cnes JANUS	**Réf. : IGOSAT-XX-X-XXX-XXXXX** **Edition : 1 Date : 10-05-14** **Révision : 0 Date :**
université PARIS DIDEROT PARIS 7 — LabEx UnivEarthS	iGOSAT UnivEarthS — Ionospheric and gamma-ray observations Satellite

RAPPORT FINAL : TELECOMMUNICATION « BORD ».

CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.

Résumé : Ce document présente le rapport final du groupe Télécommunication « Bord » pour la réalisation du projet IGOSAT, rédigé par des élèves de deuxième année de l'Ecole d'Ingénieurs Denis Diderot (EIDD).

Il est destiné aux personnes ayant à intégrer le projet IGOSAT et se spécialisant dans le domaine des télécommunications des satellites.

Ce rapport se divise en deux chapitres : une étude bibliographique et un cahier de manipulations.

	Date	Signature
Préparé par : RAKOTONIRAINY Matthieu, REIS LOUREIRO Lionel, SAGHIRI El Hacen, SALIANI Ariane, RENARD Salomé, KASSEM Omar, LEFORT Laurent, LAAMARTI Ouaïs		
Approuvé par :		
Pour application :		

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Ed.	Rev.	Date	Modifications	Visa
1	0	xx/xx/xxxx	Création du document	

Diffusion

Liste de diffusion	Restreint	Non restreint
Equipe IGOSAT		Non restreint

TABLES DES MATIERES

TABLES DES SCHEMAS ET TABLEAUX 5

1. PRESENTATION DU PROJET : 6
1.1. HISTORIQUE : 6
1.2. PROJET IGOSAT : 6

2. ETUDE DU SYSTEME DE TELECOMMUNICATION DE LA PLATEFORME : 7
2.1. CONTRAINTES LIESS AU SOUS-SYSTEME DE TELEMETRIE : 7
2.1.1. Contraintes de la plate-forme : 7
2.1.2. Frequences de communication : 7
2.2. PROBLEMATIQUES : 8
2.3. OBJECTIFS FIXES : 8
2.4. PRESENTATION DU RAPPORT : 8
2.5. GLOSSAIRE ET ABREVIATION : 9

3. ETUDE DU MODULE RADIO AMSAT-F : 10
3.1. ETUDE DES DIFFERENTS MODULES ET MICROCONTROLEUR SUR LE MARCHE : 10
3.1.1. Les différents modules radio sur le marché : 10
3.1.1.1. Tableau comparatif : 10
3.1.1.2. Bilan : 11
3.1.1.3. Quelques illustrations des differents modules : 12
3.1.2. Les différents microcontrôleurs sur le marché : 12
3.1.2.1. Définition : 12
3.1.2.2. Critères de sélection : 13
3.1.2.3. MSP430F1611 : 13
3.1.2.4. 16-bits PIC24 : 15
3.1.2.5. 32-bits AT91SAM7SE512 ATMEL 16
3.1.2.6. Développement et déploiement du software : 17
3.1.2.7. Bilan : 17
3.2. PRESENTATION GENERALE DU MODULE AMSAT-F : 18
3.2.1. Utilisation du module : 18
3.2.2. Architecture fonctionnelle et architecture des composants électroniques : 18
3.2.2.1. Architecture fonctionnelle : 18
3.2.2.2. Architecture des composants electroniques du Module AMSAT-F : 19
3.2.3. Interfaces externes : 19
3.3. LES FONCTIONS DANS LE MODULE AMSAT-F : 20
3.3.1. LMR1 : 20
3.3.2. DTMF : 21
3.3.3. CTCSS : 21
3.3.4. PA : 22
3.3.5. Protocle A(X-25) : 22
3.3.5.1. Transmissions par paquets, X25 et securite : 22
3.3.5.2. Format général de l'entête de paquets AX.25 : 22
3.4. MODES DE FONCTIONNEMENT : 24
3.4.1. Télémétries : 24
3.4.2. Transmissions de données : 25
3.4.3. Cartes embarquées : 26
3.4.3.1. Carte bande de base : 26
3.4.3.2. Cartes TX/RX : 26
3.4.3.3. Interactions des cartes avec le satellite : 26

3.4.4. Modem 9600/Décodeur 9600 : 27

4. ORGANISATION DU TRAVAIL ET REPARTITIONS DES TACHES : 29

4.1. PRESENTATION DES MEMBRES DU GROUPE : 29
4.2. ORGANISATION DU TRAVAIL : 29
4.3. REPARTITIONS DES TACHES : 29
4.3.1. Phase 1 du projet : 30
4.3.2. Phase 2 du projet : 30
4.4. REMERCIEMENTS : 31
4.5. BILAN DU PROJET : 31
4.6. BIBLIOGRAPHIE : 32

TABLES DES SCHEMAS ET TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau comparatif de différents modules radio page 10

Tableau 2 : Les 4 modes de la carte page 25

Tableau 3 : Tableau des consommations page 27

Schéma 1 : Représentation de l'architecture fonctionnelle du nanosatellite page 18

Schéma 2 : Schéma électronique du module AMSAT page 19

Schéma 3 : Schémas blocs illustrant les interfaces externes page 20

Schéma 4 : Représentation du format général de l'entente de paquets AX25 page 23

Schéma 5 : Mode de fonctionnement entre la station sol et la station bord page 24

Schéma 6 : Récapitulatif des transmissions de données entre station sol et station bord page 25

Schéma 7 : Principe de fonctionnement du MODEM/DECODEUR 9600 page 27

Schéma 8 : Diagramme de Gantt page 31

1. PRESENTATION DU PROJET :

1.1. HISTORIQUE :

C'est en 1999 dans les universités de Caltech et Stanford que les premiers modèles et les standards de satellite « Cubesat » sont conçus. Un « Cubesat » est alors considéré comme un satellite « miniaturisé » avec les caractéristiques principales suivantes :

- cube de 10 centimètres de côté.
- masse d'environ un kg.

On qualifiera un tel satellite de « nano » de par sa taille. Le nanosatellite est présenté comme un outil permettant à un plus grand nombre d'institutions publiques et privées, de par le monde, d'accéder au domaine des technologies et de l'exploration spatiale.

Les premiers lancements ont eu lieu en 2003 dans le but de réaliser des tests. De nombreux projets ont depuis été élaboré comme l'AAUSAT-II à l'université d'Aalborg (2008) permettant de réaliser des expériences de mécanique spatiale comme la détection de sursauts gamma, SwissCube de l'EPFL (2009) ayant pour but de mesurer sur la lumière du ciel nocturne ou encore PharmaSat de l'Institut Ames de la NASA et université de Santa Clara, mettant en évidence des expériences de biologie en microgravité.

Aujourd'hui, de nombreux projets dans le monde liés au nanosatellite sont en train de naître et de se développer notamment en Équateur, au Japon, en Hongrie ou encore en Inde.

1.2. PROJET IGOSAT :

Au sein du Campus Spatial Paris-Diderot, dans le cadre du Laboratoire d'Excellence (LabEx) UnivEarthS, les laboratoires AIM, APC et IPGP se sont associés pour lancer ce projet de nanosatellite, entièrement conçu et développé par des étudiants.

Le satellite IGOSAT de l'Université Paris-Diderot embarquera une charge utile scientifique double. Placé sur une orbite polaire héliosynchrone, entre 600 et 700 kilomètres d'altitude, IGOsat améliorera notre connaissance des particules de haute énergie piégées dans les ceintures de radiation, ainsi les mesures de la densité d'électrons dans l'ionosphère (c'est-à-dire dans les couches supérieures ionisées de l'atmosphère, au-dessus de 50 km d'altitude) et la corrélation de ces phénomènes avec l'activité solaire.

Plus spécifiquement, le nano-satellite IGOSAT emportera à son bord deux charges utiles: d'une part un récepteur GPS et d'autre part un détecteur de photons et d'électrons.

2. ETUDE DU SYSTEME DE TELECOMMUNICATION DE LA PLATEFORME :

2.1. CONTRAINTES LIESS AU SOUS-SYSTEME DE TELEMETRIE :

2.1.1. CONTRAINTES DE LA PLATE-FORME :

Le satellite est actuellement dans la phase 0, où les équipes responsables des différents sous systèmes en définissent les interfaces et les contraintes. Les informations donnée dans cette partie sont susceptibles de changer, mais garderont a priori le même ordre de grandeur (pour les informations quantitatives).

Le satellite aura une orbite polaire à une altitude d'environ 800 km. La plate-forme aura les caractéristiques suivantes :

Volume : 30x10x10 m^3;
Puissance disponible : ~ 3 W ;
Masse disponible : ~ 3 kg ;

Ces valeurs seront utilisés avec une marge de 20 % pour dimensionner les sous systèmes.

2.1.2. FREQUENCES DE COMMUNICATION :

Dans le secteur des télécommunications, il existe une réglementation qui établit les normes d'attribution des différentes bandes de fréquences pour les émissions et les réceptions des ondes entre les différents services (militaire, navigation, communication avec les sous-marins...). La fréquence de communication d'un satellite doit respecter les normes internationales qui déterminent les bandes de fréquence 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 et provoquer des interférences.

Des organisations telles que l'ITU (International Telecomunication Union) et l'IARU (International Amateur Radio Union) ont attribué des bandes de fréquence radio destinées aux radioamateurs. Ces bandes de fréquence sont très avantageuses car la licence d'émission des radiofréquences est simple à obtenir.

