,0	1,2	2,4	3,7	5,3	7,3	10,0	13,8	19,4	
22	Distance D (km)	832	843	879	943	1045	1202	1445	1827	2433	
23	Att.esp. A (dB)	-157,0	-157,1	-157,5	-158,1	-159,0	-160,2	-161,8	-163,9	-166,3	
24	Dyn.Att.Esp. DA (dB)	0,0	-0,1	-0,5	-1,1	-2,0	-3,2	-4,8	-6,8	-9,3	
25	Gain Bord B (dB)	4,9	4,9	5,3	4,4	3,6	2,4	0,6	0,2	-1,0	
26	Gain Sol S (dB)	2,1	2,6	2,0	4,0	4,4	4,6	2,7	-0,1	-3,3	
27	bilan B + S (...	7,0	7,5	7,3	8,4	8,0	7,0	3,3	0,1	-4,3	
28	G(él.) : B+S+DA(dB)	7,0	7,4	6,8	7,3	6,0	3,8	-1,5	-6,7	-13,6	
29				(spécif.)		(écart):					
30	Go=G(él=25°) (dB)	-4,1		-3,0		dGo=	-1,1				
31	Gmax/G0 (dB)	9,8		6,0		dGmax=	3,8				
32	Gmax(>61,5)/G0(dB)	3,1		2,0		dGh=	1,1				
33											
34	G(él.)-G0 (dB)	11,1	11,5	10,9	11,4	10,1	7,9	2,6	-2,6	-9,5	
35	rap. AV/AR ant. sol...	20,0	22,0	20,5	20,5	19,0	17,0	14,5	10,0	4,0	
36	coef reflex.sol	0,001	0,055	0,110	0,180	0,260	0,350	0,420	0,500	0,600	
37	Ondulat.gain/S(ond+)	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	1,3	2,8	
38	Ondulat.gain/S (ond-)	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,4	-0,7	-1,5	-4,1	
39	G(él.)-G0+ (ond-)	11,1	11,5	10,8	11,3	9,9	7,5	1,9	-4,1	-13,6	
40	G(él.)-G0+ (ond+)	11,1	11,5	11,0	11,6	10,4	8,3	3,3	-1,3	-6,7	
41											
42	RECEPTION ET PERFORMANCE INSTRUMENT										
43				cas recette			cas reel				
44	NR (niveau balise nominal obtenu avec perte sol nominale et puissance nominale et correspondant à él.=25°)										
45	————— x(dBm)			-124,3 (=NR spec.)			-124,8 (=NRspec+dPe+dGo+dPx+dPb)				

