RAPPORT

Dimensionnement de la station sol d'IGOSAT

Réalisé par : ARROUB Salima et JAMAL Walid
Encadrés par: PETITEAU Antoine

Sommaire

Références 5

Introduction 6

Chapitre I : Dimensionnement de la station sol : 8

1- The Ground Station : 10

- ✓ *L'équipement RF :* 10
- ✓ Antennes et Système de tracking : 11
- ✓ *Gestion du doppler :* 12

2- Le centre de Contrôle : 13

- ✓ *Automatisation du CC :* 13
- ✓ *Planning :* 13
- ✓ *Le Logiciel de contrôle :* 14

3- Diagrammes fonctionnelles des liens montant et descendant : 15

- ✓ *Schéma bloc du lien montant :* 16
- ✓ *Schéma bloc du lien descendant :* 17

Chapitre II- Explication des paramètres du bilan de liaison du fichier Excelle : 18

1- Paramètres généraux : 19

- ✓ *Coordonnée de la station sol :* 19
- ✓ *Fréquences utilisées.* 19
- ✓ *Diamètre de l'antenne parabolique équivalente :* 19
  - ▪ Définition d'une antenne Yagi : 20
  - ▪ Calcul des gains des antennes yagi : 21
  - ▪ Calcul des diamètres des antennes paraboliques équivalentes : 21
- ✓ *Efficacité de l'antenne :* 22

2- Paramètre liens TM/TC satellite : 23

- ✓ *Débit utile binaire :* 23
- ✓ *Disponibilité lien montant/descendant :* 23

2 Paramètres du lien montant (station sol vers satellite) : 23

Pertes de propagation : 23

- ✓ *Pertes en espace libre :* (référence E.) 23
- ✓ *Atténuation gaz atmosphérique :* 24
- ✓ *Atténuation de la pluie :* 24

✓ *Atténuation du aux nuages :* 24
✓ *Scintillation :* 24
Paramètre en réception au niveau du satellite : 24
✓ *Gain de l'antenne satellite en réception :* 24
Puissance station lien montant : 24
✓ *Pertes harnais :* 24
✓ *La PIRE : Puissance isotrope équivalente rayonnée* (référence E.) 24
✓ *Puissance de l'amplificateur au sol :* 25
- Estimation de la puissance de l'amplificateur : 27
Bilan de liaison lien montant TC : 28
✓ *C/N0 :* est le rapport signal à densité spectrale de bruit donné par la relation (15) 28
✓ *Eb/N0 :* est le rapport énergie par bit à densité spectrale de bruit donné par l'équation (6) 28
✓ *Eb/No requis :* 28
- Calcul du Eb/No requis : 28
- Description de la modulation GMSK : (référence H.) 30
• Modulation MSK : 30
• Modulation GMSK 31
- Détermination du SNR (rapport signal à bruit) : 32
✓ *Pertes d'implémentation :* 35
3 Paramètres du lien descendant (satellite vers station sol) : 35
Puissance émission TM satellite : 35
✓ *Puissance de l'amplificateur :* 35
Pertes de propagation : 36
Paramètres en réception au niveau de la station sol : 36
✓ *Température de bruit du ciel :* 36
✓ *Température de bruit du sol :* 36
Bilan de liaison lien descendant TM : 36
Chapitre III- Résultats du bilan de liaison 37
1- Variation des marges pour le lien montant: 38
2-Variation des marges pour le lien descendant: 41
3- Choix du matériel: 44
Le Tranciever KENWOOD TS 2000: 44
Amplificateur de puissance Mirage B-320G : 45

Motorisation des antennes : 45
Pilotage des antennes : 46

Sommaire de figure

Figure 1:vue général de la station sol 9
Figure 2: Vue générale de la Ground Station 10
Figure 3: Architecture de la Ground Station 11
Figure 4: Variation de la fréquence reçue par le cubesat OUFTI-1 au cours de l'une de ses passes. ... 12
Figure 5: Schéma conceptuel d'un planning 14
Figure 6: Diagramme fonctionnel du lien montant 16
Figure 7: Diagramme fonctionnel de la liaison descendante 17
Figure 8: Schéma représentant les éléments d'une antenne Yagi 20
Figure 9: représentation du RSSI en fonction de la puissance 27
Figure 10: Architecture Fonctionnelle du module AMSAT 29
Figure 11: Signal MSK à 1200 baud, (a) NRZ, (b) signal MSK 30
Figure 12: Densité spectrale pour les modulations MSK et GMSK 31
Figure 13: Réponse impulsionnel du filtre gaussien 32
Figure 14:Tracé après filtrage du BER en fonction de Eb/No 33

Références

référence, A. (n.d.). https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/o/oufti-1.

référence, B. (n.d.). http://www.ltas-s3l.ulg.ac.be/cmsms/uploads/08-09_Beukelaers.pdf.

référence, C. (n.d.). http://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Doppler.

référence, D. (n.d.). http://www.ltas-s3l.ulg.ac.be/cmsms/uploads/08-09_Beukelaers.pdf.

référence, E. (n.d.). Cours de transmission RF Mme. Ferrari.

référence, F. (n.d.). http://www.radiometrix.com/files/additional/lmt1lmr1.pdf.

référence, G. (n.d.). Dossier technique de la carte AMSAT.

référence, H. (n.d.). http://www.leodium.ulg.ac.be/cmsms/uploads/08-09_Henrard.pdf.

référence, I. (n.d.). http://www.rigpix.com/kenwood/ts2000.htm.

référence, J. (n.d.). http://www.mirageamp.com/Product.php?productid=B-320-G.

référence, K. (n.d.). http://www.yaesu.com/indexVS.cfm?cmd=DisplayProducts&ProdCatID=104&encProdID=60F24E075DF1D12D9CB5AD4A9C0A6855&DivisionID=65&isArchived=0.

référence, L. (n.d.). http://f17317.free.fr/satdrive.php.

Introduction

Dans le cadre de la réalisation du projet nano satellite de l'université Paris 7, le présent rapport vise à dimensionner la station sol qui permettra la transmission de données vers le satellite ainsi que la réception et le traitement des données envoyées par celui-ci. Il a également pour but de présenter le bilan de liaison reliant les deux parties (station sol et satellite).

Un des buts du projet est le dimensionnement de la station sol afin de déterminer les éléments qui la constituent accompagnés de leurs caractéristiques. Celle-ci sera située à Paris sur le campus de l'Université Paris Diderot, sur toit du bâtiment Condorcet.

Le calcul du bilan de liaison permet de définir et d'évaluer les éléments de gain et de pertes entre la station sol et le satellite pour étudier la possibilité d'une liaison radio. Le but étant d'estimer pour une certaine puissance du signal émis, la puissance détectée au niveau du récepteur du satellite, tout en tenant compte des diverses sortes d'atténuation et de pertes dans le canal de propagation. On peut réaliser le même calcul en se positionnant sur le satellite afin de définir la puissance du signal reçu par l'antenne réception de la station sol et juger si besoin est de préamplificateur ou pas.

Pour déterminer ces quantités nous allons nous aider d'un fichier Excel fourni par le CNES. Ce dernier effectue le calcul du signal sur bruit pour la liaison montante (sol➔satellite) et la liaison descendante (satellite➔sol).

Ce document est divisé en trois chapitres, le premier présentera les différents éléments constituant la station sol de manière générale accompagnés de diagrammes fonctionnels pour comprendre les liens entre les composants et les grandeurs définis dans le fichier Excel. Le second chapitre expliquera les paramètres utilisés dans le bilan de liaison fourni par le fichier Excel ainsi que le calcul théorique du rapport signal à bruit. Le troisième chapitre présentera les résultats obtenus en plus des conclusions faites à l'issue de l'étude.

Finalement une conclusion présentant le bilan technique et personnel viendra clôturer ce travail.

Chapitre I : Dimensionnement de la station sol :

La station sol IGOsat peut être divisée selon les deux unités suivantes :

• La Ground Station (GS), emplacement où se trouve tout le matériel RF (modulateurs, amplificateurs) avec les antennes ainsi que le système de tracking lié à ces antennes.

• la base de Contrôle sur ordinateur en utilisant logiciels et programmes pour surveiller et contrôler le satellite. C'est à partir d'ici qu'un signal va naitre avant d'entamer son voyage vers le satellite, et c'est aussi le point d'arrivée d'un signal venant du satellite pour être traité.

Notre projet porte particulièrement sur la Ground Station de la station sol, mais une description de la base de Contrôle apporte une idée globale sur la station sol.

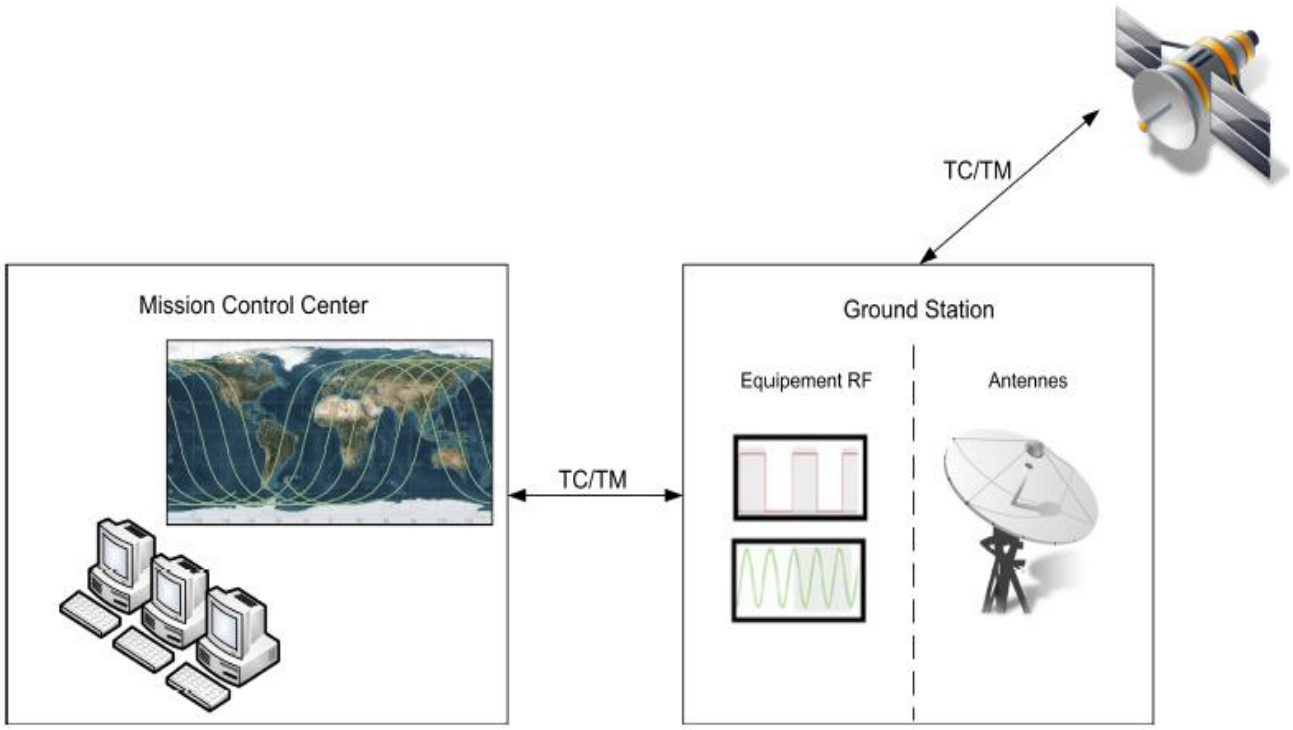

Figure 1:vue générale de la station sol (référence A.)