Un large choix de fréquences régulièrement réparties sur le spectre des radios fréquences est disponible, cependant plusieurs contraintes nous ont menés à restreindre ce choix. Tout d'abord, le rayonnement solaire peut ioniser les hautes couches de l'atmosphère terrestre, ce qui peut entrainer une réflexion des ondes radio de fréquence décamétrique (supérieur à 10 cm) sur celle-ci. Dans les hautes fréquences, le problème de la réflexion ne se pose pas, mais la transmission de l'onde peut être facilement gênée par d'éventuels obstacles.

Il a donc été choisi de s'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 privilégiera la bande 430 - 460 MHz pour les communications descendantes (satellite -> sol) et la bande 144 -

146 MHz pour les communications montantes (sol -> satellite). Ces fréquences correspondent de plus aux fréquences utilisées généralement sur les CubeSat.

2.2. PROBLEMATIQUES :

Notre satellite nécessite l'utilisation d'un module radio permettant la communication du sol vers le satellite et réciproquement. Le groupe télécommunication « bord » a donc posé plusieurs problématiques pour la réalisation de ce projet ce projet.

Problématique 1 : Quelles sont les contraintes architecturales auxquelles notre module devra être soumis ?

Problématique 2 : Quel type d'antenne émettrice/réceptrice sera utilisé ?

Problématique 3 : Quels sont les protocoles de communication utilisés par le module radio de notre satellite et comment faire de la télémétrie ?

2.3. OBJECTIFS FIXES :

Objectif 1 : Réaliser une étude bibliographique sur la communication satellitaire.

Objectif 2 : Mettre au point une station émettrice/réceptrice en collaboration avec le groupe « Station sol ».

Objectif 3 : Mettre au point des protocoles de communication bord/sol.

Objectif 4 : Effectuer des tests pour s'assurer que les 2 systèmes bord/sol soient capables de communiquer.

2.4. PRESENTATION DU RAPPORT :

Ce document est destiné aux personnes ayant à intégrer le projet IGOSAT et se spécialisant dans le domaine de télécommunication du satellite.

Le document est décomposé en trois parties :

- Etude de la conception du module radio AMSAT-F : cette partie établit le lien entre l'architecture fonctionnelle du module et son architecture physique
- Etude de la spécification du module radio AMSAT-F : cette partie définie les fonctions réalisées par le module, ce que contient le module et identifie les différents protocoles utilisés.
- Protocoles de manipulation / Cahier de manipulation : cette partie décrit les manipulations réalisées ainsi que les résultats obtenus.

2.5. GLOSSAIRE ET ABREVIATION :

ODB : Ordinateur De Bord

VHF : Very High Frequency (144 MHz – 146 MHz)

UHF : Ultra High Frequency (430 MHz – 460 MHz)

RSSI : Receive Signal Strengh Indicator

BF : Basse Fréquence

PA : Power Amplification

CTCSS : Continuous Tone Code Squelch System

DTMF : Dual-Tone Multi-Frequency

FCS : Frame Check Sequence

FEC : Forward Error Correction

CRC : Contrôle de Redondance Cyclique

HDLC : High Level Data Link Control

CAN : Convertisseur Analogique Numérique

3. ETUDE DU MODULE RADIO AMSAT-F :

3.1. ETUDE DES DIFFERENTS MODULES ET MICROCONTROLEUR SUR LE MARCHE :

3.1.1. LES DIFFERENTS MODULES RADIO SUR LE MARCHE :

3.1.1.1. TABLEAU COMPARATIF :

	Module radio pour CubeSat AMSAT_F	ISIS UHF downlink / VHF uplink Full Duplex Transceiver	CMC - CubeSat UHF Downlik / VHF Uplink Transceiver	CMCi - CubeSat VHF Downlink / UHF Uplink Transceiver	CubeSat UTRX; Half Duplex UHF Transceiver
CARACTERISTIQUES					
Prix (en dollars $)	1373	11561,4	8600	8600	8600
Masse (g)	89	85	< 90	< 90	< 90
Dimensions (mm)	82x90x21	96x90x15	96x90x15	96x90x15	96x90x15
Alimentation en Volt	6,0-8,4	5,0-18,0	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0
Gamme de Température (°C)	[-20:45]		[-25:61]	[-25:61]	[-25:61]
SPECIFICATIONS UHF TRANSMITTER					
Gamme de fréquence UHF en MHz	[435:438]	[400:450]	[420:450]	[130:150]	[420:450]
Protocole UHF	AX25 / FX25	AX25	AX25	AX25	AX25
Debit de donnés UHF (bps)	9600	1200-9600			
Puissance Emetteur (W)		<2,0	[4:10]	[4:10]	[4:10]
SPECIFICATIONS VHF RECEIVER					
Gamme de fréquence VHF en MHz	[145,8:146]	[130:170]	[130:150]	[420:450]	[420:450]
Protocole VHF	AX25 / FX25	AX25	AX25	AX25	AX25
Debit de donnés VHF (bps)	1200	1200			
Puissance Recepteur (W)		<0,35	<0,250	<0,250	<0,250

Tableau 1 : Tableau comparatif de différents modules radio

On se propose pour satisfaire à nos besoins de comparer quatre modules radios. Le tableau donné ci-dessus nous permet de faire ces comparaisons de chaques caractéristiques qui constituent ces modules.

Le CMCi - CubeSat VHF Downlink / UHF Uplink Transceiver et le CubeSat UTRX; Half Duplex UHF Transceiver ne conviennent pas car le premier présente des liaisons descendantes en VHF et des liaisons montantes en UHF et le second présente des liaisons montantes et descendantes en UHF. Or, l'antenne d'émission-réception vers la Terre devra fonctionner sur les fréquences VHF dans le cas des liaisons montantes (uplink) et UHF pour les liaisons descendantes (downlink).

La consommation moyenne en puissance de notre module doit être inférieure à 3W, et sa masse ne doit pas dépasser 3 kg. Le CMC - CubeSat VHF Downlink / UHF Uplink n'apparaît pas comme un module rentable car la puissance minimale requise en émission environ de 4 W, risque de se révéler encore trop importante, en fonction des besoins des autres appareils.

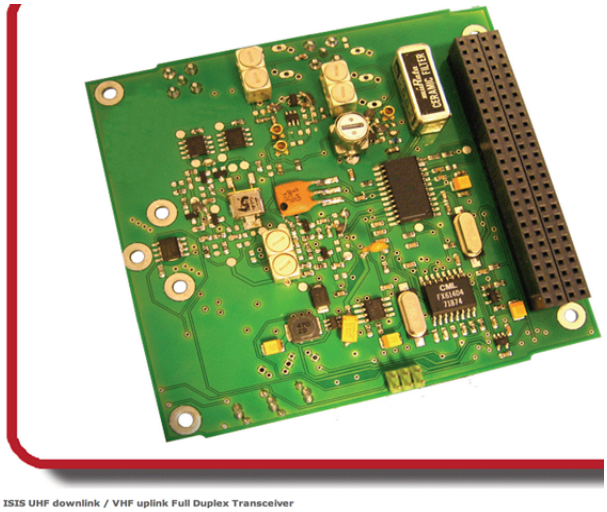
3.1.1.2. BILAN :

Compte tenu des caractéristiques de notre nano satellite, ainsi que des critères définis auxquels doivent répondre notre module radio, on constate que ISIS UHF downlink / VHF uplink Full Duplex Transceiver et AMSAT_F semblent être les module les mieux adaptés à notre besoin. La capacité d'émettre et de recevoir des signaux avec le même appareil permet un gain de place et de poids très appréciable. La gamme de fréquence sur la bande UHF est comprise entre 400 MHz et 450 MHz pour le premier et le deuxième entre 435 MHz et 438 MHz et un débit de donné, dans le premier cas, pouvant aller de 1200 à 9600 bits/s et un débit des liaisons montantes de 1200 bits/s et dans le second un débit de donné en UHF de 9600 bps et en VHF de 1200 bps. La puissance requise en émission, < 2 W, fait du ISIS UHF downlink / VHF uplink Full Duplex Transceiver un module plus rentable en terme de consommation par rapport au CMC - CubeSat VHF Downlink / UHF Uplink.

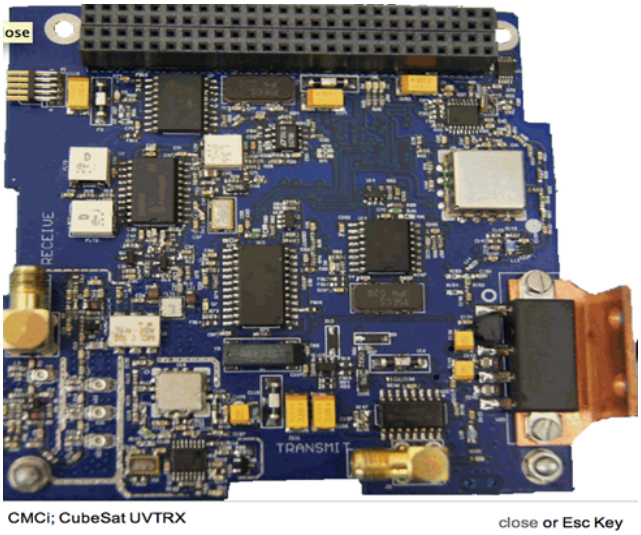
La consommation moyenne en puissance du module radio apparaît comme un paramètre à tenir en compte. En effet, par exemple, le vol du satellite sera de 1h30, et sera en émission pendant une durée de 10 minutes. Seulement 1/9 de la puissance en émission sera alors utilisée. Il est judicieux de choisir un module qui consommera moins en terme de puissance en émission afin de répartir la puissance sur d'autres composantes du système et améliorer ainsi la performance du satellite. Dans le cas du ISIS UHF downlink / VHF uplink Full Duplex Transceiver, seulement 220mW serait utilisée.