C1 A à J -> 2GHz, C1 L à U -> 400Mhz

BILAN DORIS/SPOT2

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Ray.terr. R (km)	6378,4								
2	Alt.Orb. H (km)	832,0								
3	Frequence (GHz)	0,4								
4	Longueur d'onde (mm)	750,0								
5										
6	EMISSION			(specif)		(écart)				
7	Puissance nom. (W)	6,0		5,0						
8	Puissance nom. (dB)	7,8		7,0		dPe(dB)=	0,8			
9	retrait puissance(dB)	-0,8	(Puiss.-)							
10	surplus puissance(dB)	0,7	(Puiss+)							
11	perte moy. dB (10m)	-1,0								
12	retrait perte dB(5m)	-0,5	(Pert.-)							
13	surpl. perte dB(15m)	0,5	(pert.+)							
14										
15	ANTENNES/LIAISON			(spécif.)		(écart):				
16	perte bord (dB)	-0,9		-2,5		dPb=	1,6			
17	perte d'ellipticité (dB)	-2,5		-1,0		dPx=	-1,5			
18										
19	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0
20	Théta Bord (°)	0,0	8,8	17,6	26,3	34,7	42,7	50,0	56,2	60,6
21	Ecart Géoc. G (°)	0,0	1,2	2,4	3,7	5,3	7,3	10,0	13,8	19,4
22	Distance D (km)	832	843	879	943	1045	1202	1445	1827	2433
23	Att.esp. A (dB)	-157,0	-157,1	-157,5	-158,1	-159,0	-160,2	-161,8	-163,9	-166,3
24	Dyn.Att.Esp. DA (dB)	0,0	-0,1	-0,5	-1,1	-2,0	-3,2	-4,8	-6,8	-9,3
25	Gain Bord B (dB)	5,2	4,4	3,7	3,2	2,5	1,7	1,1	0,7	0,1
26	Gain Sol S (dB)	3,2	3,5	4,0	4,4	4,6	4,2	2,7	0,6	-2,7
27	bilan B + S (dB)	8,4	7,9	7,7	7,6	7,1	5,9	3,8	1,3	-2,6
28	G(él.): B+S+DA(dB)	8,4	7,8	7,2	6,5	5,1	2,7	-1,0	-5,5	-11,9
29				(spécif.)		(écart):				
30	Go=G(él=25°) (dB)	-3,3		-3,0		dGo=	-0,3			
31	Gmax/G0 (dB)	8,5		6,0		dGmax=	2,5			
32										
33										
34	G(él.)-G0 (dB)	11,7	11,0	10,5	9,8	8,4	6,0	2,3	-2,3	-8,7
35	rap. AV/AR ant. sol	7,0	8,0	11,0	15,5	14,5	11,5	9,0	5,5	4,0
36	coef reflex.sol	0,001	0,055	0,110	0,180	0,260	0,350	0,420	0,500	0,600
37	Ondulat.gain/S(ond+)	0,0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,8	1,2	2,0	2,8
38	Ondulat.gain/S (ond-)	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,8	-1,4	-2,7	-4,1
39	G(él.)-G0+ (ond-)	11,7	10,9	10,2	9,5	7,9	5,1	0,9	-4,9	-12,8
40	G(él.)-G0+ (ond+)	11,7	11,2	10,8	10,0	8,8	6,7	3,5	-0,2	-5,9
41										
42	RECEPTION ET PERFORMANCE INSTRUMENT									
43				cas recette			cas reel			
44	NR (niveau balise nominal obtenu avec perte sol nominale et puissance nominale et correspondant à él.=25°)									
45	————>(dBm)			-113,3 (=NR spec.)			-112,7 (=NRspec+dPe+dGo+dPx+dPb)			

