

Remerciements

Je remercie tout d'abord le Professeur Gaëtan Kerschen (ULg) dont la stimulante rencontre a été le point de départ de ce travail ; merci à lui et à tous les membres du projet OUF^{TI}-1 pour m'avoir fait confiance en m'acceptant au sein de l'équipe.

Ce travail est le fruit de nombreuses collaborations, merci à toutes les personnes qui ont apporté leur contribution en faisant de cette expérience un vrai plaisir plutôt qu'une formalité de fin de parcours.

Plus particulièrement :

J'exprime toute ma reconnaissance et mes remerciements aux deux tuteurs, le Professeur Nathalie Vetcour (Institut Gramme) pour son suivi, ses encouragements et ses judicieux conseils concernant la rédaction de ce travail, et le Professeur Bernard Boigelot (ULg) pour son encadrement dans toute la partie technique de ce stage, ainsi que ses recommandations portant sur le contenu de ce travail.

J'exprime ma gratitude à Monsieur Luc Halbach (Directeur chez SpaceBel) et le Professeur Jacques Verly (ULg) pour leur dévouement.

Je remercie vivement Monsieur Paul Parisi et son collègue Monsieur Dominique Torette (spécialisés en systèmes embarqués chez Spacebel) pour leur aide dans l'élaboration du software de l'ordinateur de bord.

Grand merci aux étudiants et amis Johan Hardy, Lionel Jacques et Damien Teney, pour les échanges constructifs et l'entraide spontanée entretenus durant ces derniers mois.

Je remercie Monsieur Pascal Harmeling pour son aide dans l'utilisation du logiciel Altium lors de la réalisation de la carte électronique(PCB).

Je tiens également à remercier Monsieur Raphaël Michel pour sa gentillesse et sa disponibilité lors des soudages des microcomposants sur les cartes électroniques.

Pour terminer, je témoigne ma reconnaissance aux deux coordinateurs, Amandine Denis et Jonathan Pisane, pour l'excellente organisation dont ils ont fait preuve.

Chapitre 1 : Introduction

Tout ce qui touche à l'espace sera toujours sujet passionnant pour les ingénieurs ; l'espace est un des symboles forts du progrès technologique. C'est certainement pour cette raison que le projet de nanosatellite proposé par la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège était aussi attrayant. Nous étions ainsi treize étudiants en Master à plancher sur cette petite merveille technologique, neuf étudiants de l'ULG (principalement des ingénieurs civils), trois de l'Institut Gramme dont je fais partie (ingénieurs industriels polyvalents), et un étudiant de l'ISIL. Le travail réalisé au sein de cette équipe était particulièrement motivant puisqu'il permettait, pour ma part, de développer les connaissances acquises en électronique, matière qui constitue mon choix d'orientation.

Pour la petite histoire...

Un projet de micro-satellite sommeillait depuis 2004 ; son nom de code était « Leodium », c'est-à-dire Liège en latin. En septembre 2007, Jacques Verly (professeur à l'Institut Montéfiore) reçoit un appel du directeur commercial de la société « Spacebel » située à Liège, Luc Halbach. Celui-ci, ingénieur civil électronicien, est aussi passionné de radio-amateur. Il a une idée, celle de mettre la nouvelle technologie de radio-communication D-Star (Digital Smart Technologies for Amateur Radio) sur les bandes radio-amateur. Le protocole D-Star est un petit bijou de technologie avec un signal parfait, un son pur ; il a la possibilité de transmettre, simultanément, en plus de la voix, des données numériques : coordonnées GPS, fichiers MP3, etc...

C'est ainsi que les quatre initiateurs de ce magnifique projet technologique et pédagogique, Jacques Verly, Luc halbach, Gaëtan Kerschen (professeur en mécanique et aérospatial) et Pierre Rochus (Centre Spatial de Liège) vont encadrer trois étudiants : Stefania Galli (milanaise), venue terminer son master en mécanique et aérospatial à l'ULg, Jonathan Pisane et Philippe Ledent, tous deux futurs ingénieurs électroniciens. Tout d'abord, Jonathan et Philippe passent leur licence de radio-amateur. Le 3 janvier 2008, un relais est installé dans les caves de l'Institut Montéfiore, c'est le premier de ce type en Belgique. Une antenne de 25 watts de puissance est plantée dans la cour, devant l'Institut. Les essais sont fructueux, pas de crachotement ni de souffle comme sur la FM. Et pour cause, c'est la qualité numérique. La boîte relais a le look de n'importe quel matériel hi-fi et l'émetteur récepteur de technologie D-Star ressemble à un auto-radio ; il

pourrait d'ailleurs très bien s'installer dans une voiture. On peut ainsi passer du relais dans l'internet et ressortir n'importe où dans le monde. Il serait donc possible à deux conducteurs situés de part et d'autre de l'Atlantique de communiquer parfaitement, l'avantage étant qu'ils n'ont aucun besoin des réseaux de télécommunications existants.