1- La Ground Station :

Le "Segment Sol" regroupe l'ensemble des moyens sol nécessaires à l'envoi et à la réception des informations échangées avec le satellite et aux traitements des données reçues.

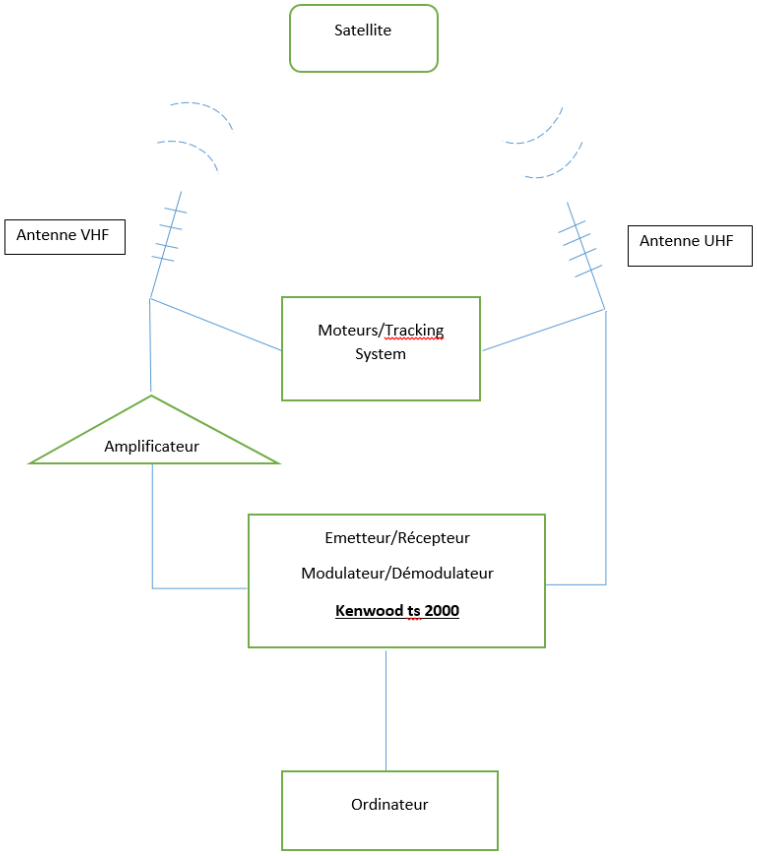

Figure 2: Vue générale de la Ground Station

✓ *L'équipement RF :*

Les appareils appartenant à cette partie interviennent dans le processus de conversion des données en série vers un signal RF (modulation), amplifié grâce à un amplificateur de puissance et envoyé au satellite, puis inversement, un signal RF du satellite vers des données en série (démodulation).

Nous avons donc besoin de trois appareils: Ordinateur – Transceiver – Amplificateur.

✓ Antennes et Système de tracking :

Le signal RF est envoyé et reçu par des antennes Yagi (VHF émettrice, UHF réceptrice), fixées sur les toits du bâtiment Condorcet à l'université Paris Diderot et pointées en permanence vers le satellite. Ceci est possible grâce à un système de tracking qui existe sur toutes les stations sol, il assure la poursuite du satellite sur chaque passage, sans oublier les rotateurs pour la rotation des antennes.

Le dispositif du système de tracking est constitué de rotateurs, du contrôleur des rotateurs et de la carte du tracking. Nous avons aussi besoin de logiciels pour l'automatisation de la Ground station, ces derniers peuvent être téléchargeables gratuitement, étant dédiés à la communauté des radioamateurs (Instant-Track, SatPC32, Sat Explorer, WxTrack, Orbitron, JSatTrack, SatScape, Tracksat, WinOrbit, AbsolutSat).

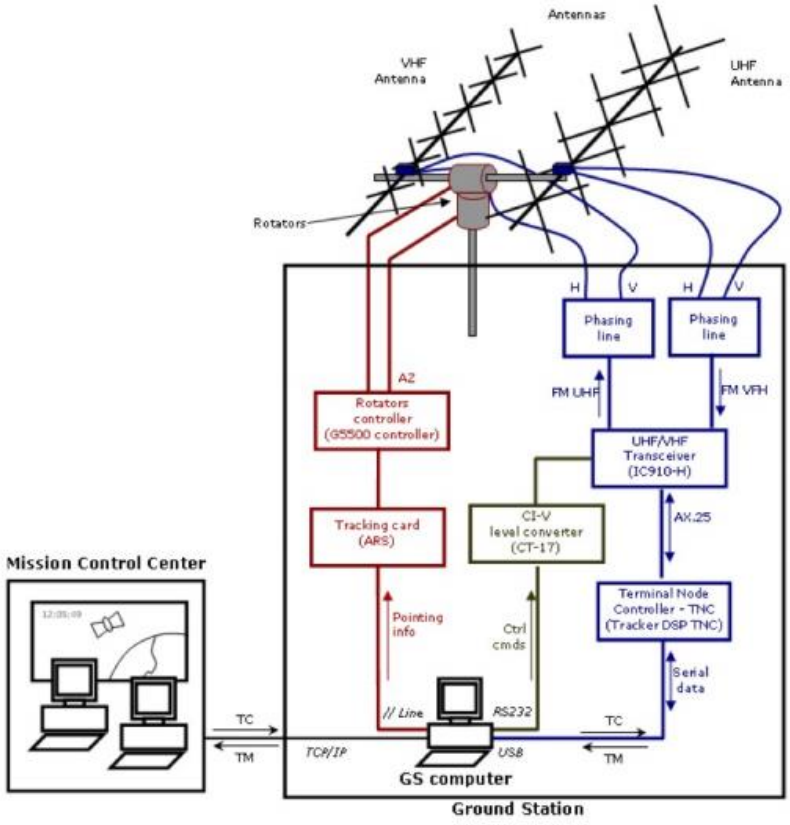

Figure 3: Architecture de la Ground Station (référence B.)

- Les dispositifs du système de tracking constitués des rotateurs, du contrôleur des rotateurs et de la carte de tracking sont colorés en rouge.
- La chaîne complète Réception/Transmission (Rx/Tx), depuis les appareils de modulation aux antennes, est représentée en bleu.

- Les éléments de contrôle d'émission et de réception, utilisés majoritairement pour ajuster les fréquences afin de compenser l'effet Doppler, sont colorés en vert.

✓ *Gestion du doppler :*

L'effet Doppler est le décalage de fréquence d'une onde (onde mécanique, acoustique, électromagnétique, etc.) entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps. La variation de fréquence dépend de la vitesse relative de rapprochement ou d'éloignement entre le satellite et la station sol. En début de passage, la fréquence de réception est supérieure à la fréquence théorique affichée. Plus le satellite se rapproche de la station, plus la fréquence diminue. En fin de passage, la fréquence est inférieure à la fréquence théorique.

$$f_{reçue} = f_{émise}\sqrt{\frac{c-v}{c+v}}$$

(référence C.)

- « V » est la vitesse linéaire relative entre la source et l'émetteur ;
- « c » est la vitesse de l'onde (en l'occurrence, c = 300000 km/s).

Il est possible de compenser préventivement ce df (|freçue − fémise|) en modifiant la fréquence d'émission au sol afin que la fréquence perçue par le récepteur reste inchangée.

Cet effet Doppler entraîne un déplacement fréquentiel maximal de la porteuse à 435 MHz d'environ 8 KHz (référence D.)

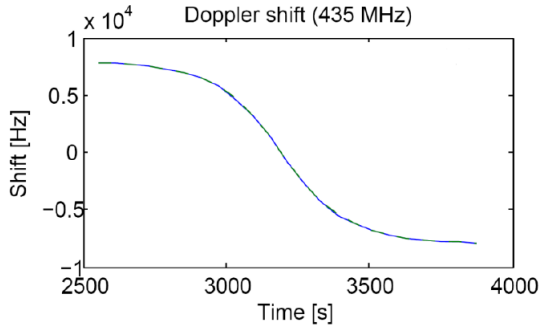

Figure 4: Variation de la fréquence reçue par le cubesat OUFTI-1 au cours de l'une de ses passes.

La variation Doppler est différente en Emission et en Réception.

2- Le centre de Contrôle :

Le centre de contrôle est l'endroit où les opérateurs communiquent avec le satellite. Les opérations effectuées lors des communications avec le satellite sont, par exemple, la vérification des paramètres de santé du satellite, la transition vers un mode du satellite, la réalisation de manœuvres, l'activation de l'alimentation expérimentale, etc.

Les ordinateurs permettent de piloter les antennes, de visualiser les orbites des satellites et les données collectées. Ils assurent la réception, l'exploitation et le stockage de données relatives à la mission.

L'architecture du CC doit être conçue en tenant compte des contraintes relatives au satellite, les services qui sont implémentés à bord, etc.

✓ *Automatisation du CC :*

Parmi les facteurs à considérer lors de la réalisation de la station sol il y a les contraintes du satellite qui sont plus difficiles à observer que celles appliquées au sol. Par exemple, le satellite ne dispose pas d'une puissance de calcul équivalente à celle au sol, ou le choix de l'orbite du satellite du fait que ce dernier fait des passages de courte durée (environ 9min).

Ainsi pour maximiser la quantité d'informations échangées lors du passage du satellite, il faudrait planifier à l'avance les actions que l'on souhaite exécuter lors d'une passe.

Planning :

Un planning est une série d'actions que l'on souhaite exécuter lors d'une passe du satellite, il est souvent représenté par un script Python ou un langage (XML) : c'est une suite d'actions sans aucune condition de transition entre elles, ou alors un scénario complexe où l'exécution de chaque action est conditionnée par des opérations telles que la vérification de l'état d'exécution d'une autre action, la comparaison de la valeur d'une mesure à bord du satellite récupérée et stockée dans la base de données de mission avec une certaine valeur.