C) A à J -> 2GHz, C) L à U -> 400MHz

BILAN DORIS/SPOT2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
46	NBmoy = NR			-124,3			-124,8				
47	NBmax=NR+(Puiss+)-(Perte-)						-122,5				
48	NBmin=NR-(Perte+)+(Puiss-)						-125,4				
49	niveau bruit thermique No (dBm/Hz):			-170,0			idem				
50	niveau bruit de brouillage Nox (dBm/Hz)			-163,5	(=NRspec.-39,2)		-162,8	(=NRspec-39,2+dPb+dGo+dGh)			
51	niveau de bruit total (dbm/Hz):			-162,6			-162,0				
52											
53	performance DOPPLER(mHz)										
54	niveau signal:			-124,3	(=NR spec)		voir NM ci dessous				
55	. mHz part interne OUS(3 10-13) (1)			0,60			idem				
56	. part interne (VCO,quantif..) (2)			0,57			idem				
57	. part interne(quantif.) (3)			0,67			idem				
58	. part thermique (4)			0,56			*10 puiss(-(NM-NR spec)/10)				
59	. part brouillage en bande (5)			1,37			*10 puiss((-dPe-dPx+dGh-(G(él.)-Go))/10)				
60	. part brouillage hors bande (6)			0,43			*10 puiss((-dPe-dPx-(G(él.)-Go)+2*dGmax)/10)				
61	. total bord non brouillé(1+2+3+4)			1,20	(specif=1,95)						
62	. total bord brouillé(1+2+3+4+5+6)			1,87	(spécif.=2,35)						
63	. total balise(OUS moyen 310-13) (7)			0,6	(spec-> 5 10-13)		idem				
64	. total non brouillé(1+2+3+4+6+7)						voir ci dessous				
65	. total brouillé(1+2+3+4+5+6+7						voir ci dessous				
66	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0	
67	NM=NBmoy+(G(él.)-Go)=niveau signal sans ondulation										
68	------>(dBm)	-113,7	-113,3	-113,9	-113,4	-114,7	-116,9	-122,2	-127,4	-134,3	
69	perf. DOPPLER(mHz)										
70	brouillé--->	1,34	1,33	1,34	1,33	1,37	1,46	1,91	2,94	6,02	
71	non brouillé----->	1,23	1,23	1,23	1,23	1,24	1,25	1,30	1,46	2,15	
72											
73	performance d'EXECUTION:										
74		cas recette					cas reel				
75	niveau signal	-128,8	(=NRspec-4,5=NMspec(él.=17°)				NM(él.) voir ci dessus				
76	perfo. cas non broui...	(Pbr=9.5, Δv=70m/s)									
77	S/NO (SN) (dB/...	41,2	(SNrec)				SN(él.)=NM(él.)-bruit therm.				
78	marge (MG) (dB)	3,5	(MGrec)				MG(él.)=SN(él.)-SNrec+MGrec				
79	perfo.cas brouillé (Pbr=9, Δv=50m/s)										
80	S/(No+Nox) (SNX)	33,8	(SNXrec)				SNX(él)=NM(é.)-(No+NX)				
81	marge (MGX) (dB)	0,0	(MGXrec)				MGX(él.)=SNX(él.)-SNXrec+MGXrec				
82	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0	
83	. SN(él.)	56,3	56,7	56,1	56,6	55,3	53,1	47,8	42,6	35,7	
84	. MG(él.)	18,6	19,0	18,4	18,9	17,6	15,4	10,1	4,9	-2,0	
85	. SNX(él.)	48,4	48,7	48,2	48,7	47,4	45,2	39,9	34,6	27,7	
86	. MGX(él.)	14,5	14,9	14,4	14,9	13,6	11,3	6,0	0,8	-6,1	
87	NS=NBmoy+(G(él.)-Go)+(ond-)=niveau signal min avec ondulation										
88	(dBm)------->	-113,7	-113,3	-114,0	-113,5	-114,9	-117,3	-122,9	-128,9	-138,4	
89											
90											