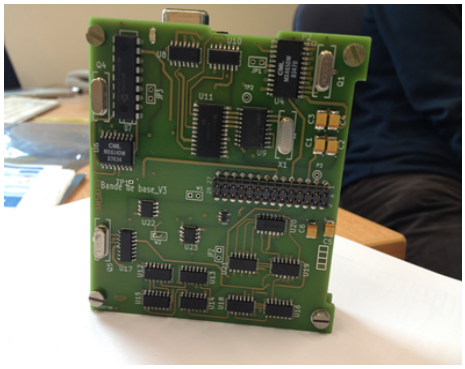
On décide donc de s'approprier le MODULE AMSAT-F et de réaliser notre étude et nos expériences avec ce module-ci.

3.1.1.3. QUELQUES ILLUSTRATIONS DES DIFFERENTS MODULES :



ISIS UHF downlink/ VHF uplink Full Duplex Transceiver





Notre carte : Module AMSAT-F

3.1.2. LES DIFFERENTS MICROCONTROLEURS SUR LE MARCHE :

3.1.2.1. DEFINITION :

Un microcontrôleur est un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires, unités périphériques et interfaces d'entrées sorties. Il gère toutes les tâches se déroulant au sein du satellite. La programmation de l'ordonnancement des différentes tâches du satellite est effectuée dans le microcontrôleur. Il assure également le stockage et le transfert des données vers l'émetteur. Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique, une vitesse de fonctionnement plus faible par rapport au microprocesseur.

Nous allons par la suite travailler avec un circuit arduino qui nous permettra par la suite de mieux dimensionner notre microcontrôleur, il faudra connaître nos entrées/sorties et les besoins.

3.1.2.2. CRITERES DE SELECTION :

Afin de proposer une liste de microcontrôleurs nous avons mis en place une série de critères indispensables pour le bon fonctionnement du nanosatellite.

Voici la liste de critères proposés :

- Faible consommation
- Vitesse de calcul
- Mémoire nécessaire pour le traitement de données
- Certifié spatial

3.1.2.3. MSP430F1611 :

MSP430 est le nom d´une famille de microcontrôleur de la marque Texas instruments. Cette famille de microcontrôleurs est particulièrement bien adaptée à une application telle qu'un nanosatellite. D'une part par son faible coût et d'autre part grâce à sa basse consommation. Il a été utilisé pour le premier nanosatelitte belge (OUFTI-1).

Elle a deux modes de fonctionnement :

- Active mode

- Low power mode

Voici une représentation des broches :

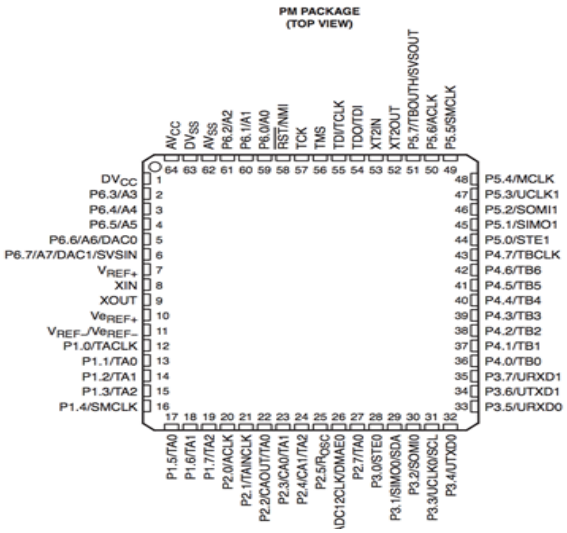


Tableau comparatif entre 2 technologies de boitier :

Ce tableau comparatif a été réalisé grâce au site FARNELL qui est un site de vente de composants électroniques.

Comparer les Produits Retour au catalogue Produits

Supprimer les articles	Retirer	Retirer
Code Commande	1470487	1537172
Image		
Fabricant Réf. fabricant	TEXAS INSTRUMENTS MSP430F1611IPM	TEXAS INSTRUMENTS MSP430F1611IRTDT
Conformité RoHS	Oui	Oui
Description	IC, MICROCONTROLLER, 16BIT, SMD Famille / Série de contrôleur:MSP430F1xx Program Memory Size:48KB Taille mémoire, RAM:10KB Vitesse de processeur:8MHz Nombre d'E/S:48 Type de boîtier CI numérique:LQFP Nombre de broches:64 Type d'interface embarquée:I2C, SPI, UART Tension, alimentation min.:1.8V Tension, alimentation max..:3.6V Type de packaging:Peel Packaging Gamme de tension d'alimentation:1.8V à 3.6V MSL:MSL 3 - 168 heures Nombre d'entrées CAN:8 Nombre de bits:16 bit Nombre de timers:3 Peripherals:CAN, Comparateur, CNA, DMA, Minuterie SVHC:No SVHC (16-Dec-2013) Taille de mémoire de programme:48KB Taille du Coeur:16bit Taille mémoire, FLASH:48KB Température de fonctionnement:-40°C à +85°C Température de fonctionnement max..:85°C Température d'utilisation min:-40°C Type d'oscillateur:Externe, Interne Type de terminaison:SMD	MICROCONTROLEUR FLASH ULTRA LO PWR Famille / Série de contrôleur:MSP430F1xx Program Memory Size:48KB Taille mémoire, RAM:10KB Vitesse de processeur:8MHz Nombre d'E/S:48 Type de boîtier CI numérique:QFN Nombre de broches:64 Type d'interface embarquée:I2C, SPI, UART, USART Tension, alimentation min.:1.8V Tension, alimentation max..:3.6V Type de packaging:Unitaire Gamme de tension d'alimentation:1.8V à 3.6V MSL:MSL 3 - 168 heures Nombre d'entrées CAN:8 Nombre de timers:2 Peripherals:CAN, Comparateur, CNA, DMA, Minuterie SVHC:No SVHC (16-Dec-2013) Taille de mémoire de programme:48KB Taille du Coeur:16bit Taille mémoire, FLASH:48KB Température de fonctionnement:-40°C à +85°C Température de fonctionnement max..:85°C Température d'utilisation min:-40°C Type d'oscillateur:Externe, Interne Type de terminaison:SMD
Prix par qté	16,00 €	15,03 €
Prix Pour	1 Pièce	1 Pièce
Disponibilité	190 **190** en stock pour une livraison le jour ouvrable suivant (Stock UK) Voir plus de produits en stock...	99 **99** en stock pour une livraison le jour ouvrable suivant (Stock UK) Voir plus de produits en stock...
Information technique		
Equivalent/Accessoire	Accessoires	Accessoires
Qté	1 OK	1 OK

Ces deux microcontrôleurs font partie de la famille des MSP430. La différence notable entre eux est le type de boitier. Le 1er est composé d'un boitier QFP[1], le 2eme d'un boitier QFN[2]. Comme il a deja ete teste dans l'espace dans un nanosatellite, et a toutes les caractéristiques pour un bon fonctionnement dans notre nanosatellite.

---

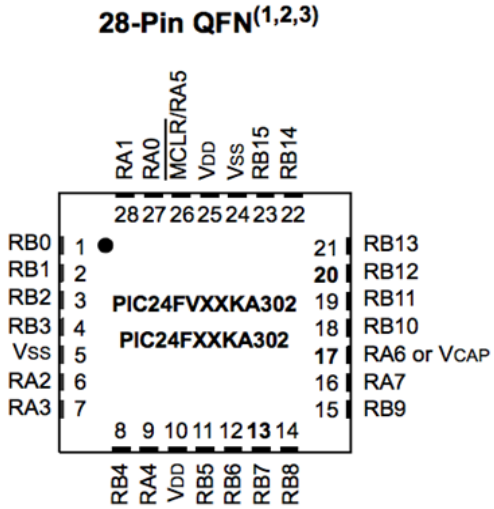
[1] ***Quad Flat Package** (**QFP**) est un type de boîtier de circuit intégré destiné à être directement soudé sur circuit imprimé.*

[2] ***Quad Flat No leads** (**QFN**) est un type de boitier similaire au QFP cependant les plages de soudure sont sous le composant*

3.1.2.4. 16-BITS PIC24 :

Les microcontrôleurs PIC forment une famille de microcontrôleurs de la société Microchip. Ces microcontrôleurs sont dérivés du PIC1650 développé à l'origine par la division microélectronique de General Instruments.

Voici une représentation des broches :



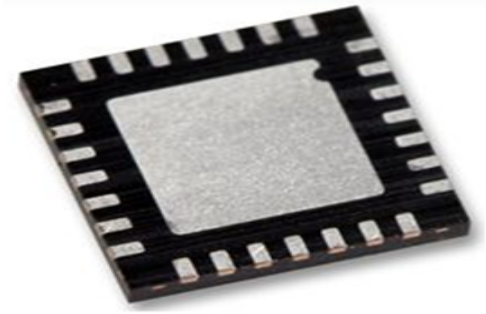


Image non contractuelle - Seulement à titre dillustration.
Veuillez vous reporter au descriptif technique.

Fabricant: MICROCHIP
Code commande: 2308037
Référence fabricant: PIC24F16KM202-I/ML.
Technical Data Sheet (3.59MB) EN

Informations produit

- IC, 16BIT MCU, PIC24F, 16MIPS, QFN-28
- Controller Family/Series: PIC24F
- Core Size: 16bit
- Program Memory Size: 16KB
- RAM Memory Size: 2KB
- CPU Speed: 32MHz
- No. of I/O's: 24
- Digital IC Case Style: QFN
- No. of Pins: 28
- No. Comparators: 3

3.1.2.5. 32-BITS AT91SAM7SE512 ATMEL

Ce microcontrôleur très performant et à basse consommation est conçu pour des applications embarquées et notamment dans l'espace.