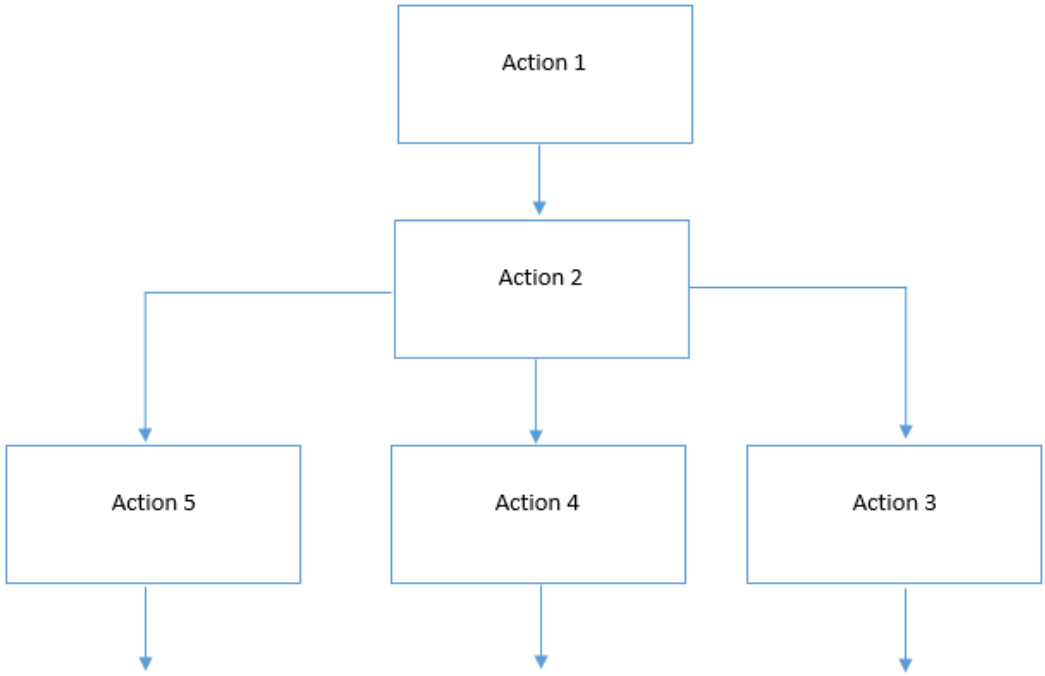

Figure 5: Schéma conceptuel d'un planning

✓ *Le Logiciel de contrôle :*

Le LC est l'élément central du CC du fait que toutes les données transitent en ce point et presque tous les éléments dans le CC y sont connectés.

Le logiciel de contrôle s'occupe de la création et l'envoi de télécommandes en premier lieu.

Son second rôle est la sauvegarde de toutes les données transitant par le CC. En effet, les informations stockées dans la base de données de mission serviront à afficher les données aux opérateurs et aux scripts Python.

Son troisième rôle est l'extraction des données dans les télémétries et leur stockage dans la base de données de mission, chose indispensable pour la visualisation des valeurs des paramètres à bord du satellite.

Le quatrième et dernier rôle du LC est de mettre à jour les données afin de pouvoir les consulter en temps réel. Ainsi, l'évolution d'exécution d'une télécommande pourra être suivie en direct ou bien il sera également possible de voir l'arrivée des valeurs des paramètres à bord en direct après activation du service de génération de rapports de données.

3- Diagrammes fonctionnels des liens montant et descendant :

Dans cette partie nous allons modéliser les liens entre la station sol et le satellite en se positionnant dans le lien montant ou dans le lien descendant. Nous allons y faire figurer les élements intervenant dans le bilan de liaison tout en essayant de mettre en évidence les grandeurs présentes dans le fichier Excel fourni par le CNES.

✓ *Schéma bloc du lien montant :*

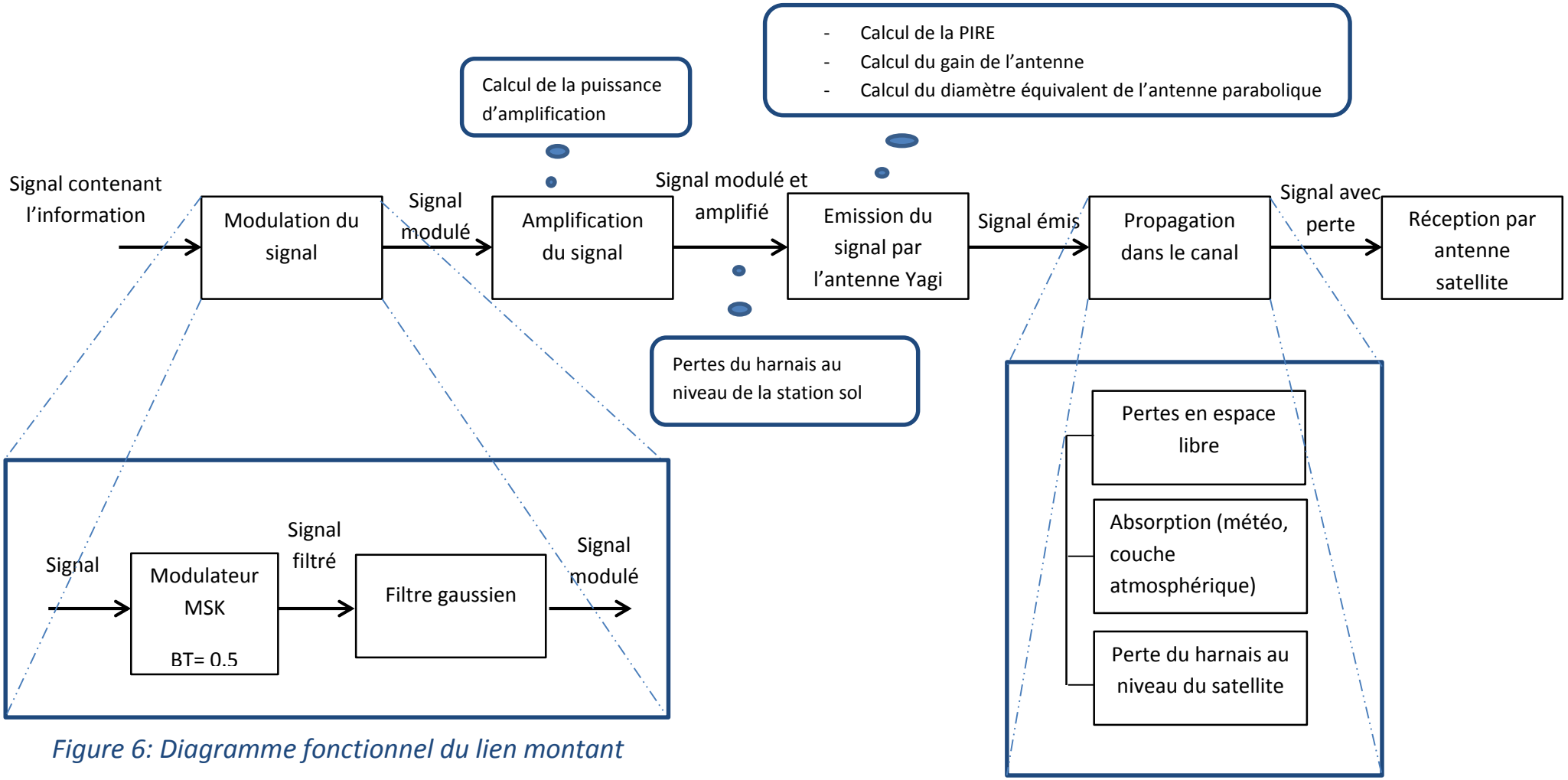

Figure 6: Diagramme fonctionnel du lien montant

✓ *Schéma bloc du lien descendant :*

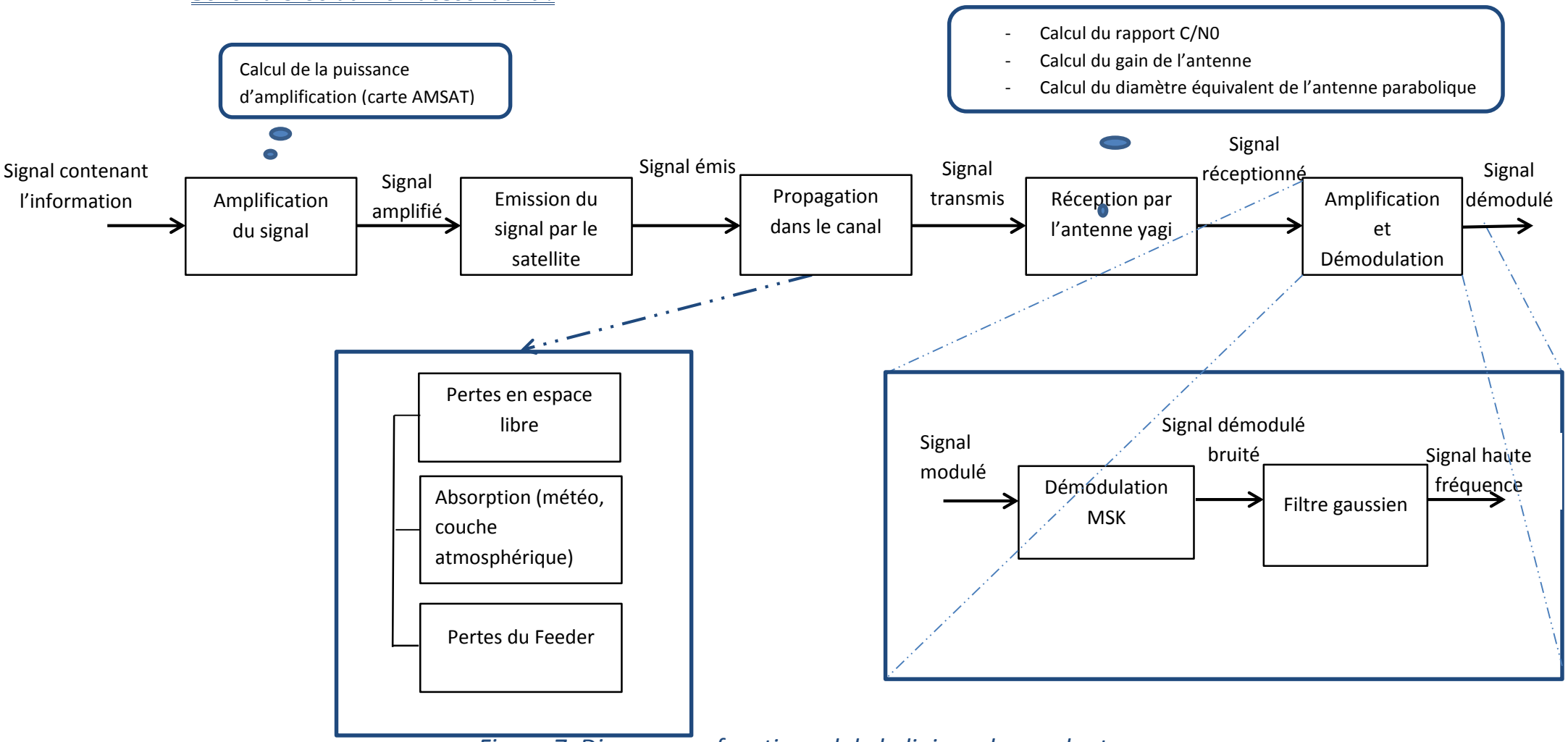

Figure 7: Diagramme fonctionnel de la liaison descendante

Chapitre II- Explication des paramètres du bilan de liaison du fichier Excel :

1- Paramètres généraux :

✓ Coordonnées de la station sol :

Longitude, latitude, altitude : coordonnées géographiques de Paris

✓ Fréquences utilisées.