C1 A à J -> 2GHz, C1 L à U -> 400Mhz

BILAN DORIS/SPOT2

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
46	NBmoy = NR			-113,3			-112,7			
47	NBmax=NR+(Puiss+)-(Perte-)						-112,1			
48	NBmin=NR-(Perte+)+(Puiss-)						-114,6			
49	niveau bruit thermique No (dBm/Hz):			-169,0	(F=5dB)		idem			
50	niveau bruit de brouillage Nox (dBm/Hz)			-164,0	(=NRspec.-50,7)		-160,2	(=NRspec-50,7+dPb+dGo+dGmax)		
51	niveau de bruit total (dbm/Hz):			-162,8			-159,6			
52										
53	performance DOPPLER(mHz)									
54	niveau signal:			-113,3	(=NR spec)		voir NM ci dessous			
55	. mHz part interne OUS(3 10-13) (1)			0,12			idem			
56	. part interne (VCO,.) (2)			0,57			idem			
57	. part interne(quantif.) (3)			0,53			idem			
58	. part thermique (4)			0,18			*10 puiss(-(NM-NR spec)/10)			
59	. part brouillage en bande (5)			1,65			*10 puiss((-dPe-dPx+dGmax-(G(él.)-Go))/10			
60	. part brouillage hors bande (6)			0,97			*10 puiss((-dPe-dPx-(G(él.)-Go)+2*dGmax)/			
61	. total bord non brouillé(1+2+3+4)			0,81	(specif=2)					
62	. total bord brouillé(1+2+3+4+5+6)			2,08	(spécif.=4)					
63	. total balise(OUS moyen 310-13) (7)			0,12	(spec-> 5 10-13)		idem			
64	. total non brouillé(1+2+3+4+6+7)						voir ci dessous			
65	. total brouillé(1+2+3+4+5+6+7						voir ci dessous			
66	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0
67	NM=NBmoy+(G(él.)-Go)=niveau signal sans ondulation									
68	——>(dBm)	-101,0	-101,6	-102,2	-102,9	-104,3	-106,7	-110,4	-114,9	-121,3
69	perf. DOPPLER(mHz)									
70	brouillé——>	1,12	1,17	1,21	1,27	1,41	1,72	2,47	4,02	8,25
71	non brouillé——>	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,90	0,81	0,83	0,92
72										
73	performance d'EXECUTION:									
74		cas recette					cas reel			
75	niveau signal	-121,3	(=NRspec-4,5-3,5=NSspec(él.=17°)				NS(él.) voir ci dessous			
76	perfo. cas non brouillé	(Pbr=9.5, Δv=70m/s)								
77	S/NO (SN) (dB/Hz)	47,7	(SNrec)				SN(él.)=NS(él.)-bruit therm.			
78	marge (MG) (dB)	10,0	(MGrec)				MG(él.)=SN(él.)-SNrec+MGrec			
79	perfo.cas brouillé (Pbr=9, Δv=70m/s)									
80	S/(No+Nox) (SNX)	41,5	(SNXrec)				SNX(él)=NS(él.)-(No+NX)			
81	marge (MGX) (dB)	0,0	(MGXrec)				MGX(él.)=SNX(él.)-SNXrec+MGXrec			
82	NS=NBmoy+(G(él.)-Go)+(ond-)=niveau signal min avec ondulation									
83	(dBm)——————>	-101,0	-101,8	-102,5	-103,2	-104,7	-107,6	-111,8	-117,6	-125,5
84	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0
85	. SN(él.)	68,0	67,2	66,5	65,8	64,3	61,4	57,2	51,4	43,5
86	. MG(él.)	30,3	29,5	28,8	28,1	26,6	23,7	19,5	13,7	5,8
87	. SNX(él.)	58,6	57,8	57,2	56,5	54,9	52,1	47,8	42,0	34,2
88	. MGX(él.)	17,1	16,3	15,7	15,0	13,4	10,6	6,3	0,5	-7,3
89										
90	Performance de TRANSMISSION DE DONNEES									

C1 A à J -> 2GHz, C1 L à U -> 400Mhz

BILAN DORIS/SPOT2

	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
46											
47											
48											
49											
50											
51											
52											
53											
54											
55											
56											
57											
58											
59	)										
60	10)										
61											
62											
63											
64											
65											
66											
67											
68											
69											
70											
71											
72											
73											
74											
75											
76											
77											
78											
79											
80											
81											
82											
83											
84											
85											
86											
87											
88											
89											
90											

C1 A à J -> 2GHz, C1 L à U -> 400Mhz

BILAN DORIS/SPOT2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
91											
92											
93											
94											
95											
96											
97											
98											
99											
100											
101			2GHZ				400MHZ				
102	EMISSION			(specif.)				(specif)			
103	Puissance nom. (W)	11,0		10,0		6,0		5,0			
104	Puissance nom. (dB)	10,4		10,0		7,8		7,0			
105	retrait puissance(dB)	-0,6	(Puiss-)			-0,8	(Puiss.-)				
106	surplus puissance(d...	1,3	(Puiss+)			0,7	(Puiss+)				
107	perte moy. dB (10m)	-1,5				-1,0					
108	retrait perte dB(5m)	-0,5	(Pert.-)			-0,5	(Pert.-)				
109	surpl. perte dB(15m)	0,5	(pert.+)			0,5	(pert.+)				
110											
111			2GHZ	(spécif.)			400MHZ	(spécif.)			
112	perte bord (dB)	-1,8		-2,5		-0,9		-2,5			
113	perte d'ellipticité (...	-1,0		-0,5		-2,5		-1,0			
114											
115	Performance DOPPLER composite										
116	cas non brouillé—>	1,24	1,24	1,24	1,24	1,25	1,26	1,31	1,47	2,16	
117	cas brouillé—>	1,36	1,35	1,37	1,36	1,40	1,50	1,97	3,04	6,24	