- **ARM7, 512K FLASH, 91SAM7, LQFP128**
- **Architecture:** ARM7TDMI
- **Program Memory Size:** 512KB
- **Taille mémoire, RAM:** 32KB
- **Vitesse de processeur:** 48MHz
- **Nombre d'E/S:** 88
- **Type de boîtier CI numérique:** LQFP
- **Nombre de broches:** 128
- **Type d'interface embarquée:** EBI, EMI, I2C, SPI, SSC, UART, USART
- **Tension, alimentation min.:** 1.65V
- **Tension, alimentation max..:** 1.95V
- **Type de packaging:** Unitaire
- **Caractéristiques du microprocesseur/contrôleur:** USB, 2x USART, SPI, SSC
- **Comms Série:** USB, 2x USART, SPI, SSC
- **Famille / Série de contrôleur:** AT91SAM7xxxxx
- **Gamme de tension d'alimentation:** 1.65V à 1.95V, 3V à 3.6V
- **MSL:** MSL 3 - 168 heures
- **Nombre d'entrées CAN:** 8
- **Nombre de bits:** 32 bit
- **Nombre de bits CAN:** 10
- **Nombre de timers:** 3
- **Nombre de voies PWM:** 4
- **Numéro générique du CI:** 91SAM7
- **Peripherals:** CAN
- **SVHC:** No SVHC (16-Dec-2013)
- **Taille de mémoire de programme:** 512KB
- **Taille du Coeur:** 32bit
- **Taille mémoire, FLASH:** 512KB
- **Température de fonctionnement:** -40°C à +85°C
- **Température de fonctionnement max..:** 85°C
- **Température d'utilisation min:** -40°C

- Conformité RoHS: Oui
- Certificat de conformité RoHS
- **poids (kg):** 0.008889
- **Tarif Douanier:** 85423190
- **Pays d'origine:** US États-Unis
  Pays dans lequel la dernière étape de production majeure est intervenue

Cette catégorie de microprocesseurs a servi de microcontrôleur pour des projets de nano satellite notamment le AAUSAT-II, nano satellite danois envoyé en 2008 dans l'espace.

3.1.2.6. DEVELOPPEMENT ET DEPLOIEMENT DU SOFTWARE :

La programmation du microcontrôleur peut se faire soit en assembleur, soit en C/C++. L'environnement de développement du logiciel sera réalisé avec AvrStudio. Pour pouvoir tester le code sur le microcontrôleur il est nécessaire d'avoir un kit de test.

Par exemple :

Kit de développement, 16 bits, MSP430, MSP-EXP430G2, Mini USB Cable

Prix HT pour la pièce	
Veuillez vous identifier pour visualiser vos conditions d'achat S'identifier	
Quantité	Prix unitaire
1	9,35 €

En stock pour livraison le prochain jour ouvré, si commandé avant 19h00

Vérifier le stock en temps réel | 1 | Commander

Code commande RS	712-2649
Fabricant	Texas Instruments
Référence fabricant	MSP-EXP430G2
Etat RoHS	RoHS
Page	988

Commentaire produit (0) Ajouter un commentaire

3.1.2.7. BILAN :

Une comparaison avec 3 microcontrôleurs a été réalisée avec les différentes caractéristiques de chacun. Une sélection doit désormais être effectuée en groupe afin de fixer le microcontrôleur qui sera utilisé dans le nanosatellite. On mettra en avant la famille de processeurs de MSP430F1611 qui répond à toutes les exigences imposées par un nanosatellite, et qui a déjà été testé dans l'espace.

Remarque : Pour la mise en place des tests un microcontroleur a déjà été choisit par Mr Auvray. Il s'agit d'un microcontroleur de la famille des PIC.

3.2. PRESENTATION GENERALE DU MODULE AMSAT-F :

3.2.1. UTILISATION DU MODULE :

Le module radio AMSAT-F permet une transmission des données provenant de l'ODB à 9600 bps au format AX25/FX25, une transmission de données en CW (morse) à une vitesse de 10 à 12 mots minutes, une fonction de relais FM avec déclenchement par CTCSS, une génération d'une impulsion de reset sur réception d'une commande DTMF et mise à disposition pour le reste du satellite et assure aa réception des télécommandes venant du sol et à destination de l'ODB. En liaison montante, on se placera à une fréquence VHF à 144 MHz et en liaison descendante, on se placera à une fréquence UHF à 433.9 MHz.

3.2.2. ARCHITECTURE FONCTIONNELLE ET ARCHITECTURE DES COMPOSANTS ELECTRONIQUES :

3.2.2.1. ARCHITECTURE FONCTIONNELLE :

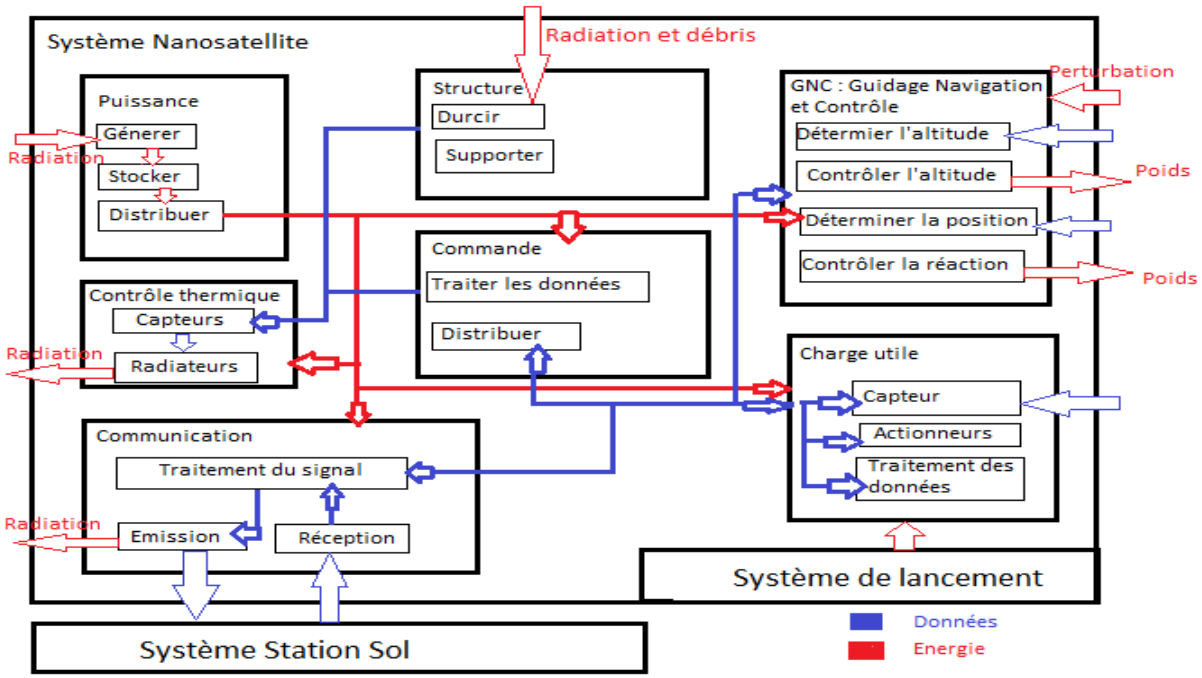


Schéma 1 : Représentation de l'architecture fonctionnelle du nanosatellite :