La fréquence de communication d'un satellite doit respecter les normes internationales qui déterminent les bandes de fréquences disponibles selon les régions où les communications auront lieu. Cette règlementation est importante car la bande utilisée ne doit pas coïncider avec d'autres bandes prioritaires (communications militaires, de navigation etc…) et provoquer des interférences.

Nous avons donc décidé de nous orienter vers les bandes métriques, et plus particulièrement vers les bandes de fréquences 144 - 146 MHz et 430 - 460 MHz, ce qui permet, en plus de satisfaire les contraintes précédemment décrites, d'avoir une longueur d'antenne raisonnable, les basses fréquences nécessitant des antennes de longueur trop importante.

La puissance émise augmentant avec la fréquence et le gain de l'antenne on définit les fréquences comme suit :

- Pour le lien montant

Fréquence lien montant : C'est la fréquence à laquelle on émet de la station sol vers le satellite, elle est fixée à 146 MHz

- Pour le lien descendant

Fréquence lien descendant : C'est la fréquence à laquelle on réceptionne l'information envoyée depuis le satellite vers la station sol, elle est de 436 MHz.

✓ Diamètre de l'antenne parabolique équivalente :

Dans le fichier l'antenne prise en compte est une antenne parabolique dont le diamètre est un paramètre permettant le calcul des différentes grandeurs présentes dans le document.

Les antennes qu'on utilise sont des antennes linéaires de type Yagi. Pour pouvoir obtenir un bilan de liaison cohérent il faut calculer le diamètre d'une antenne parabolique de gain équivalent à celui de nos antennes Yagi en émission et en réception.

- Définition d'une antenne Yagi :

Une antenne Yagi est une antenne directive dont le gain est supérieur à celui du dipôle dans la direction avant et inférieur dans la direction arrière.

Elle se compose essentiellement de trois éléments :

- Un dipôle demi-onde (c.e que la longueur du dipôle est égale à la moitié de la longueur d'onde utilisée) qui est l'élément radiateur (émet ou reçoit des radiations).
- Un / des éléments réflecteurs (obligatoirement plus grand)
- Un / des éléments directeurs.

Ces deux derniers sont appelés également éléments parasites.

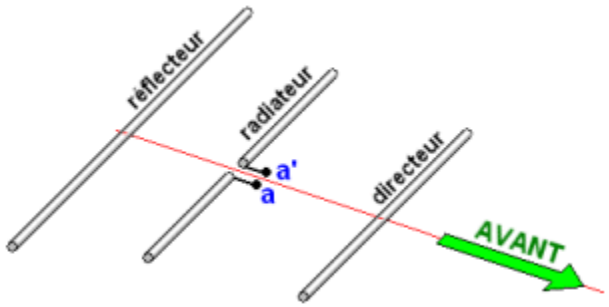

Figure 8: Schéma représentant les éléments d'une antenne Yagi

La direction de radiation dépend des éléments parasites :

- Si l'élément parasite est plus court que le radiateur, le lobe principal de radiation sera renforcé dans la direction radiateur ➔ élément parasite.
- Si l'élément parasite est plus long que le radiateur, le lobe principal de radiation sera renforcé dans la direction élément parasite ➔ radiateur.

Pour une antenne Yagi le rayonnement est transversal.

Afin d'augmenter le gain dans une direction donnée (dans notre cas la direction favorisée est celle élément parasite ➔ radiateur) on augmente le nombre d'éléments radiateurs dans cette direction.

- Calcul des gains des antennes yagi :

Le gain d'une antenne Yagi augmente de 3dB lorsqu'on double le nombre de dipôles la constituant.

Le gain alors est défini par la relation suivante :

$$G = 3dB + 10\log(n) \qquad (1)$$

Avec n : nombre de dipôles constituant nos antennes Yagi d'émission et de réception

- Calcul des diamètres des antennes paraboliques équivalentes :

Nous pouvons alors déduire le diamètre de l'antenne parabolique équivalente d'après l'équation (2) :

$$G = 10 \text{ x } \log(\frac{pi \times D}{\lambda})^2 \qquad (2)$$

- Pour le lien montant :

L'antenne à l'émission est constituée de 6 dipôles :

$$Ge = 3dB + 10x\log(6) = 11 \text{ dB} \qquad (3)$$

Avec Ge : gain de l'antenne d'émission

On émet à une fréquence de 146 MHz qui est équivalente à une longueur d'onde de 2.05 m

En considérant l'équation (2) le diamètre de l'antenne parabolique équivalente vaut :

$$De = \frac{\lambda e}{\pi}\ 10^{\frac{Ge}{20}} = 2.31\ m \qquad (4)$$

- Pour le lien descendant :

De la même manière on calcule le diamètre de l'antenne parabolique équivalente à la réception

L'antenne Yagi en réception est constituée de 5 dipôles

Son gain vaut donc :

$$Gr = 3dB + 10\log(5) = 10 \text{ dB} \qquad (5)$$

Avec Gr : gain de l'antenne Yagi de réception

La réception se fait à une fréquence de 436 MHz qui est équivalente à une longueur d'onde de 0.68 m.

Lle diamètre est donc:

$$Dr = \frac{\lambda r}{\pi}\, 10^{\frac{Gr}{20}} = 0.68m \qquad (6)$$

Le tableau suivant rassemble ces éléments

	Antenne émission	Antenne réception
Nombre de dipôles de l'antenne yagi	6	5
Gain de l'antenne Yagi (dB)	11	10
Diamètre de l'antenne parabolique équivalente (m)	2.31	0.68

- ✓ *Efficacité de l'antenne :*

Ce pourcentage définit le rendement de l'antenne. Pour les antennes Yagi lorsque le boom de l'antenne (c-à-d la branche sur laquelle les dipôles sont fixés) a de grandes proportions par rapport à celles des dipôles, condition vérifiée par nos antennes, l'efficacité de l'antenne est maximale et est estimée à 70%.

Dans le fichier Excel les paramètres ci-dessus sont exprimés comme suit :

Paramètres généraux Liens TM/TC Satellite		
Station Lien Montant (Télécommande)	**Unité**	**Valeur**
Latitude	(°)	48,5
Longitude	(°)	2,2
Altitude	(km)	0,1
Diamètre de l'antenne parabolique	(m)	2,3
Efficacité de l'antenne	(%)	100
Polarisation (circulaire = 45°)	(°)	45
Distance	(km)	1 489,1
Station Lien Descendant (Télémetrie)		
Latitude Station	(°)	48,5
Longitude Station	(°)	2,2
Altitude	(km)	0,1
Diamètre de l'antenne parabolique	(m)	0,7
Efficacité de l'antenne	(%)	70

Polarisation (circulaire = 45°)	(°)	45
Distance	(km)	1 489,1

2- Paramètre liens TM/TC satellite :

✓ *Débit utile binaire :*

Le débit binaire est une mesure traduisant le nombre de bits transmis par unité de temps.

Cette quantité est prédéfinie vu qu'on connait la carte utilisée pour la télécom bord.

✓ *Disponibilité lien montant/descendant :*

Nous avons considéré que les antennes choisies ne pointent que notre nano satellite, elles sont donc disponibles pratiquement tout le temps, d'où la valeur du pourcentage de disponibilité fixée à 99%.

Dans le fichier Excel les paramètres ci-dessus sont exprimés comme suit :

Paramètres Liens TM/TC Satellite		
Débit utile binaire	(Mbps)	0,00
Débit symbole (utilisation d'un code correcteur de rendement 1/2)	(Mbauds)	0,00
Fréquence lien montant (TC)	(GHz)	0,146
Fréquence lien descendant (TM)	(GHz)	0,436
Disponibilité lien montant (TC)	(%)	99,900
Disponibilité lien descendant (TM)	(%)	99,900

3- Paramètres du lien montant (station sol vers satellite) :

Pertes de propagation :

✓ *Pertes en espace libre :* (référence E.)

Elles définissent les pertes dans un espace sans obstacle. Elles dépendent de la longueur d'onde et de la distance entre la station sol et le satellite d. Ces pertes sont exprimées dans la relation (7) :

$$\text{Pertes espace libre} = 20 \times \log\left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot d}\right) \qquad (7)$$

- ✓ *Atténuation gaz atmosphérique :*

Cette quantité traduit les pertes due à la présence de gaz atmosphérique. Elle dépend de la fréquence, l'élévation et l'altitude de la station sol et la concentration de gaz. Elle est négligeable aux fréquences inferieures à 10GHz.

- ✓ *Atténuation de la pluie :*

Cette valeur exprime l'atténuation de l'onde électromagnétique due à la pluie.

- ✓ *Atténuation du aux nuages :*

Pour obtenir cette valeur on fait un calcul du contenu en eau liquide des nuages à partir des profils verticaux de température et d'humidité dans les radiosondages.

Remarque 1: D'après le livre du CNES, ces trois dernières pertes sont très atténuées si on travaille sur des fréquences inférieures à 10GHz ce qui est bien le cas pour le domaine de fréquence dans lequel on travaille pour ce projet.

- ✓ *Scintillation :*

La scintillation correspond à une variation d'amplitude du signal dans le temps due aux variations de la réfraction dans la troposphère et l'ionosphère.

Paramètres en réception au niveau du satellite :

- ✓ *Gain de l'antenne satellite en réception :*

C'est le gain de l'antenne utilisée pour la réception sur le satellite et qui est fixé par le constructeur sur le site cubsatshop.com et qui vaut 0dbi.

Puissance station lien montant :

- ✓ *Pertes harnais :*

Cette valeur est donnée par la puissance perdue dans les câbles utilisés dans les circuits électriques.

- ✓ *La PIRE : Puissance isotrope équivalente rayonnée* (référence E.)

Elle dépend de la puissance de l'antenne d'émission Pe et de son gain Ge, elle est donnée par la relation (8) :

$$PIRE = 10 \times \log(Pe.Ge) \qquad (8)$$

- ✓ *Puissance de l'amplificateur au sol :*

C'est la puissance nécessaire à la sortie de l'amplificateur qui doit être détectée par le récepteur de la carte télécommunication embarquée sur le satellite.

Dans le fichier Excel fournit par le CNES la PIRE de l'antenne émission est calculée suivant la relation donnée ci-après

$$PIRE = Psa + (\text{gain max de l'antenne d'émission} - \text{pertes du harnais}) \qquad (9)$$

Avec : gain max de l'antenne d'émission – pertes du harnais = 10 dB

Alors :

$$PIRE = P_{sa} + 10\ dB \qquad (10)$$

Par ailleurs la PIRE est également reliée à la puissance pouvant être détectée par le récepteur de la carte vu que cette puissance est égale à celle reçue par l'antenne embarquée sur le satellite, qui est une antenne isotrope de gain $0dB_{ic}$.

$$PIRE = P_s + (\text{Pertes en espace libre} + \text{pertes de scintillation} + \text{pertes du harnais} + \text{atténuation des gaz atmosphériques} + \text{atténuation de la pluie} + \text{atténuation des nuages} + \text{pertes de polarisations}) \qquad (11)$$

Avec P_s : Seuil de puissance pouvant être détectée par le récepteur de la carte AMSAT.