C1 A à J -> 2GHz, C1 L à U -> 400Mhz

BILAN DORIS/SPOT2

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
91	les niveaux de signal et bruit à considérer sont les mêmes que pour l'exécution (cas recette et cas réel)									
92	les marges pour cette fonction sont différentes :									
93	Marge (MG)	12,0								
94	Marge (MGX)	6,0								
95	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0
96	MG(él.)	32,3	31,5	30,8	30,1	28,6	25,7	21,5	15,7	7,8
97	MGX(él.)(dB)	23,1	22,3	21,7	21,0	19,4	16,6	12,3	6,5	-1,3
98										
99										
100										
101										
102										
103										
104										
105										
106										
107										
108										
109										
110										
111										
112										
113										
114										
115										
116										
117										

C1 A à J -> 2GHz, C1 L à U -> 400Mhz

BILAN DORIS/TOPEX

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Ray.terr. R (km)	6378,4									
2	Alt.Orb. H (km)	1332,0									
3	Frequence (GHz)	2,0									
4	Longueur d'onde (m...	147,3									
5											
6	EMISSION			(specif.)		(écart)					
7	Puissance nom. (W)	11,0		10,0							
8	Puissance nom. (dB)	10,4		10,0		dPe(dB)=	0,4				
9	retrait puissance(dB)	-0,6	(Puiss-)								
10	surplus puissance(d...	1,3	(Puiss+)								
11	perte moy. dB (10m)	-1,5									
12	retrait perte dB(5m)	-0,5	(Pert.-)								
13	surpl. perte dB(15m)	0,5	(pert.+)								
14											
15	ANTENNES/LIAISON			(spécif.)		(écart):					
16	perte bord (dB)	-1,8		-2,5		dPb=	0,7				
17	perte d'ellipticité (...	-1,0		-0,5		dPx=	-0,5				
18											
19	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0	
20	Théta Bord (°)	0,0	8,3	16,4	24,4	32,1	39,3	45,8	51,0	54,6	
21	Ecart Géoc. G (°)	0,0	1,7	3,6	5,6	7,9	10,7	14,2	19,0	25,4	
22	Distance D (km)	1332	1349	1402	1496	1644	1865	2190	2669	3364	
23	Att.esp. A (dB)	-161,1	-161,2	-161,5	-162,1	-162,9	-164,0	-165,4	-167,1	-169,2	
24	Dyn.Att.Esp. DA (dB)	0,0	-0,1	-0,4	-1,0	-1,8	-2,9	-4,3	-6,0	-8,0	
25	Gain Bord B (dB)	4,9	4,9	5,3	4,4	3,8	2,6	1,5	0,5	0,4	
26	Gain Sol S (dB)	2,1	2,6	2,0	4,0	4,4	4,6	2,7	-0,1	-3,3	
27	bilan B + S (...	7,0	7,5	7,3	8,4	8,2	7,2	4,2	0,4	-2,9	
28	G(él.): B+S+DA(dB)	7,0	7,4	6,9	7,4	6,4	4,3	-0,1	-5,6	-10,9	
29				(spécif.)		(écart):					
30	Go=G(él=25°) (dB)	-2,9		-3,0		dGo=	0,1				
31	Gmax/GO (dB)	7,8		6,0		dGmax=	1,8				
32	Gmax(>56°)/GO(dB)	3,3		2,0		dGh=	1,3				
33											
34	G(él.)-GO (dB)	9,9	10,3	9,7	10,3	9,3	7,2	2,8	-2,8	-8,1	
35	rap. AV/AR ant. sol...	20,0	22,0	20,5	20,5	19,0	17,0	14,5	10,0	4,0	
36	coef reflex.sol	0,001	0,055	0,110	0,180	0,260	0,350	0,420	0,500	0,600	
37	Ondulat.gain/S(ond+)	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	1,3	2,8	
38	Ondulat.gain/S (ond-)	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,4	-0,7	-1,5	-4,1	
39	G(él.)-GO+ (ond-)	9,9	10,2	9,6	10,1	9,0	6,7	2,1	-4,3	-12,2	
40	G(él.)-GO+ (ond+)	9,9	10,3	9,8	10,4	9,5	7,6	3,4	-1,5	-5,3	
41											
42	RECEPTION ET PERFORMANCE INSTRUMENT										
43				cas recette SPOT2			cas reel TOPEX				
44	NR (niveau balise nominal obtenu avec perte sol nominale et puissance nominale et correspondant à él.=25°)										
45	————>(dBm)			-124,3 (=NR spec.)			-127,6 (NRspec-4+dPe+dGo+dPx+dPb)				