3.2.2.2. ARCHITECTURE DES COMPOSANTS ELECTRONIQUES DU MODULE AMSAT-F :

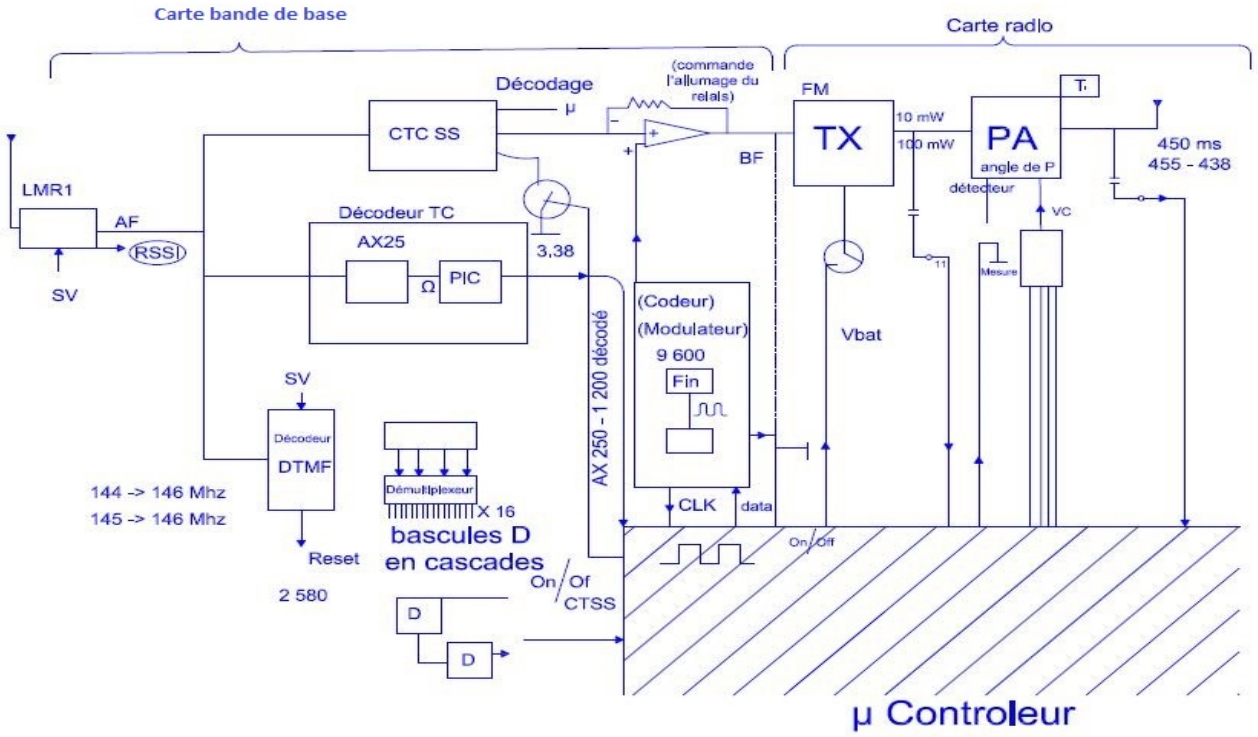
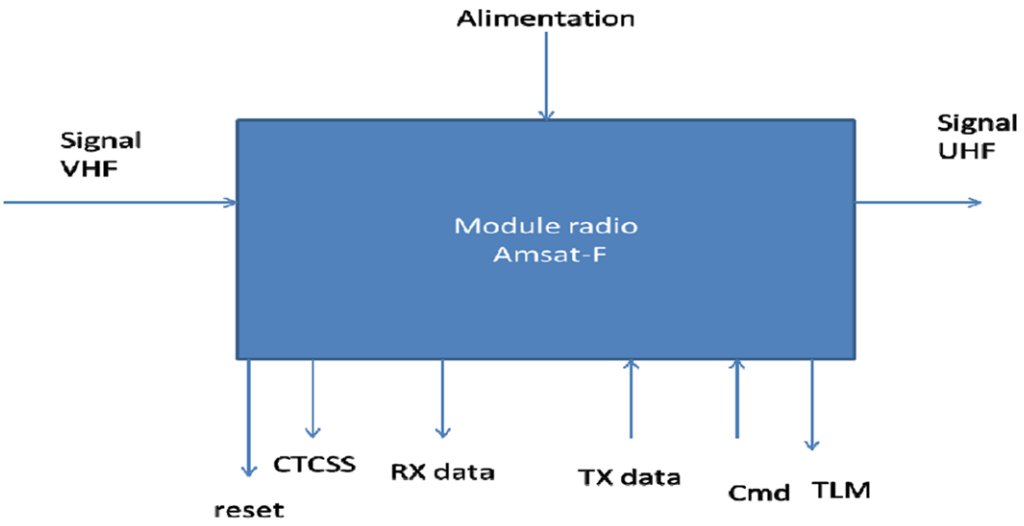


Schéma 2 : Schéma électrique du module AMSAT

3.2.3. INTERFACES EXTERNES :



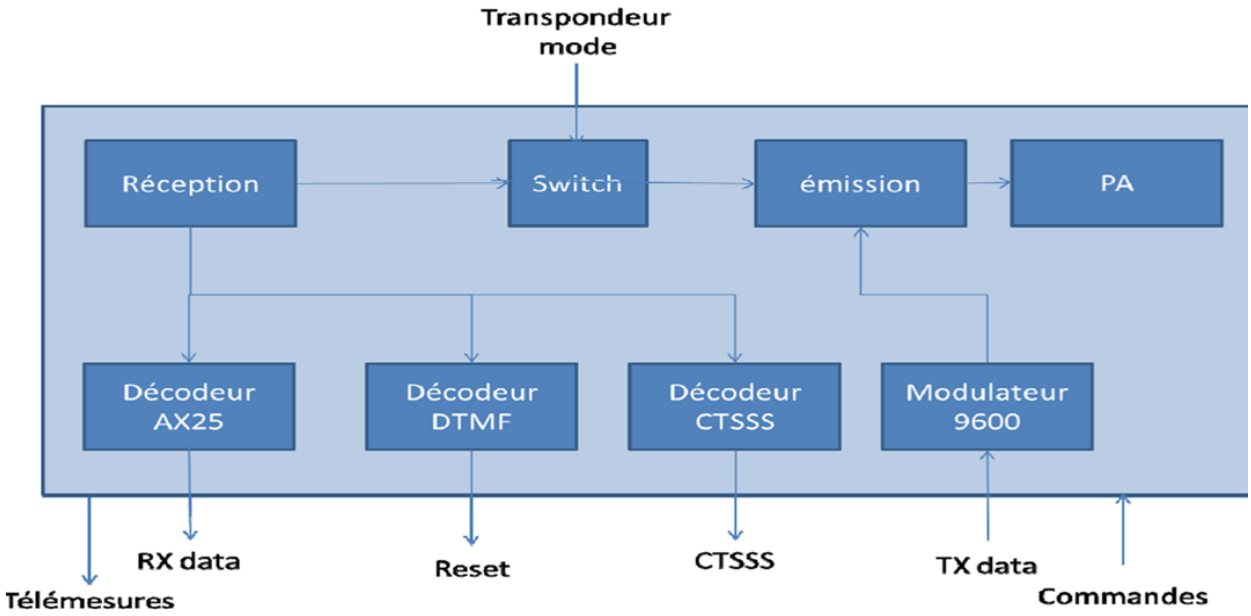


Schéma 3 : Schémas blocs illustrant les interfaces externes

3.3. LES FONCTIONS DANS LE MODULE AMSAT-F :

3.3.1. LMR1 :

Le LMR1-144-5 (144 correspond à la bande de fréquence) est un récepteur crée par la société radiometrix. C'est un module qui fonctionne entre 144 MHz et 146 MHz. C'est une fréquence radio amateur avec une sous bande qui est réservée particulièrement pour le trafic satellite qui est de 145,8 à 146 MHz. Dans notre cas, il est réglé à 144.00.

Ce récepteur sort de l'audio fréquence et on sort un autre signal qu'on appelle RSSI (Receive Signal Strengh Indicator) : c'est un indicateur de niveau de signal. Ce signal est en audio fréquence que l'on peut traiter de plusieurs façons. On va avoir un premier circuit qui va être un décodeur DTMF et qui fera un reset.

Remarque : Il faut savoir que dans l'espace il y a des ions lourds ; lorsqu'ils traversent une porte logique dans un microprocesseur par exemple, ils risquent de modifier la mémoire interne du microprocesseur.

3.3.2. DTMF :

Un code DTMF (dual-tone multi-frequency) est une combinaison de fréquences utilisée pour la téléphonie. Cette technologie permet l'envoi de signaux sous forme de fréquences couplées, c'est-à-dire que chaque couple de fréquences correspond à un signal précis.

Dans un DTMF all Tech 9170, on entend une tonalité qui correspond à un mélange de deux fréquences BF. On a 16 possibilités. Ce circuit les décode et les sort sur 4 bits grâce à un démultiplexeur. Il faut des diodes pour pouvoir changer le code. Des bascules « d » en cascade permettent de faire un reset lorsqu'on envoie une certaine information. Le code programmé est « 2580 » : il s'agit d'un code facile car sur le clavier DTMF les touches sont alignées. Une fois que l'on fait « 2580 », on retombe à zéro puis on fait un reset. Pour débloquer le reset, on tape n'importe quel autre chiffre sauf « 2580 ».

3.3.3. CTCSS :

En radiocommunication, le dispositif CTCSS est un système de réception sélective utilisé sur certains émetteurs-récepteurs pour réduire la gêne par d'autres utilisateurs partageant une même fréquence radio. À l'émission, l'émetteur transmet simultanément le signal utile et une tonalité inaudible choisie dans une bande de fréquence comprise entre 67 et 254 Hz. À la réception, seuls les récepteurs programmés pour réagir à la tonalité choisie à l'émission débloquent leur haut-parleur, les autres restent muets. Lorsque plusieurs réseaux partagent la même fréquence radio, ceci évite la gêne par des communications n'utilisant pas de CTCSS ou bien utilisant des tonalités de fréquences différentes.

Pour faire simple, disons que le système CTCSS permet de privatiser la fréquence en créant plusieurs sous canaux (38 exactement) sur une même fréquence. Cependant, le CTCSS n'améliore en rien la disponibilité de la ressource radio. Il empêche simplement aux utilisateurs ayant choisi d'autre sous canaux sur la même fréquence d'avoir accès à l'information.

Dans notre cas, le décodeur CTCSS décode une tonalité en sous porteuse. Quand on fait de l'audio, on passe d'une fréquence de 300 Hz à 3000 Hz. On émet alors une sous porteuse comme étant une autre tonalité, à 270,4 Hz et qui sera détectée par ce décodeur.

Le CTCSS possède un switch. Quand il va décoder cette fréquence, il va reboucler la fréquence audio du récepteur vers l'émetteur : on fait un relais radio. Ce switch sera commandé par le microprocesseur. Ceci évite de faire passer le satellite en mode émission pour rien. Seulement les personnes qui auront émis cette sous porteuse pourront déclencher le mode émission du satellite.

Il faut noter que le CTSS décode une tonalité qui reboucle au niveau BF mais c'est au niveau du microprocesseur que l'information est traitée

Ainsi pour une personne située en France, au moment où le satellite sera au-dessus de la France ou de l'Allemagne, on pourra faire une connexion France-Allemagne avec un simple talkie-walkie.

3.3.4. PA :

Le PA est un module réglable en 4 niveaux de puissance (P1, P2, P3, P4). Lors de l'émission, on prépositionne la puissance de l'émetteur soit à P1=0,5W, soit à P2=1W, soit à P3=1,5W ou bien à P4=2W. Ce module peut fournir une puissance de sortie allant jusqu'à 7W. Cependant, il faut que la batterie sorte de l'énergie et il faut penser à refroidir le module radio.