Alors

P_{sa} = P_s + *(Pertes en espace libre + pertes de scintillation + pertes du harnais + atténuation des gaz atmosphériques + atténuation de la pluie + atténuation des nuages + pertes de polarisations - 10 dB)* *(12)*

Le tableau suivant donne les valeurs des pertes entre l'amplificateur de la station sol et la carte AMSAT :

Nature des pertes	Valeur considérée des pertes
Pertes en espaces libre	139.2
Pertes de scintillation	0
Atténuation des gaz atmosphériques	0
Atténuation de la pluie	0
Atténuation des nuages	0
Pertes de polarisations	3
Pertes totale	**142.2**

L'atténuation des gaz atmosphériques, de la pluie, des nuages et les pertes de scintillation sont nulles car le domaine de fréquence dans lequel on opère est plus petit que 10 GHz.

Finalement on trouve que la puissance de l'amplificateur s'exprime comme suit :

$$P_{sa} = P_s + 132.2\ dB \qquad (13)$$

Remarque 2:

Il est nécessaire de faire attention aux conversions dBm et dBW

Les puissances exprimées en dBW sont des puissances en watts tandis que pour les dBm les puissances dans ce cas sont données en milliwatts.

Pour la conversion de dBW en dBm on utilise l'équation suivante :

$$P_{dBw} = P_{dBm} - 30\ dB \qquad (14)$$

Le récepteur de la carte AMSAT est un LMR1 receveur.

La courbe suivante donne le RSSI (Received signal strenght indication) qui fournit une indication sur le l'intensité du signal reçu en fonction de sa puissance.

(référence F.)

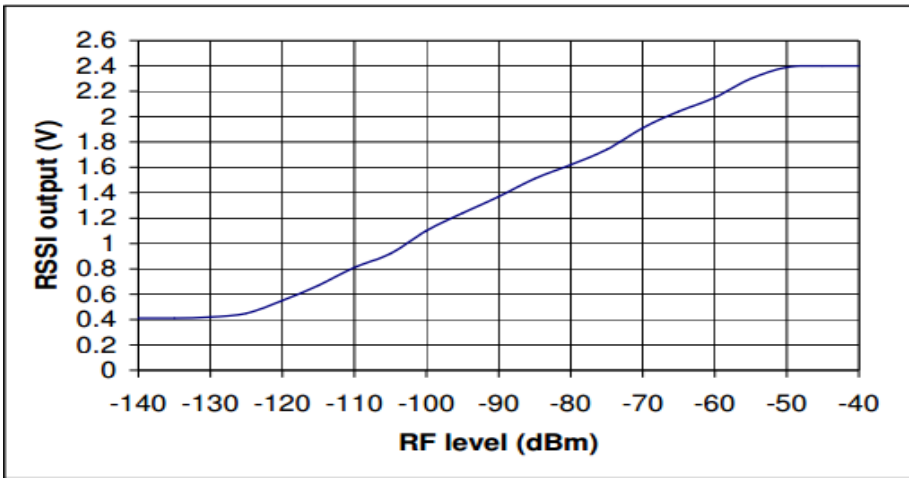

Figure 9: Représentation du RSSI en fonction de la puissance

On remarque qu'on a deux puissances pour lesquelles le récepteur sature, on va donc effectuer le calcul entre ces deux valeurs pour obtenir tout un domaine de puissance d'amplificateur que l'on pourra utiliser.

- Estimation de la puissance de l'amplificateur :

Le tableau suivant rassemble le domaine de puissance de l'amplificateur que le récepteur LRM1 sera capable de détecter.

Puissance de réception de la carte AMSAT	P_{S1} = - 50 dBm	P_{S2} = - 130 dBm
Puissance de l'amplificateur au sol (*dBm*)	P_{sa1}= 82.2 dBm	P_{sa2}= 2.2 dBm
Puissance de l'amplificateur au sol (*dBw*)	P_{sa1}= 52.2 dBw	P_{sa2}= -27.8 dBw
Puissance de l'amplificateur au sol (*W*)	P_{sa1}= 1 .65 10^{5} w	P_{sa2}= 1 .65 10^{-3} w

Bilan de liaison lien montant TC :

- ✓ *C/N0 :* est le rapport signal à densité spectrale de bruit donné par la relation (15)

$$(C/N0)_m = \frac{PIRE_{st}}{K.T_m} . G_{sat} A_m \qquad (15)$$

Avec :

- $PIRE_{st}$: puissance isotrope équivalente rayonnée par la station sol vers le satellite
- G_{sat} : gain de l'antenne réception, incluant les pertes entre l'antenne et le récepteur
- A_m : affaiblissement transmission, comportant l'affaiblissement en espace libre A0 ainsi que les atténuations apportés par le milieu traversé.
- T_m : Température de bruit équivalente à l'entrée du récepteur.
- K : Constante de Boltzmann.

- ✓ *Eb/N0 :* est le rapport énergie par bit à densité spectrale de bruit donné par l'équation (6)

$$\frac{C}{N0} = \frac{Eb}{N0} \text{ x } \frac{Db}{B} \qquad (16)$$

Avec :

- Db: débit binaire.
- B : Bande passante du récepteur.

- ✓ *Eb/No requis :*

Ce rapport permet d'obtenir un taux d'erreur spécifié lors de la démodulation.

- Calcul du Eb/No requis :

Dans notre projet on s'intéresse à la performance que présente la carte de télécommunication bord en terme de transmission numérique qui s'évalue grâce au bit error rate (BER).

Ce dernier dépend du type de la modulation (GMSK dans notre cas) et du rapport Eb/N0 où :

- Eb : énergie par bit à l'entrée du démodulateur
- N0 : densité de puissance du bruit

La carte utilisée est un module AMSAT qui permet la transmission des données provenant de l'ordinateur de bord à 9600 bps au format AX25/FX25 ainsi que la réception des télécommandes venant du sol et à destination de l'ODB à 1200 bps.

- Pour la réception de data (RX) au niveau du satellite Le décodeur AX25 décode des trames AX25 à 1200 bps en provenance du sol.

- Pour la transmission de data (TX) au niveau du satellite le codeur 9600 mélange les données pour éviter une longue suite de 1 ou 0, celles-ci sont filtrées par un filtre FIR donnant, une fois dans le modulateur FM de l'émetteur, une modulation GMSK.

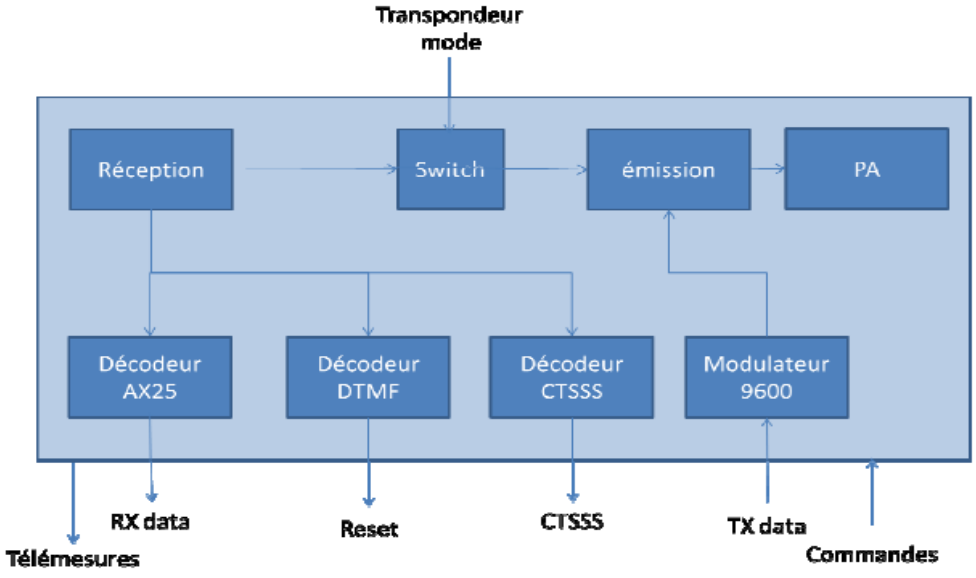

Figure 10: Architecture Fonctionnelle du module AMSAT (référence G.)

La modulation utilisée pour les liens radio est la modulation GMSK. L'objectif de l'étude suivante est de déterminer le rapport signal sur bruit obtenu lors de cette modulation ainsi que la largeur de bande du signal modulé.

- Description de la modulation GMSK : (référence H.)

Dans un premier temps on s'intéresse à la modulation MSK pour pouvoir définir la modulation GMSK qui en est dérivée.

- Modulation MSK :

La modulation MSK est une modulation de fréquence à phase continue. Elle se caractérise par la relation existant entre la fréquence d'un zéro logique et celle d'un un logique qui est la suivante :

$$f1 - f0 = \frac{Bit\ rate}{2} \tag{17}$$

Avec : $f1$ la fréquence d'un un logique

$f0$ la fréquence d'un zéro logique

Pour mieux comprendre voici un exemple pour un bit rate de 1200 bit/s

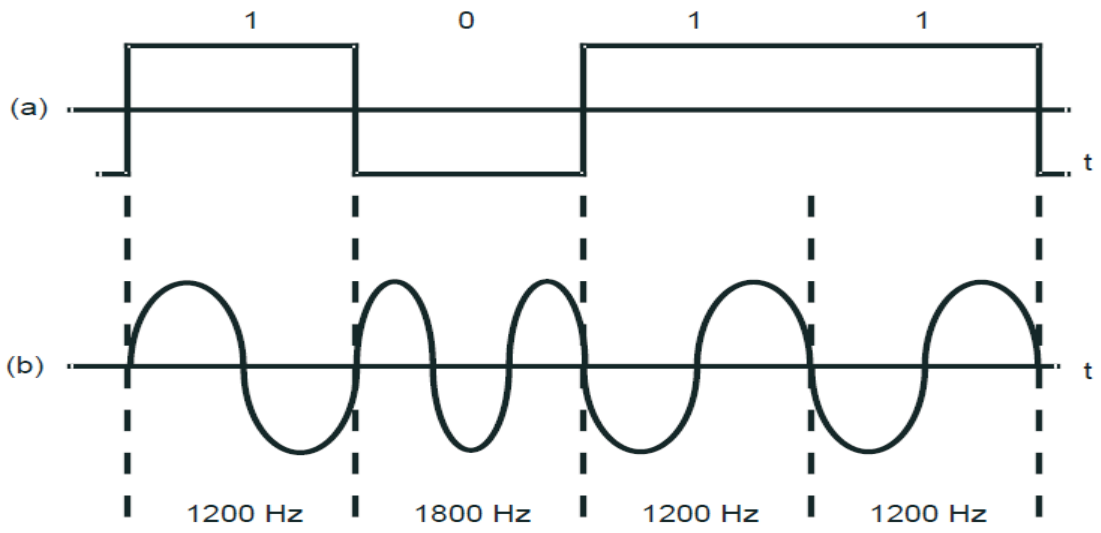

Figure 11: Signal MSK à 1200 baud, (a) NRZ, (b) signal MSK (référence H.)