C1 A à J -> 2GHz, C1 L à U -> 400Mhz

BILAN DORIS/TOPEX

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Ray.terr. R (km)	6378,4								
2	Alt.Orb. H (km)	1332,0								
3	Frequence (GHz)	0,4								
4	Longueur d'onde (mm)	750,0								
5										
6	EMISSION			(specif)		(écart)				
7	Puissance nom. (W)	6,0		5,0						
8	Puissance nom. (dB)	7,8		7,0		dPe(dB)=	0,8			
9	retrait puissance(dB)	-0,8	(Puiss.-)							
10	surplus puissance(dB)	0,7	(Puiss+)							
11	perte moy. dB (10m)	-1,0								
12	retrait perte dB(5m)	-0,5	(Pert.-)							
13	surpl. perte dB(15m)	0,5	(pert.+)							
14										
15	ANTENNES/LIAISON			(spécif.)		(écart):				
16	perte bord (dB)	-4,9		-2,5		dPb=	-2,4			
17	perte d'ellipticité (dB)	-2,5		-1,0		dPx=	-1,5			
18										
19	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0
20	Théta Bord (°)	0,0	8,3	16,4	24,4	32,1	39,3	45,8	51,0	54,6
21	Ecart Géoc. G (°)	0,0	1,7	3,6	5,6	7,9	10,7	14,2	19,0	25,4
22	Distance D (km)	1332	1349	1402	1496	1644	1865	2190	2669	3364
23	Att.esp. A (dB)	-161,1	-161,2	-161,5	-162,1	-162,9	-164,0	-165,4	-167,1	-169,2
24	Dyn.Att.Esp. DA (dB)	0,0	-0,1	-0,4	-1,0	-1,8	-2,9	-4,3	-6,0	-8,0
25	Gain Bord B (dB)	5,2	4,4	3,7	3,3	2,6	1,9	1,4	1,0	0,8
26	Gain Sol S (dB)	3,2	3,5	4,0	4,4	4,6	4,2	2,7	0,6	-2,7
27	bilan B + S (dB)	8,4	7,9	7,7	7,7	7,2	6,1	4,1	1,6	-1,9
28	G(él.): B+S+DA(dB)	8,4	7,8	7,3	6,7	5,4	3,2	-0,2	-4,4	-9,9
29				(spécif.)		(écart):				
30	Go=G(él=25°) (dB)	-2,3		-3,0		dGo=	0,7			
31	Gmax/G0 (dB)	7,5		6,0		dGmax=	1,5			
32										
33										
34	G(él.)-G0 (dB)	10,7	10,1	9,6	9,0	7,7	5,5	2,1	-2,1	-7,6
35	rap. AV/AR ant. sol....	7,0	8,0	11,0	15,5	14,5	11,5	9,0	5,5	4,0
36	coef reflex.sol	0,001	0,055	0,110	0,180	0,260	0,350	0,420	0,500	0,600
37	Ondulat.gain/S(ond+)	0,0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,8	1,2	2,0	2,8
38	Ondulat.gain/S (ond-)	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,8	-1,4	-2,7	-4,1
39	G(él.)-G0+ (ond-)	10,7	9,9	9,3	8,8	7,3	4,7	0,7	-4,8	-11,8
40	G(él.)-G0+ (ond+)	10,7	10,3	9,9	9,3	8,1	6,3	3,3	-0,1	-4,8
41										
42	RECEPTION ET PERFORMANCE INSTRUMENT									
43				cas recette SPOT2			cas reel TOPEX			
44	NR (niveau balise nominal obtenu avec perte sol nominale et puissance nominale et correspondant à él.=25°)									
45	————>(dBm)			-113,3 (=NR spec.)			-119,7 (=NR spec-4dB+dPe+dGo+dPx+dPb)			