On a une sonde de température, une télémétrie dont il faudra traiter les données. Lorsque la température dépasse 70 degrés on coupe l'émetteur, quand la température baisse au moins à 65 degrés on autorise à repasser en émission.

3.3.5. PROTOCLE A(X-25) :

3.3.5.1. TRANSMISSIONS PAR PAQUETS, X25 ET SECURITE :

La recommandation X25 et celles qui lui sont associées (X3, X28, X29, X121, …) ont servi de base à la réalisation du réseau Transpac (transmission par paquets). L'objet de cette communication est d'analyser ce qui dans X25 constituait un apport à la sécurité du transport de l'information.

Les principales motivations pour mettre en place un réseau de données par paquets étaient :

- L'aspect pratique : faciliter la mise en relation de deux équipements de traitement de données.
- L'aspect économique : mutualiser l'infrastructure de transmission.

Les principaux apports de cette technique sont :

- Une utilisation optimisée des liens d'interconnexion.
- Une grande souplesse de mise en relation des différents utilisateurs par l'adaptation automatique des caractéristiques des raccordements.
- La possibilité de multiplexer plusieurs communications simultanées avec des correspondants différents sur le même lien d'accès physique au réseau.
- L'amélioration de la qualité de transmission par la mise en œuvre de codes et de protocoles de contrôle pour fiabiliser les données transmises (transmission CTCSS par exemple).

3.3.5.2. FORMAT GENERAL DE L'ENTETE DE PAQUETS AX.25 :

Le protocole AX.25 ("Amateur X.25") est utilisé dans les transmissions de données par radio en mode paquet (packet radio) typiquement dans les bandes de fréquences VHF et UHF. Les débits typiques vont de 300 bauds à 9600 bauds. Il est aussi utilisé dans les satellites radioamateurs pour les communications avec la Terre.

AX.25 a malheureusement des performances relativement médiocres en présence de bruit : chaque bit erroné invalide complètement le CRC ce qui rend un paquet entier inutilisable.

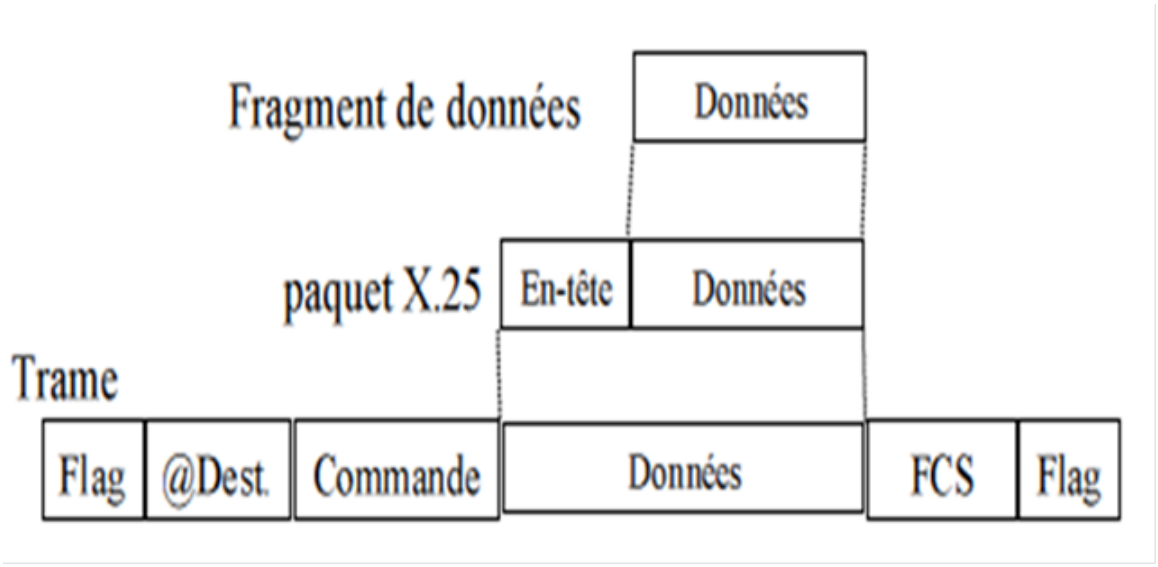


Schéma 4 : Représentation du format général de l'entente de paquets AX25.

Caractéristique de l'AX25 version 2.0 :

- format et codage des trames : HDLC.
- Capacité de transport des trames d'informations (256 octets).
- Numérotation des trames : modulo8 (de 0 à 7).

Une trame HDLC est une trame qui commence par un flag c'est-à-dire une synchronisation, suivi des data correspondants des adresses en format adapté au radio amateur (5 caractères).

Ensuite, ces datas peuvent être transmises avec une capacité de 0 à 256 octets, suivi d'un CRC normalisé et un autre flag pour fermer la trame. Le décodeur AX25 est basé sur un circuit décodeur de tonalité Bell 202 piloté par un microcontrôleur. Ce décodeur recherche la trame d'entrée, détecte un début de phrase et il reconnaît la fin de trame. Enfin, il met en mémoire tous les bits, fait le calcul du CRC, et vérifie que le CRC calculé correspond au CRC donné. Le problème est qu'on ne fait que de la détection d'erreur, et non de la correction. Il suffit qu'il y ait un bit de faux et on jette la trame. Cette séquence correspond au CRC calculée sur les champs adresse + commande + données.

Le FCS est un code ajouté après les données pour détecter d'éventuelles erreurs de transmission. Il est codé habituellement sur 16 bits, mais après négociation entre les deux interlocuteurs, il peut être sur 32 bits.

Le bit stuffing : Cette lecture de séquence peut être confrontée à un problème. En effet, le décodeur recherche le motif Flag en entrée et le motif Flag en sortie. Cependant, il est possible que les data transmettent une séquence de bits « 111111 » équivalente à un motif Flag. Le décodeur peut alors croire à une fin de trame. Le principe du bit stuffing consiste donc à éviter la séquence « 111111 » lors de la lecture des données et la remplacer par la séquence suivante « 111110 ».

Remarque 1 : Il existe un mode étendu du protocole AX25 appelé EAX25, l'idée est l'exploitation d'un mode étendu de numérotation de trame, le champ de numérotation passe de 3bits à 7bits et donc

donne une numérotation modulo128 (de 0 à 127). Ce mode n'est utilisé pour l'instant que pour la téléphonie terrestre.

Remarque 2 : Il existe un protocole de transmission de données par la radio, hérité de AX.25, auquel est rajoutée une couche de correction d'erreur FEC appelé FX.25. Cette correction réduit le nombre de retransmissions nécessaires, et améliore la capacité du canal dans le cas de transmission unidirectionnelle. Le taux de trames décodées peut alors passer de 15 % à 45 %. FX.25 pour être compatible avec AX.25, tant en mode connecté que sans connexion, est conçu de façon à s'ajouter à l'infrastructure AX.25 sans devoir la modifier.

3.4. MODES DE FONCTIONNEMENT :

3.4.1. TELEMETRIES :

Le module radio ne possède pas de capacité de calcul. Pour exploiter le module il est nécessaire de mettre une œuvre une carte à base de microprocesseur pour piloter les modes de fonctionnement du module et de générer les trames de télémétries.

Dans notre nano satellite, on a un certain nombre de télémétries. Lorsque le satellite est dans l'espace, l'utilisateur est devant une console, on ne voit le satellite qu'à travers l'écran de pc. Il faut alors prévoir des télémétries comme la tension des panneaux solaires, une mesure de courant, une mesure tension batterie, des mesures de courant pour savoir comment fonctionnera le satellite.

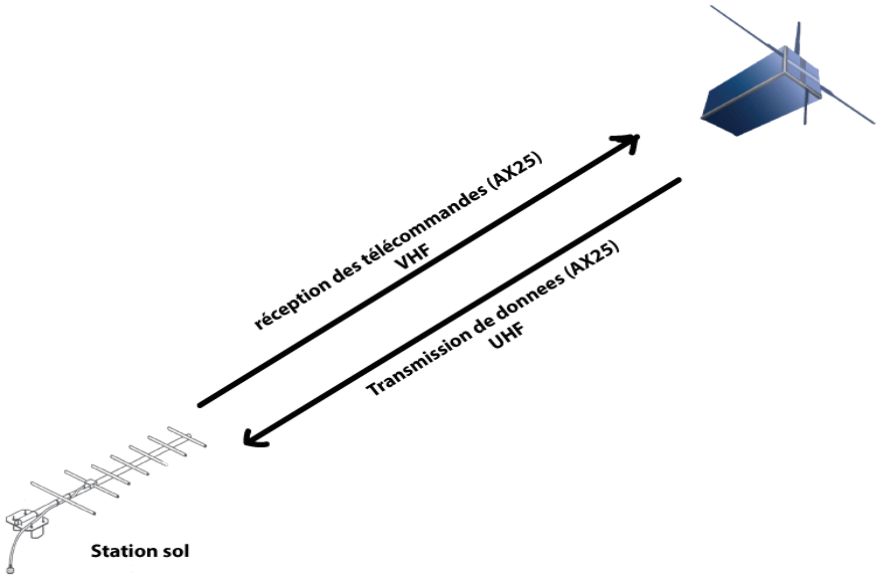


Schéma 5 : Mode de fonctionnement entre la station « sol » et la station « bord »

3.4.2. TRANSMISSIONS DE DONNEES :

Une fois la carte sous tension, les fonctions réception, décodeur AX25 et décodeur DTMF sont alimentées. Il est recommandé de positionner les commandes de la carte au niveau 0.