La différence entre les deux fréquences vaut bien 600 HZ qui est la moitié du bit rate.

La modulation MSK présente un problème au niveau de son spectre qui contient des lobes secondaires (figure 12). Pour une bonne transmission il est nécessaire d'atténuer ces lobes pour augmenter l'efficacité spectrale en rendant le spectre plus étroit. D'où l'utilisation de la modulation GMSK.

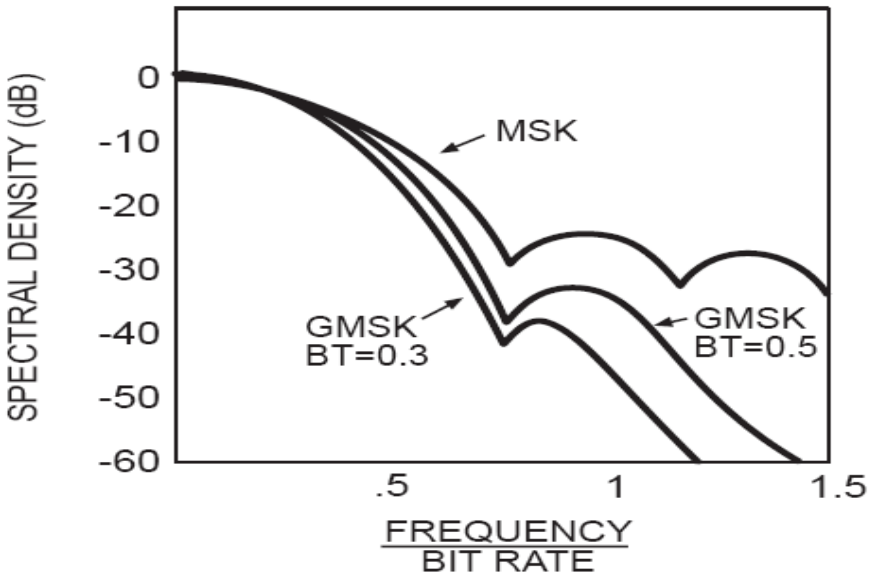

Figure 12: Densité spectrale pour les modulations MSK et GMSK (référence H.)

- Modulation GMSK

la modulation GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying ou modulation à déplacement minimum gaussien) est une modulation de fréquence à enveloppe constante, elle est le résultat du filtrage par un filtre gaussien d'une modulation MSK.

Il est caractérisé par le produit B.Ts où :

- B la fréquence de coupure du filtre gaussien
- Ts la durée d'un bit.

Dans la figure (13) on peut constater qu'au niveau du spectre le filtrage a pour conséquence la réduction des lobes secondaires. Plus la fréquence de coupure B du filtre est petite pour un temps de bit donné plus les lobes secondaires sont atténués.

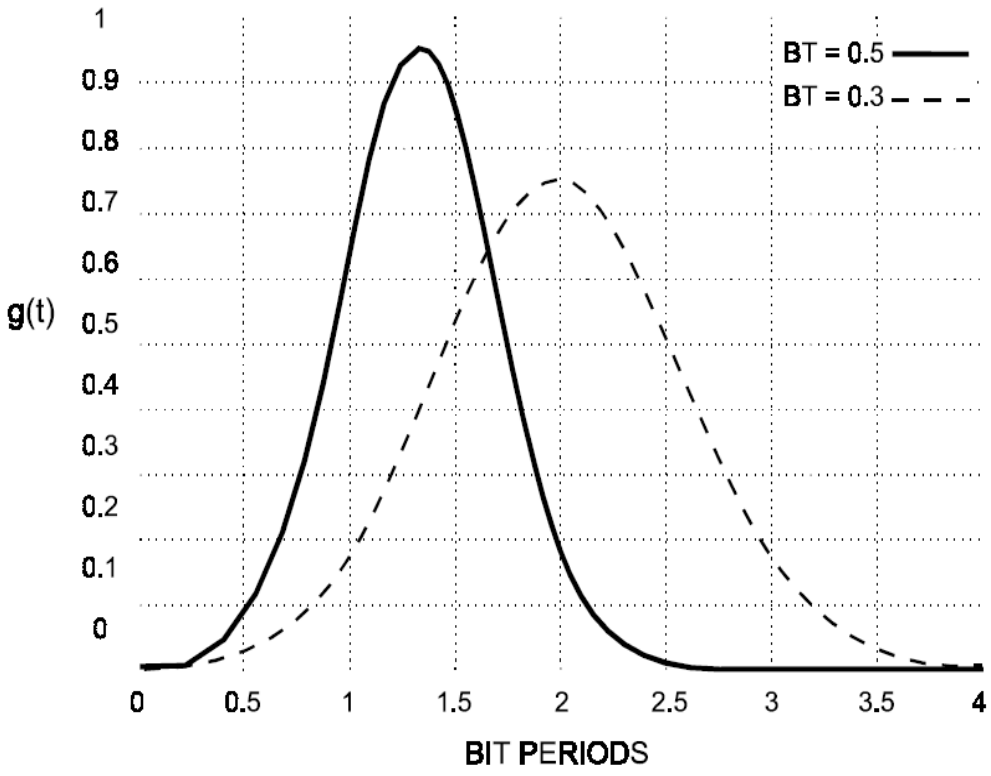

Figure 13: Réponse impulsionnelle du filtre gaussien (référence H.)

Le produit B.Ts est relié à la fréquence de coupure du filtre par la relation :

$$B.Ts = \frac{f_{-3db}}{D} \qquad (18)$$

Avec D le débit binaire (bit rate).

- Détermination du SNR (rapport signal à bruit) :

Pour ce faire il faut déterminer pour un BER acceptable un rapport Eb/No.

La figure 14 donne le tracer du BER en fonction du rapport Eb/No pour des valeurs différentes du produit B.Ts.

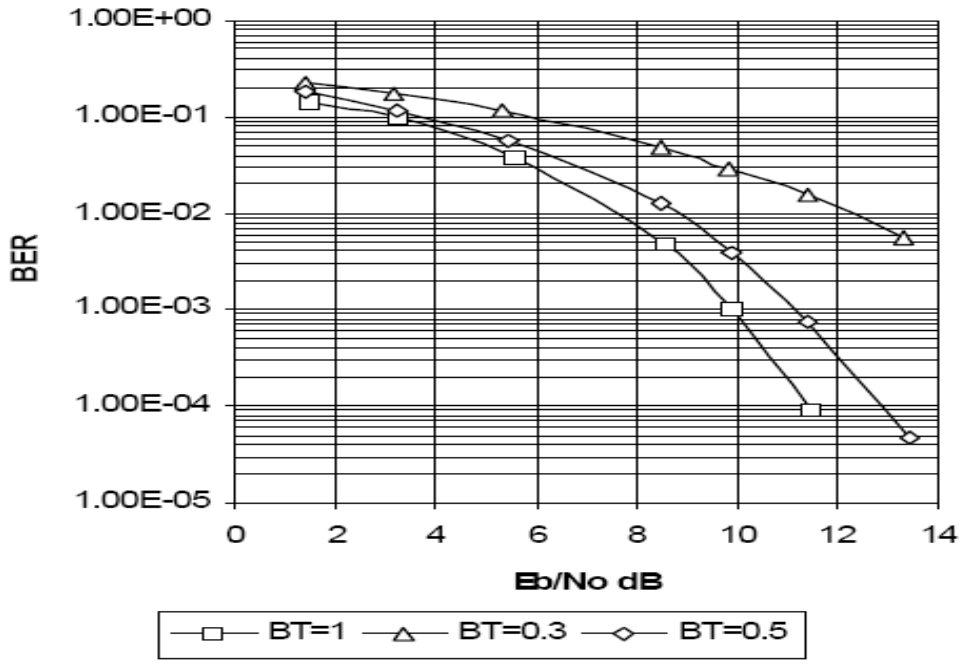

Figure 14:Tracé après filtrage du BER en fonction de Eb/N0 (référence H.)

D'autre part il existe une relation liant le Eb/No au SNR qu'on détail en dessous

On sait que :

$$\mathrm{Eb} = \mathrm{Ps} \times \mathrm{Ts} \qquad (19)$$

Avec :

$D = \frac{1}{Ts}$ Débit binaire

Ps : la puissance d'un bit

$$\mathrm{Pn} = \mathrm{N0}.\mathrm{B} \Rightarrow \mathrm{N0} = \frac{Pn}{B} \qquad (20)$$

$B = f_{-3db}$

Pn : la puissance du bruit

De plus la largeur de bande du signal est proportionnelle au débit binaire :

$$B = K \times \frac{1}{Ts} \Rightarrow \mathrm{K} = \mathrm{B} \times \mathrm{Ts} \qquad (21)$$

En divisant la relation (19) par (20) on obtient :

$$\frac{Eb}{N0} = \frac{Ps \times Ts \times B}{Pn} \quad (22)$$

Puis en injectant la relation (21) dans l'équation (22) on retrouve que le Eb/No est proportionnel au rapport signal à bruit et que le coefficient de proportionnalité est K.

$$\boxed{\frac{Eb}{N0} = k \times \frac{Ps}{Pn}} \quad (23)$$

On retrouve la relation de la définition (voir **relation (16)** plus haut).

Dans notre cas nous allons traiter d'abord la liaison montante puis la liaison descendante en se fixant un BER = 10^{-3}.

Comme précisé précédemment le satellite envoie des trames de 1200 bps vers la station sol équivalents à un débit binaire de D= 1.2 KHz.

Nous allons calculer le rapport signal à bruit obtenu pour différentes valeurs de K.

1er cas : K =1

=> Le filtre gaussien dans ce cas aurait une fréquence de coupure B= 1.2 KHz.

Le BER fixé, on peut à travers la figure (14) lire le Eb/No à 10dB.

Alors le rapport signal à bruit vaut :

$$SNR1 = Eb/No - 10 \times \log(k) = 10dB$$

2er cas : K =0.5

=> Le filtre gaussien dans ce cas aurait une fréquence de coupure B= 0.6 KHz.

Le Eb/No d'après la figure (14) vaut 11.5 dB

Alors de la même manière que précédemment le rapport signal à bruit vaut :

$$SNR2 = Eb/No - 10 \times \log(0.5) = 14.51dB$$

3er cas : K =0.3

=> Le filtre gaussien dans ce cas aurait une fréquence de coupure B= 0.36 KHz.

Le Eb/No = 15 dB

Alors le rapport signal à bruit donne :

$$SNR3 = Eb/No - 10 \times \log(0.3) = 20.22\ dB$$

D'après les calculs on remarque que plus la largeur de bande ou la fréquence de coupure du filtre gaussien est petite plus le rapport signal à bruit est meilleur. Mais il faudrait trouver un compromis entre les deux valeurs pour éviter les interférences inter-symboles.

- ✓ *Pertes d'implémentation :*

Ce sont les pertes reliées à la modulation et la démodulation.