C1 A à J -> 2GHz, C1 L à U -> 400MHz

BILAN DORIS/TOPEX

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
46	NBmoy = NR			-124,3			-127,6				
47	NBmax=NR+(Puiss+)-(Perte-)						-125,7				
48	NBmin=NR-(Perte+)+(Puiss-)						-128,7				
49	niveau bruit thermique No (dBm/Hz):			-170,0	(F=3dB)		idem				
50	niveau bruit de brouillage Nox (dBm/Hz)			-163,5	(=NRspec.-39,2)		-162,4	(=NRspec-4-36,2+dPb+dGo+dGh)			
51	niveau de bruit total (dbm/Hz):			-162,6			-161,7				
52											
53	performance DOPPLER(mHz)										
54	niveau signal:			-124,3	(=NR spec)		voir NM1 ci dessous				
55	. mHz part interne OUS(3 10-13) (1)			0,60			idem				
56	. part interne (VCO,quantif..) (2)			0,57			idem				
57	. part interne(quantif.) (3)			0,67			idem				
58	. part thermique (4)			0,56			*10 puiss(-(NM1-NR spec)/10)				
59	. part brouillage en bande (5)			1,37			*10 puiss((-(dPe+dPx+(G(él.)-Go)-4)+(dGh-1))/10)				
60	. part brouillage hors bande (6)			0,43			*10 puiss((-dPe-dPx-(G(él.)-Go)+2*dGmax)/10)				
61	. total bord non brouillé(1+2+3+4)			1,20	(specif=1,95)						
62	. total bord brouillé(1+2+3+4+5+6)			1,87	(spécif.=2,35)						
63	. total balise(OUS moyen 310-13) (7)			0,6	(spec-> 5 10-13)		idem				
64	. total non brouillé(1+2+3+4+6+7)						voir ci dessous				
65	. total brouillé(1+2+3+4+5+6+7						voir ci dessous				
66	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0	
67	NM1=NBmoy+(G(él.)-Go)=niveau signal sans ondulation										
68	------>(dBm)	-117,7	-117,3	-117,8	-117,3	-118,3	-120,4	-124,8	-130,3	-135,6	
69	perf. DOPPLER(mHz)										
70	brouillé--->	1,46	1,44	1,47	1,44	1,50	1,64	2,19	3,64	6,44	
71	non brouillé----->	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,27	1,36	1,66	2,40	
72											
73	performance d'EXECUTION:										
74		cas recette					cas reel				
75	niveau signal	-128,8	(=NRspec-4,5=NMspec(él.=17°)				NM(él.) voir ci dessus				
76	perfo. cas non broui...	(Pbr=9.5, Δv=70m/s)									
77	S/N0 (SN) (dB/...	41,2	(SNrec)				SN(él.)=NM(él.)-bruit therm.				
78	marge (MG) (dB)	3,5	(MGrec)				MG(él.)=SN(él.)-SNrec+MGrec				
79	perfo.cas brouillé (Pbr=9, Δv=50m/s)										
80	S/(No+Nox) (SNX)	33,8	(SNXrec)				SNX(él)=NM(él.)-(No+NX)				
81	marge (MGX) (dB)	0,0	(MGXrec)				MGX(él.)=SNX(él.)-SNXrec+MGXrec				
82	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0	
83	SN(él.)	52,3	52,7	52,2	52,7	51,7	49,6	45,2	39,7	34,4	
84	MG(él.)	14,6	15,0	14,5	15,0	14,0	11,9	7,5	2,0	-3,2	
85	SNX(él.)	44,0	44,4	43,9	44,4	43,4	41,3	36,9	31,4	26,0	
86	MGX(él.)	10,2	10,6	10,0	10,6	9,5	7,5	3,1	-2,5	-7,8	
87	NS=NBmoy+(G(él.)-Go)+(ond-)=niveau signal min avec ondulation										
88	(dBm)-------->	-117,7	-117,3	-117,9	-117,4	-118,6	-120,8	-125,5	-131,8	-139,8	
89											
90											