Quatre cas d'utilisation typique existent :

	Cas d'usage			
	Réception	Transpondeur	Emission télémesure CW	Emission télémesure 9600 bauds
ON/OFF_CTCSS	0	1	0	0
ON/OFF_TX	0	1	1	1
ON/OFF_9600	0	0	0	1
ON/OFF_PA	0	1	1	1

Tableau 2 : Les 4 modes de transmissions de la carte

Ces quatre cas d'utilisation ne sont pas exclusifs. Il sera nécessaire que les fonctions nécessaires soient alimentées. Le tableau ci-dessus donne la relation entre le cas d'utilisation et l'état des signaux de commandes. Lorsque la fonction PA est alimentée, le niveau de puissance doit être défini en positionnant une des commandes P1 à P4 à 1. Les commandes P1 à P4 doivent être exclusives. Une seule commande doit étre activée à la fois. L'activation de 2 commandes en même temps doit etre interdite par soft mais n'est pas destructif.

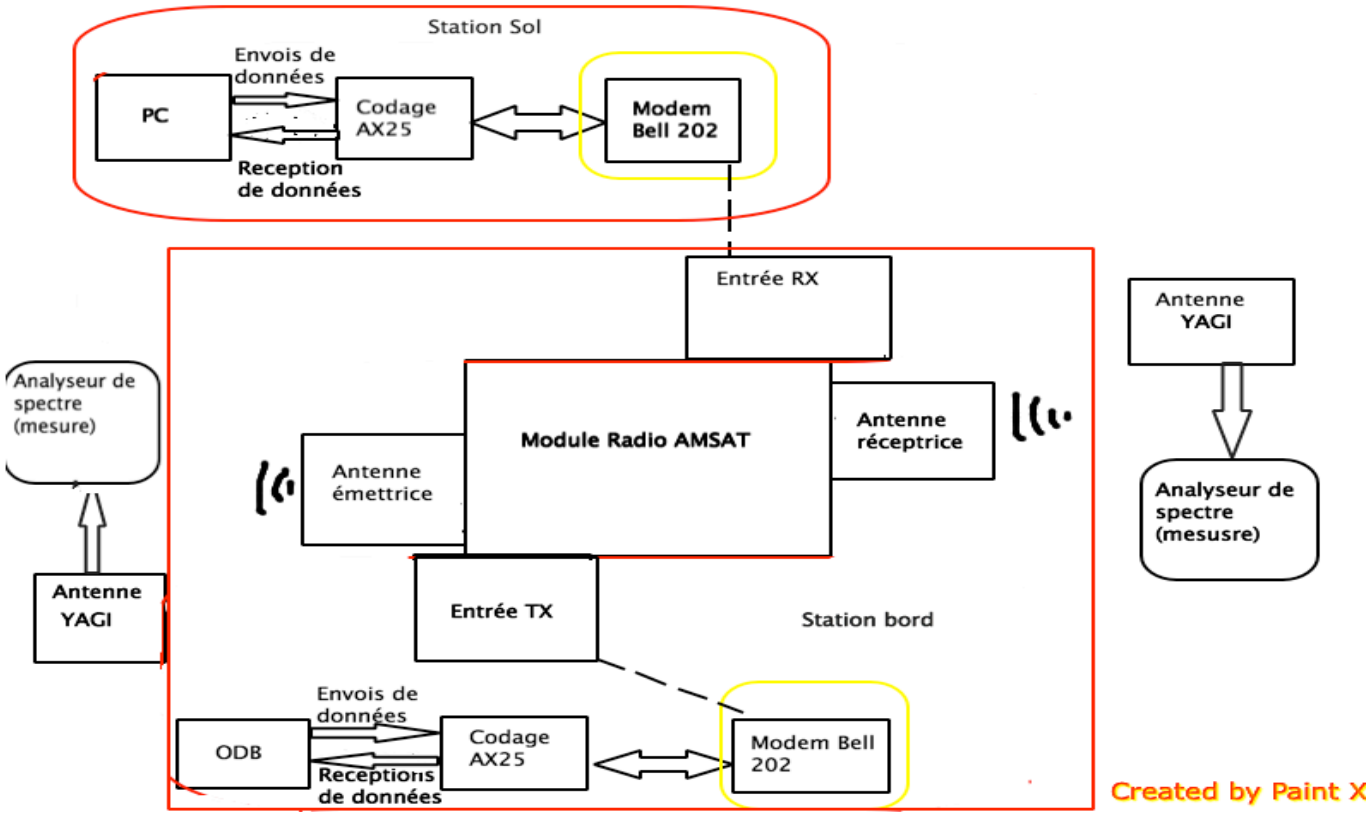


Schéma 6 : Récapitulatif des transmissions données entre la station « sol » et la station « bord ».

3.4.3. CARTES EMBARQUEES :

3.4.3.1. CARTE BANDE DE BASE :

Dimensions : 90,2 x 82 mm

Masse : 30 g

Rôle : Elle effectue le traitement des basses fréquences pour les décodages de signaux DTMF, AX25, CTCSS.

3.4.3.2. CARTES TX/RX :

Dimensions : 90,2 x 82 mm

Masse : 70 g

Rôle : Elle comprend les deux modules de transmission (TX) et de réception (RX) ainsi que l'ampli de puissance.

Ces cartes sont connectées entre elles par un connecteur SAMTEC, TSW-114-22-G-D.

3.4.3.3. INTERACTIONS DES CARTES AVEC LE SATELLITE :

Ces cartes sont dépourvues de microcontrôleur et ne peuvent encoder aucune donnée toutes seules.

Cependant, elles peuvent être reliées à l'ordinateur de bord à travers le connecteur SSQ-114-21-G-D, qui devra générer la trame AX-25 à transmettre et devra décoder les trames reçues.

Le module TX_RX dispose de deux prises MCX femelle R113426000 pour brancher deux antennes qui permettront l'émission d'une part et la réception de l'autre.

Afin de faire fonctionner le module de télécommunication il faudra le mettre sous une tension pouvant aller jusqu'à 7,5 V pour 1.4 A.

	Tension (V)	Mode RX (mA / P W)	Mode TX (mA / P W)
RX	Bat	13 / 0.065	
Décodeur CTCSS	3	1.5 / 0.0045	
Décodeur AX25	5	20 / 0.1	20/0.1
Décodeur DTMF	3	10 / 0.03	10/0.03
Codeur G3RUH	3		10 / 0.03
TX	5		90 / 0.45
PA	7.5 (Bat)		700 / 5.25
Puissance (W)		0.195	5.78
P (W) pour temps TX 1/5		0.195	1.15
P (W) pour temps TX 1/10		0.195	0.57

Tableau 3 : Tableau des consommations

3.4.4. MODEM 9600/DECODEUR 9600 :

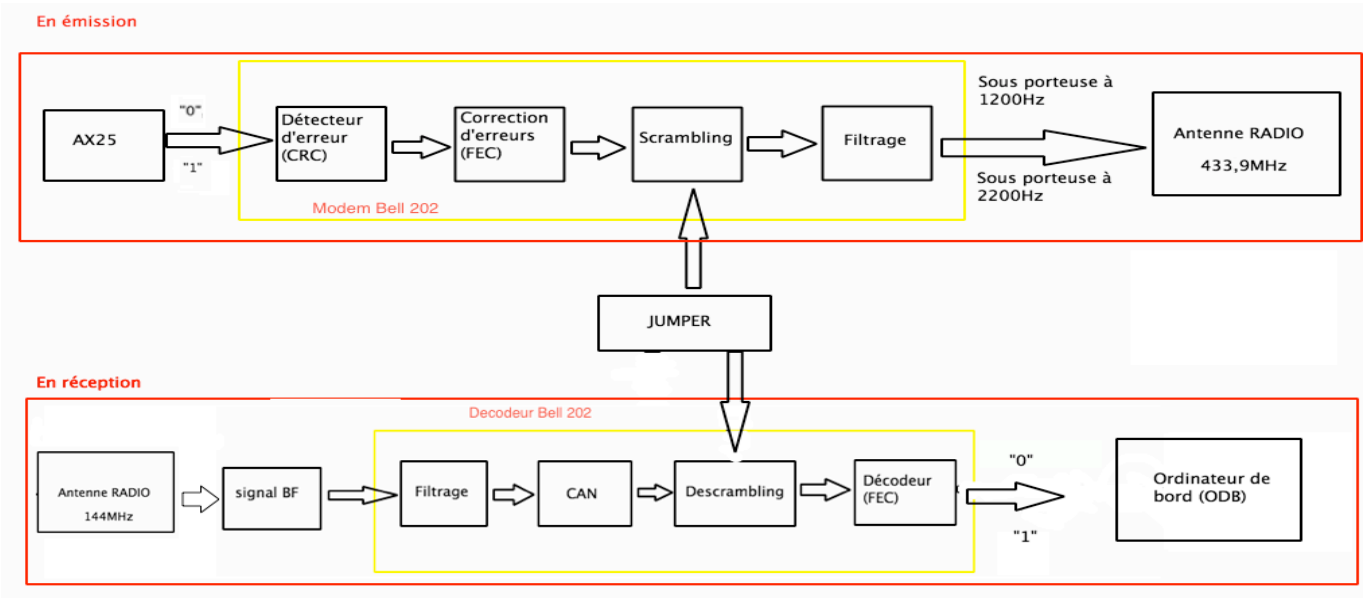


Schéma 7 : Principe de fonctionnement du MODEM/DECODEUR 9600.

Pour l'émission des télémétries du nanosatellite vers le sol, on fabrique la trame AX25 grâce au microprocesseur.