4- Paramètres du lien descendant (satellite vers station sol) :

Puissance émission TM satellite :

- ✓ *Puissance de l'amplificateur :*

L'amplificateur de puissance du satellite donne une puissance de sortie ajustable de 0.5W à 7W avec 4 seuils de puissance de sortie préprogrammés : 27dBm, 30dBm, 33dBm, 36dBm.

On peut par ailleurs estimer la puissance reçue à la sortie de l'antenne de réception :

Prg (dBm) = Pas – Perte du canal + Gag

Avec :

Pas : Puissance de l'amplificateur du satellite (27/30/33/36) dBm (référence G.)

Perte du canal : perte total de propagation (151 dB)

Gag : Gain antenne réception Sol (8,3 dBi)

Puissance Envoyée par le satellite	27	30	33	36
Puissance reçue au niveau de la station sol	-121,7	-118,7	-115,7	-112,7

Remarque 3: Les autres paramètres pour cette partie ont été décrits dans la partie du lien montant. Il suffit d'inverser les rôles entre la station sol et le satellite.

Pertes de propagation :

Même remarque pour cette partie (**Remarque 3**).

Paramètres en réception au niveau de la station sol :

- ✓ *Température de bruit du ciel :*

La température de bruit du ciel détermine la contribution de celui-ci dans le bruit total capturé par l'antenne de la station sol. Dans notre fichier Excel le cas considéré est celui du « clear sky » (ciel clair) c'est-à-dire absence de formations météorologiques.

- ✓ *Température de bruit du sol :*

Elle contribue également dans le calcul du bruit capturé par l'antenne de la station. C'est le bruit réfléchi par la terre.

La somme de ces deux paramètres donne directement le bruit capturé par l'antenne de la station sol.

Bilan de liaison lien descendant TM :

Les paramètres sont définis de la même façon que pour le lien montant en remplaçant le satellite par la station sol et inversement.

On remarque que le rapport signal sur bruit requis ne varie pas en fonction de K l'élément qui change est la fréquence de coupure du filtre gaussien utilisé dans la modulation MSK. Comme précisé précédemment le satellite envoie des trames de 9600 bps vers la station sol équivalents à un débit binaire de D = 9.6 KHz.

Le tableau suivant rassemble les fréquences de coupure en fonction des valeurs de K :

Valeur de K	1	0.5	0.3
Fréquence de coupure correspondante (KHz)	9.6	4.8	2.88

Chapitre III- Résultats du bilan de liaison

Dans cette partie nous allons modifier les différents paramètres du fichier Excel et comparer les résultats afin de pouvoir déterminer le cas où le rapport signal à bruit serait maximal. Les paramètres sur lesquels nous pouvons agir sont les suivants :

- La puissance de l'amplificateur de la station sol pour le lien montant.
- La puissance de l'amplificateur de la station sol pour le lien descendant.

1- Variation des marges pour le lien montant:

Pour traiter le problème dans toutes les conditions on regarde les valeurs des marges dans le meilleur et pire cas. Sans oublier de prendre en considération la variation du Eb/No pour les différentes valeurs de K (défini dans la partie précédente) vu que la fréquence de coupure du filtre utilisé reste inconnue.

Ci-dessous un extrait du fichier Excel pour la valeur de la puissance de l'amplificateur dans le pire cas et un Eb/No valant 10 dB (K=1).

Paramètres Lien Montant (Station vers Satellite)		
Puissance Station lien montant (TC)	**Unité**	**Valeur**
Puissance de l'amplificateur	(dBW)	-27,8
Pertes harnais RF	(dB)	1,0
Gain max. de l'antenne d'émission	(dBic)	11,0
PIRE	(dBW)	-17,8
Pertes de propagation		
Pertes d'espace libre	(dB)	139,2
Atténuation des gaz atmosphériques	(dB)	0,0
Atténuation de la pluie	(dB)	0,0
Atténuation des nuages	(dB)	0,0
Scintillation	(dB)	0,0
Pertes de polarisation (selon les taux d'ellipticité des antennes station et satellite)	(dB)	3,0
Pertes Totales	(dB)	142,2
Paramètres en réception TC (satellite)		
Gain de l'antenne satellite en réception (selon direction d'arrivée considérée)	(dBic)	0,0
Pertes du harnais RF	(dB)	1,0
Température de bruit du harnais RF	(°K)	290,0
Figure de bruit du récepteur TC bord	(dB)	1,0
Température de bruit Système chaîne de réception TC bord	(dBK)	26,6
Figure de mérite en réception TC: (G/T)	(dB/°K)	-26,6
Bilan de liaison lien montant TC		
(C/N0) obtenu	(dB.Hz)	41,9

(Eb/N0) obtenu	(dB)	11,9
(Eb/N0) requis	(dB)	10,0
Pertes d'implémentation	(dB)	1,0
Marge du lien TC	(dB)	**0,9**

Pour éviter la répétition et l'encombrement du document nous avons effectué l'opération de modification des valeurs de la puissance de l'amplificateur de la chaine d'émission et du Eb/No et nous avons réuni les résultats dans les tableaux suivants selon les valeurs de K.

✓ *Pour K=1 :*

Pour K=1 le Eb/N0 requis est 10dB et le C/No requis est 10dB.

Le fichier Excel calcule le C/N0 (en dB.Hz) et le Eb/N0

Puissance de l'amplificateur	P_{sa1}= 52.2 dBW	P_{sa2}= 10 dBW	P_{sa3}= 0 dBW	P_{sa4}= -27.8 dBW
Fréquence de coupure du filtre KHz	1.2	1.2	1.2	1.2
C/No obtenu (dB°Hz)	121.9	76.7	69.7	41.9
C/No requis (dB)	10	10	10	10
C/No requis (dB Hz)	40.79	40.79	40.79	40.79
Eb/No obtenu (dB)	91.9	46.7	39.7	11.9
Eb/No requis (dB)	10	10	10	10
Marge pour Eb/No (dB)	80.9	35.7	28.7	0.9

✓ *Pour K=0.5:*

Pour K=0.5 le Eb/N0 requis est 11.5dB et C/No requis est 14.51 dB

Puissance de l'amplificateur	P_{sa1}= 52.2 dBw	P_{sa2}= 10 dBW	P_{sa3}= 0 dBW	P_{sa4}= -27.8 dBw
Fréquence de coupure du filtreKHz	0.6	0.6	0.6	0.6
C/No obtenu (dB Hz)	121.9	76.7	69.7	41.9
C/No requis (dB)	14.51	14.51	14.51	14.51
C/No requis (dB Hz)	42.29	42.29	42.29	42.29
Eb/No obtenu (dB)	91.9	46.7	39.7	11.9
Eb/No requis (dB)	11.5	11.5	11.5	11.5
Marge pour Eb/No (dB)	79.4	34.2	27.2	-0.6

✓ *Pour K=0.3 :*

On fixe toujours le BER a 10^-3 qui donne un Eb/N0 requis de 15dB et un C/No requis de 20.22 dB

Puissance de l'amplificateur	P_{sa1}= 55.2 dBw	P_{sa2}= 10 dBW	P_{sa3}= 0 dBW	P_{sa4}= -24.8 dBw
Fréquence de coupure du filtreKHz	0.36	0.36	0.36	0.36
C/No obtenu (dB Hz)	121.9	76.7	69.7	41.7
C/No recquis (dB)	20.22	20.22	20.22	20.22
C/No recquis (dB Hz)	45 .78	45 .78	45 .78	45 .78
Eb/No obtenu (dB)	91.9	46.7	39.7	11 .9
Eb/No requis (dB)	15	15	15	15
Marge pour Eb/No (dB)	75.9	30.7	23.7	-4.1

Remarque 4: Pour passer du dB au dB Hz on multiplie par la fréquence de coupure du filtre qui est également la bande passante.

2-Variation des marges pour le lien descendant:

Nous allons effectuer le même calcul pour le lien descendant.

Ci-dessous un extrait du fichier excelle pour la valeur de la puissance de l'amplificateur dans le pire cas et un Eb/No valant 11,5 dB (K=0,5).

Paramètres Lien Descendant (Satellite vers Station)		
Puissance Emission TM Satellite	**Unité**	**Valeur**
Puissance amplificateur TM	(dBW)	-3
Pertes harnais	(dB)	1,0
Gain de l'antenne TM satellite (selon direction d'arrivée considérée)	(dBic)	0,0
PIRE	(dBW)	-4,0
Pertes de propagation		
Pertes d'espace libre	(dB)	148,7
Atténuation des gaz atmosphériques	(dB)	0,0
Atténuation de la pluie	(dB)	0,0
Atténuation des nuages	(dB)	0,0
Scintillation	(dB)	0,1
Pertes de polarisation (fonction des taux d'ellipticité des antennes station et satellite)	(dB)	3,0
Pertes Totales	(dB)	151,8
Paramètres en réception TM (Station sol)		
Gain de l'antenne en réception TM de la station sol	(dBic)	8,3
Température de bruit Ciel (ciel clair)	(°K)	61,1
Température de bruit Sol	(°K)	260,0
Température du Feeder	(°K)	290,0
Pertes du Feeder	(dB)	1,0
Figure de bruit du récepteur sol TM	(dB)	2,0
Température de bruit Système chaîne de réception TM sol (cas ciel clair)	(dBK)	27,9
Température de bruit Système chaîne de réception TM sol (cas pluie / nuage)	(dBK)	27,9
Figure de Mérite en réception station: (G/T)	(dB/°K)	-19,6
Bilan de liaison lien descendant TM		
(C/N0) obtenu	(dB.Hz)	56,3
(Eb/N0) obtenu	(dB)	16,7
(Eb/N0) requis	(dB)	11,5
Pertes d'implémentation (modulation + démodulation, technologique)	(dB)	1,0
Marge du lien TM	(dB)	**4,2**

✓ *Pour K=1*

Pour K=1 le Eb/N0 requis est 10dB et C/No requis est 10dB

Le fichier Excel calcule le C/N0 (en dB.Hz) et le Eb/N0

Puissance (dBm)	27	30	33	36
Fréquence coupure filtre (KHz)	9.6	9.6	9.6	9.6
C/N0 (dB.Hz)	56.3	59.3	62.3	65.3
C/N0 requis (dB)	10	10	10	10
C/N0 requis (dB.Hz)	49.82	49.82	49.82	49.82
Marge C/N0	6.48	10	12.48	15.48
Eb/N0 requis (dB)	10	10	10	10
Eb/N0 (dB)	16.7	19.7	22.7	25.7
Marge Eb/N0 (dB)	5.7	8.7	11.7	14.7

✓ *Pour K=0.5*

Pour K=0.5 le Eb/N0 requis est 11.5dB et C/No requis est 14.51 dB

Puissance (dBm)	27	30	33	36
Fréquence coupure filtre (KHz)	4.8	4.8	4.8	4.8
C/N0 (dB.Hz)	56.3	59.3	62.3	65.3
C/N0 requis (dB)	14.5	14.5	14.5	14.5
C/N0 requis (dB.HZ)	51.31	51.31	51.31	51.31
Marge C/N0	4.99	7.99	10.99	13.99
Eb/N0 requis (dB)	11.5	11.5	11.5	11.5
Eb/N0 (dB)	16.7	19.7	22.7	25.7
Marge Eb/N0 (dB)	4.2	7.2	10.2	13.2

✓ *Pour K=0.3*

On fixe toujours le BER a 10^-3 qui donne un Eb/N0 requis de 15dB et un C/No requis de 20.22 dB

Puissance (dBm)	27	30	33	36
Fréquence coupure filtre (KHz)	2.88	2.88	2.88	2.88
C/N0 (dB.Hz)	56.3	59.3	62.3	65.3
SNR requis (dB)	20.22	20.22	20.22	20.22
SNR requis (dB.Hz)	54.81	54.81	54.81	54.81
Marge C/N0	1.49	4.49	7.49	10.49
Eb/N0 requis (dB)	15	15	15	15
Eb/N0 (dB)	16.7	19.7	22.7	25.7
Marge Eb/N0 (dB)	0.7	3.7	6.7	9.7

Pour ce genre de modulation la majorité des radios amateurs utilisent un K=0.5

Dans cette situation les 3 valeurs du K peuvent être utilisées vu l'importance de la marge obtenue.