C1 A à J -> 2GHz, C1 L à U -> 400Mhz

BILAN DORIS/TOPEX

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
46	NBmoy = NR			-113,3			-119,7			
47	NBmax=NR+(Puiss+)-(Perte-)						-118,6			
48	NBmin=NR-(Perte+)+(Puiss-)						-121,0			
49	niveau bruit thermique No (dBm/Hz):			-169,0	(F=5dB)		idem			
50	niveau bruit de brouillage Nox (dBm/Hz)			-164,0	(=NRspec.-50,7)		-168,2	(NRspec-4-50,7+dPb+dGo+dGmax)		
51	niveau de bruit total (dbm/Hz):			-162,8			-165,6			
52										
53	performance DOPPLER(mHz)									
54	niveau signal:			-113,3	(=NR spec)		voir NM ci dessous			
55	. mHz part interne OUS(3 10-13) (1)			0,12			idem			
56	. part interne (VCO,.) (2)			0,57			idem			
57	. part interne(quantif.) (3)			0,53			idem			
58	. part thermique (4)			0,18			*10 puiss(-(NM-NR spec)/10)			
59	. part brouillage en bande (5)			1,65			*10 puiss((-dPe-dPx+dGmax-(G(él.)-Go))/10)			
60	. part brouillage hors bande (6)			0,97			*10 puiss((-dPe-dPx-(G(él.)-Go)+2*dGmax)/10			
61	. total bord non brouillé(1+2+3+4)			0,81	(specif=2)					
62	. total bord brouillé(1+2+3+4+5+6)			2,08	(spécif.=4)					
63	. total balise(OUS moyen 310-13) (7)			0,12	(spec-> 5 10-13)		idem			
64	. total non brouillé(1+2+3+4+6+7)						voir ci dessous			
65	. total brouillé(1+2+3+4+5+6+7						voir ci dessous			
66	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0
67	NM=NBmoy+(G(él.)-Go)=niveau signal sans ondulation									
68	------>(dBm)	-109,0	-109,6	-110,2	-110,7	-112,0	-114,2	-117,6	-121,8	-127,4
69	perf. DOPPLER(mHz)									
70	brouillé--->	1,10	1,14	1,18	1,22	1,34	1,60	2,21	3,43	6,35
71	non brouillé----->	0,80	0,81	0,81	0,81	0,81	0,82	0,85	0,93	1,21
72										
73	performance d'EXECUTION:									
74		cas recette					cas reel			
75	niveau signal	-121,3	(=NRspec-4,5-3,5=NSspec(él.=17°)				NS(él.) voir ci dessous			
76	perfo. cas non brouillé	(Pbr=9.5, Δv=70m/s)								
77	S/NO (SN) (dB/Hz)	47,7	(SNrec)				SN(él.)=NS(él.)-bruit therm.			
78	marge (MG) (dB)	10,0	(MGrec)				MG(él.)=SN(él.)-SNrec+MGrec			
79	perfo.cas brouillé (Pbr=9, Δv=70m/s)									
80	S/(No+Nox) (SNX)	41,5	(SNXrec)				SNX(él)=NS(él.)-(No+NX)			
81	marge (MGX) (dB)	0,0	(MGXrec)				MGX(él.)=SNX(él.)-SNXrec+MGXrec			
82	NS=NBmoy+(G(él.)-Go)+(ond-)=niveau signal min avec ondulation									
83	(dBm)------->	-109,0	-109,8	-110,4	-111,0	-112,5	-115,1	-119,0	-124,5	-131,5
84	Elévation (°)	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0
85	. SN(él.)	60,0	59,2	58,6	58,0	56,5	53,9	50,0	44,5	37,5
86	. MG(él.)	22,3	21,5	20,9	20,3	18,8	16,2	12,3	6,8	-0,2
87	. SNX(él.)	56,6	55,8	55,2	54,6	53,1	50,5	46,6	41,1	34,1
88	. MGX(él.)	15,1	14,3	13,7	13,1	11,6	9,0	5,1	-0,4	-7,4
89										
90	Performance de TRANSMISSION DE DONNEES									

C1 A à J -> 2GHz, C1 L à U -> 400Mhz