Les « 0 » et les « 1 » qui vont sortir vont se transformer grâce au modem 9600 codé en tonalité Bell 202. Il s'agit d'un dispositif qui vont transformer les « 0 » en une sous porteuse à 1200 Hz et les « 1 » à une sous porteuse à 2200 Hz (BF) à 9600 bauds pour faciliter la transmission vers un émetteur FM. Donc, le modem 9600 est donc un émetteur FM capable de faire de la modulation FM.

Ce modem est constitué notamment d'un scrambler qui a pour but de mélanger des bits selon une séquence aléatoire connu (puisqu'au niveau de la réception, on doit être capable de retrouver les bits) pour ne pas avoir de longue série de 0 et de 1 sinon on a un problème de composante continu. Le scrambler est ensuite suivi d'un filtre à réponse finie. Comme il n'est pas possible d'envoyer directement un signal à l'entrée de la modulation d'un émetteur, on est obligé de filtrer.En effet, si on module à 9600 bauds, on va avoir un bit. Ainsi, on n'aura pas eu le temps de décrire une sinusoïde à 1200 Hz lorsque le bit changera. C'est le prinicipe de la transmission numérique.

Au niveau de la réception des télécommandes du sol vers le nanosatellite, il va falloir faire l'opération inverse grâce à l'utilisation d'un décodeur 9600. Le signal BF est d'abord filtré puis transmis dans un CAN qui fait en même temps une démodulation. Une fois la démodulation effectuée, le signal sera descramblé. Le système récupère alors une clock à 9600 bauds.

Remarque : Il est parfois nécessaire, pour faire démarrer le scrambleur, de créer un parasite. On joue dans ce cas sur le jumper (à l'aide d'un tournevis) pour pouvoir enclencher le scrabbleur.

4. ORGANISATION DU TRAVAIL ET REPARTITIONS DES TACHES :

4.1. PRESENTATION DES MEMBRES DU GROUPE :

Nous sommes le groupe « télécommunication : émetteur/récepteur de la station bord», constitué de 8 membres de spécialités différentes :

MN : SALIANI Ariane, KASSEM Omar.

ASP : LAAMARTI Ouaïs, RENARD Salomé, RAKOTONIRAINY Matthieu

ILE : REIS LOUREIRO Lionel, SAGHIRI El Hacen, LEFORT Laurent

4.2. ORGANISATION DU TRAVAIL :

Durant ce projet, une séance était dédiée chaque vendredi pour rencontrer l'équipe pédagogique et les responsables du projet, puis coordonner le travail des membres du groupe. Nous avons organisé des réunions hébdomadaires au bâtiment LAMARCK à l'Université Paris Diderot pour réaliser des manipulations et structurer notre travail.

Notre projet s'est déroulé en deux phases :

La première phase était dédiée essentiellement à des recherches bibliographiques notamment pour comprendre et assimiler les différentes notions de télécommunication dans un satellite. Durant cette première phase, nous avons réalisé une étude comparative des différents modules et des différents microcontrôleurs sur le marché.

La deuxième phase consistait, une fois les éléments théoriques en main, de mettre en pratique nos connaissances et de réaliser les différentes manipulations liées au module AMSAT-F. (Cf. Cahier de manipulation).

4.3. REPARTITIONS DES TACHES :

Ariane est le chef de groupe. Son rôle principal était d'organiser le travail, de décomposer les taches, de rassembler les résultats et de rentrer en contact avec différents intervenants pour pouvoir nous aider.

La réalisation du projet s'est faite principalement en deux phases.

4.3.1. PHASE 1 DU PROJET :

Durant la première phase du projet, nous nous sommes répartis les tâches de la façon suivante :

Omar a aidé dans la bibliographie et la recherche des articles nécessaires pour accomplir ce projet.

Ouaïs et Salomé ont réalisé une étude sur les différents protocoles de communication et de transmission des données, et les décodeurs.

Matthieu a réalisé une étude comparative des différents modules afin de choisir à la fin le module le plus adapté à notre projet suivant des critères techniques bien précis.

Lionel, Hacen et Laurent ont travaillé sur l'étude des microcontrôleurs sur le marché afin de choisir celui qui serait le plus adapté à notre projet.

4.3.2.PHASE 2 DU PROJET :

Durant la deuxième phase, les manipulations ont été réalisées ensemble par groupe de 3 ou 4 personnes compte tenu de l'espace de la salle.

Pour la réalisation des protocoles expérimentaux et la mise en pratique de nos experiences, l'ensemble du groupe s'est consacré à comprendre comment alimenter et mettre sous tension le module radio afin que pour la suite des manipulations, tout le monde soit capable de travailler avec.

Lionel et Hacen ont focalisé leurs recherches sur la mise en place d'une communication entre un PC et la carte via un port série, et a essayé de comprendre comment utiliser l'HyperTerminal.

Pour visualiser les différents signaux sur les broches de test du module AMSAT-F, Ariane, Omar, et Lionel se sont renseignés sur la documentation du QB-50 du module AMSAT-F fournie par Monsieur AUVRAY.

Matthieu, Laurent, Ouaïs et Salomé se sont consacrés au fonctionnement du mode émission, en particulier l'émission d'une porteuse.

Pour la réalisation de la deuxième manipulation, nous avons divisé le travail en deux.

Ariane, Omar, Salomé et Laurent ont, de leur côté, effectué des recherches sur le fonctionnement du module réception du module AMSAT-F.

Matthieu, Lionel, Hacen et Ouaïs ont ensuite établi un protocole expérimental pour la réception d'une chaîne de caractère (envoyé de l'HyperTerminal) par le module AMSAT-F.

Enfin, Matthieu, Lionel, Hacen et Salomé se sont enfin intéressés au fonctionnement du mode transpondeur. Ils ont mis en œuvre un protocole permettant la réception de donnée en provenance du sol à 144 MHz qui est ensuite émise au satellite à 433.9 MHz.

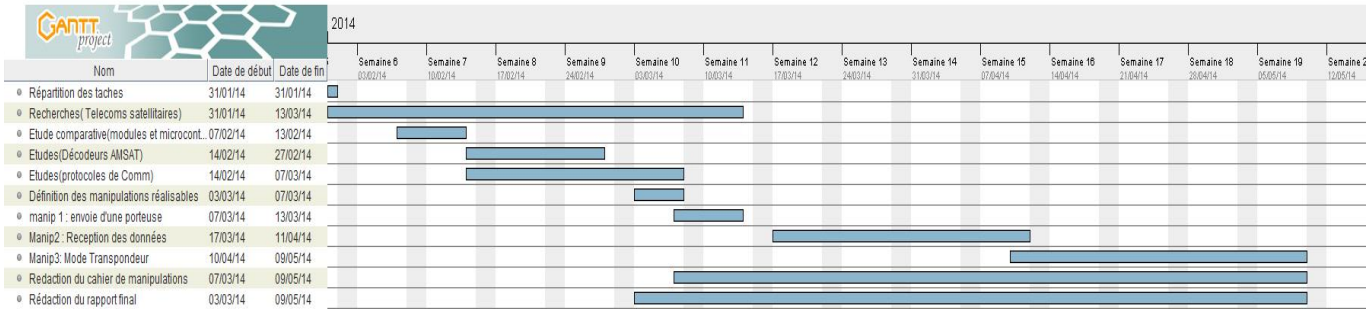


Schéma 6 : Diagramme de GANTT

4.4. REMERCIEMENTS :

Nous tenons à remercier avant tout les responsables du projet Monsieur HALLOIN Hubert, Madame COMBIER Natacha et Monsieur PRELE Damien pour leur aide et leur conseil dans la réalisation de ce projet.

Nous remercions aussi particulièrement Monsieur AUVRAY Gérard qui nous a fourni le module radio AMSAT et pour ces explications concernant le module et ceux qu'il contient. Nous avons pu comprendre les protocoles de communications utilisées dans les radios amateurs et celui spécialement utilisés pour la carte. Nous avons alors mis au point des bancs de test et des simulations pour tester la carte et mieux comprendre le principe de fonctionnement de celle-ci.

Nous tenons à remericier enfin Monsieur PIAT Michel, professeur d'electronique, pour sa contribution dans la réalisation des manipulations.

4.5. BILAN DU PROJET :

Ce projet a été une expérience bénéfique pour tous. Nous avons pu mettre en avant nos compétences spécifiques (en électronique et en informatique spécialement), et approfondir certaines connaissances dans d'autres champs disciplinaires. La cohésion de groupe a été un facteur important dans la réalisation de ce projet.

Nous avons pu mettre en pratique une démarche d'investigation : savoir observer, faire des recherches, questionner, formuler une explication possible (hypothèse), en utilisant éventuellement un modèle simple et chercher à la valider. L'élabaration d'un protocole expérimental ainsi que sa mise en œuvre nous a permis de développer notre sens de l'observation, d'éveiller notre curiosité par rapport aux phénomènes observés et d'avoir un esprit critique sur une situation observée. Par ailleurs, pour certains, nous avons pu nous initier à la lecture et à la compréhension d'une documentation orientée « électronique ».

4.6. BIBLIOGRAPHIE :

- Sites webs :

http://www.amsat-f.org/site/spip.php?rubrique14

http://www.ariss-eu.org/phase_2_document.pdf

http://www.lam.fr/formation/nanosat/

http://univearths.in2p3.fr/sites/default/files/Rapport_ChargeUtilev2.pdf

http://www.leodium.ulg.ac.be/cmsms/uploads/09-10_GND_NguyenNA.pdf

http://fr.wikipedia.org/wiki/CTCSS

http://www.radiometrix.com/files/additional/lmt1lmr1.pdf

http://fr.wikipedia.org/wiki/AX.25

http://www.amsat-f.org/site/spip.php?auteur4

- Documentations sur le Google Drive Univearths