5- Choix du matériel:

Après avoir listé les principaux composants de la station sol, nous allons proposer un exemple de matériels qui réponde à la spécification de la mission.

Le Tranciever KENWOOD TS 2000:

Emetteur-récepteur fonctionnant en tout mode sur la bande radioamateur, des fréquences HF jusqu'à 1,2 GHz. Il contient un récepteur secondaire indépendant pour les bandes 144 MHz et 430 (440) MHz. Il s'occupe aussi de la gestion du doppler, et peut être piloté par l'ordinateur et par le programme de tracking.

Caractéristiques :

Puissance de sortie : 50W.

Remarque 6: Dans certains cas on peut se passer de l'amplificateur de puissance.

Sensibilité : 0.28uV avec une impédance d'entrée de 50 ohm

Remarque 7 : Il est calculé précédemment que la puissance reçue au niveau de la station sol en lien descendant atteint les -118dBm dans le pire des cas, cet appareil possède une sensibilité pouvant détecter une puissance qui atteint $10\text{xlog}(U^2/R) = -127\text{dBm}$, on peut dans ce cas se passer du préamplificateur.

Prix estimé: 1700 Euros

Kenwood TS-2000 (référence I.)

Amplificateur de puissance Mirage B-320G :

Amplificateur VHF 144-148MHz, il donne une puissance de sortie de 200W à partir d'une puissance d'entrée de 50W (envoyée par le Kenwood)

Prix estimé :499$

Mirage B-320G (référence J.)

Motorisation des antennes :

Azimut : **Yaesu G-1000 DX (10-24 V D.C)**, permettant une rotation alimentée en courant continu dont la tension peut être variable. A vitesse maximale, une rotation de 360° est obtenue en 40 secondes. *(Prix estimer : 500$)*

Elévation : **Yaesu G-550 (29 V A.C.)**. Il s'agit du rotor YAESU G550 permettant une rotation de 180°. Il est alimenté en 29V alternatif. *(Prix estimer 410$)*

Yaesu G-1000 DX

Yaesu G-550

(référence K.)

Pilotage des antennes :

La SATDRIVE est une interface utilisée dans le monde des radios amateurs qui permet de piloter le moteur d'azimut et le moteur d'élévation d'un groupe d'antennes. Le fonctionnement peut être choisi, commande automatique à partir du PC ou manuellement à partir des boutons poussoirs de façade. La précision de la lecture n'est assurée par un A/D 12bits (LTC1298), que si l'on possède des potentiomètres de recopie correcte, et permet le suivi à partir de 0,1 degrés. Le choix de cette précision est défini entre 0,1 et 0,9 degrés par l'utilisateur en fonction de la qualité mécanique de son matériel.

SatDrive

Logiciel SatDrive

(référence L.)

Conclusion

En parcourant les liaisons montantes et descendantes entre la station sol et le satellite, il nous a été possible d'établir un bilan de liaison général, en passant par tous ses éléments. Ainsi, il sera possible d'assurer un lien radio entre le satellite et la station sol pour et ajuster à cette dernière les équipements suivant les besoins du projet.

D'un point de vus personnel, ce projet nous a appris énormément, aussi bien sur le plan humain que technique. Il nous a fait découvrir les éléments composant une station sol dans le cadre d'une mission spatiale et nous a permis d'enrichir notre expérience d'un savoir technique jusqu'à présent inconnu. J'entends par là les nombreuses connaissances inhérentes à la modulation RF, aux télécommunications en général, au monde des radioamateurs, ou encore celui des CubeSats.

Une autre face d'un projet est le travail en équipe. En effet, il a fallu également penser aux interactions avec les autres sous-systèmes. Des réunions avec d'autres personnes responsables d'autres sous-systèmes ont été nécessaires afin de prendre conscience de possibles contraintes mais principalement pour définir les interfaces entre ces sous-systèmes.

ANNEXE

BE CIC - Architecture S/S Télécoms
Date : 11/06/2013
Lien : TM / TC et TMCU

Version DLL Propagation : 20100917

Paramètres généraux Liens TM/TC Satellite		
Station Lien Montant (Télécommande)	**Unité**	**Valeur**
Latitude	(°)	48,5
Longitude	(°)	2,2
Altitude	(km)	0,1
Diamètre de l'antenne parabolique	(m)	2,3
Efficacité de l'antenne	(%)	100
Polarisation (circulaire = 45°)	(°)	45
Distance	(km)	1 489,1
Station Lien Descendant (Télémetrie)		
Latitude Station	(°)	48,5
Longitude Station	(°)	2,2
Altitude	(km)	0,1
Diamètre de l'antenne parabolique	(m)	0,7
Efficacité de l'antenne	(%)	70
Polarisation (circulaire = 45°)	(°)	45
Distance	(km)	1 489,1
Paramètres Liens TM/TC Satellite		
Débit utile binaire	(Mbps)	0,00
Débit symbole (utilisation d'un code correcteur de rendement 1/2)	(Mbauds)	0,00
Fréquence lien montant (TC)	(GHz)	0,146
Fréquence lien descendant (TM)	(GHz)	0,436
Disponibilité lien montant (TC)	(%)	99,900
Disponibilité lien descendant (TM)	(%)	99,900

Paramètres Lien Montant (Station vers Satellite)		
Puissance Station lien montant (TC)	**Unité**	**Valeur**
Puissance de l'amplificateur	(dBW)	52,2

Pertes harnais RF	(dB)	1,0
Gain max. de l'antenne d'émission	(dBic)	11,0
PIRE	(dBW)	62,2
Pertes de propagation		
Pertes d'espace libre	(dB)	139,2
Atténuation des gaz atmosphériques	(dB)	0,0
Atténuation de la pluie	(dB)	0,0
Atténuation des nuages	(dB)	0,0
Scintillation	(dB)	0,0
Pertes de polarisation (selon les taux d'ellipticité des antennes station et satellite)	(dB)	6,0
Pertes Totales	(dB)	145,2
Paramètres en réception TC (satellite)		
Gain de l'antenne satellite en réception (selon direction d'arrivée considérée)	(dBic)	0,0
Pertes du harnais RF	(dB)	1,0
Température de bruit du harnais RF	(°K)	290,0
Figure de bruit du récepteur TC bord	(dB)	1,0
Température de bruit Système chaîne de réception TC bord	(dBK)	26,6
Figure de mérite en réception TC: (G/T)	(dB/°K)	-26,6
Bilan de liaison lien montant TC		
(C/N0) obtenu	(dB.Hz)	118,9
(Eb/N0) obtenu	(dB)	88,9
(Eb/N0) requis	(dB)	10,0
Pertes d'implémentation	(dB)	1,0
Marge du lien TC	(dB)	**77,9**

Paramètres Lien Descendant (Satellite vers Station)		
Puissance Emission TM Satellite	**Unité**	**Valeur**
Puissance amplificateur TM	(dBW)	-3
Pertes harnais	(dB)	1,0
Gain de l'antenne TM satellite (selon direction d'arrivée considérée)	(dBic)	0,0
PIRE	(dBW)	-4,0
Pertes de propagation		
Pertes d'espace libre	(dB)	148,7
Atténuation des gaz atmosphériques	(dB)	0,0
Atténuation de la pluie	(dB)	0,0
Atténuation des nuages	(dB)	0,0
Scintillation	(dB)	0,1
Pertes de polarisation (fonction des taux d'ellipticité des antennes station et satellite)	(dB)	3,0
Pertes Totales	(dB)	151,8

Paramètres en réception TM (Station sol)		
Gain de l'antenne en réception TM de la station sol	(dBic)	8,3
Température de bruit Ciel (ciel clair)	(°K)	61,1
Température de bruit Sol	(°K)	260,0
Température du Feeder	(°K)	290,0
Pertes du Feeder	(dB)	1,0
Figure de bruit du récepteur sol TM	(dB)	2,0
Température de bruit Système chaîne de réception TM sol (cas ciel clair)	(dBK)	27,9
Température de bruit Système chaîne de réception TM sol (cas pluie / nuage)	(dBK)	27,9
Figure de Mérite en réception station: (G/T)	(dB/°K)	-19,6
Bilan de liaison lien descendant TM		
(C/N0) obtenu	(dB.Hz)	56,3
(Eb/N0) obtenu	(dB)	26,3
(Eb/N0) requis	(dB)	10,0
Pertes d'implémentation (modulation + démodulation, technologique)	(dB)	1,0
Marge du lien TM	(dB)	**15,3**

Calcul de la distance de propagation pour les orbites LEO considérées comme circulaires

Planète	Earth		Rayon	6378	km
			Durée jour	24h00	
Altitude de l'orbite	650	km	m	3,98601E+14	m3/s²
			ohmega²	1,14827E-06	na
Elevation sol minimum	20	°			
			Doppler Max	6,42	km/s
			TC	3126	Hz
Période orbitale	5863,52	s	TM	9334	Hz
	01:37:43	hh:mm:ss			
			Var Dop Min	6,17	m/s²
Distance	1489,1	km	TC	3,0	Hz/s
Angle Nadir (bord)	58,5	°	TM	9,0	Hz/s
Durée max. Visibilité	374,103208	s	Var Dop Max	79,19	m/s²
	00:06:14	hh:mm:ss	TC	38,5	Hz/s
			TM	115,1	Hz/s

Positions géographiques de quelques stations sol usuelles

	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (km)
Goldstone	35,35	243,15	0,945
Madrid	40,43	355,75	0,855
Canbera	-35,4	149	0,678
New Norcia	-31,05	116,19	0,235
Kourou	5,1	307,35	0,117
HBK	-25,88	27,7	1,56
Aussaguel	43,43	1,50	0,3
Villafranca	40,42	355,75	0,82
Kiruna	67,86	20,96	0,402
Natal	-5,50	324,5	0,1
WFF	37,93	284,52	0,02
PFF	67,12	212,54	0,5
Pamatai	-17,58	210,42	0,6
Paranal	-24,62	289,76	2,635
Redu	50,01	5,14	0,36
Kerguelen	-49,35	70,26	0,03
Svalbard	78,23	15,39	0,45