Mais voilà, l'idéal serait d'avoir un relais dans l'espace, c'est le but final recherché. Il faut envoyer, et c'est une première mondiale, cette haute technologie « D-Star » dans l'espace à bord d'un nano-satellite de type « CubeSat ». La nouvelle fusée « Vega » lancée fin 2009 possède neuf emplacements pour nanosatellites « CubeSat » expérimentaux...C'est une occasion unique à saisir !

Pour décrocher cette opportunité, il faut un solide dossier ! Le projet est baptisé « OUFIT-1 » (orbital utility for Telecommunications / Technology innovations, c'est-à-dire service en orbite dans le but d'innover en communication). Nos trois étudiants vont s'y atteler dans le cadre de leur travail de fin d'étude. La faisabilité du projet doit être étudiée sous toutes ses coutures. Stephania effectue les calculs de la mise en orbite liés aux contraintes de l'ESA, Jonathan s'occupe du traitement du signal digital et Philippe prend en main une partie du volet électronique. Quelques mois de travail intensif et le projet s'avère réalisable.

Ensemble, accompagnés de leurs professeurs, ils sont allés défendre leur projet devant les experts du Centre Européen de Recherches et de Technologies Spatiales de l'ESA aux Pays-Bas (Estec). Face à une trentaine de candidats, ils ont décroché une place à bord du lanceur européen Vega. Ce sera le premier nanosatellite liégeois à partir dans l'espace. L'envoi de cette radio-télécommunication de pointe constituera une première mondiale. Une fois le satellite sur orbite, il sera possible, à partir de l'ULg, de communiquer par radio, sans interférence, avec un radio-amateur se trouvant dans le champ de vision du cubesat. Dans les zones difficiles d'accès ou isolées à cause d'une catastrophe, un satellite relayant les communications numériques comme Oufit peut se révéler d'une utilité cruciale.

Juin 2008, Stephania, jeune diplômée, quitte l'aventure ; Jonathan et Philippe restent avec nous, le premier pour nous encadrer, le second pour terminer ses études.

Juillet 2008, les treize étudiants dont je fais partie reprennent le flambeau avec enthousiasme. Après l'étape théorique « étude de faisabilité » réalisée avec succès, place à l'étape concrète, la fabrication même du satellite.

A propos du nanosatellite «CubeSat »

Les neuf nano-satellites expérimentaux qui seront accrochés à la fusée européenne Véga ont tous la même forme, celle d'un cube de 10 cm d'arête. A l'armature légère, ils ne peuvent au total dépasser 1 kg chacun. Le défi est d'arriver à caser dans cette petite boîte, les différents sous-systèmes nécessaires au satellite. Ceux-ci doivent fonctionner avec une puissance totale de l'ordre du watt. Il faut donc créer tous ces sous-systèmes en veillant à utiliser des matériaux et composants à la fois légers, robustes et fiables.

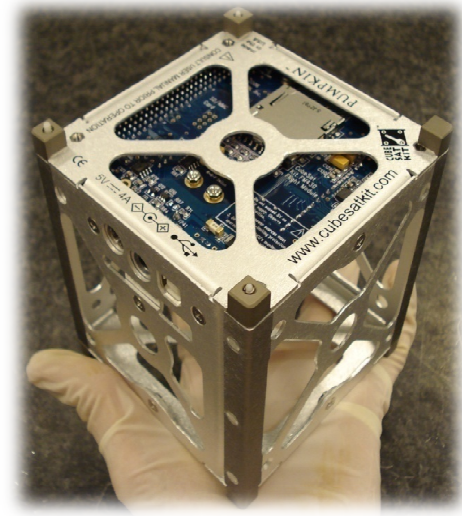


Figure 1 : structure du cubesat

En plus d'être un relais « repeater » D-Star, Oufti accueillera d'autres expériences à bord : une alimentation expérimentale développée en partenariat avec Thales Aliena Space ETCA ainsi que des cellules solaires hautes performances. Le satellite sera placé en orbite entre 350 et 1200 km au-dessus de la terre grâce à Vega qui sera lancée depuis Kourou, en Guyane française, fin 2009.

Dans le cadre de ce travail de fin d'études, **l'objectif premier** est d'élaborer le design haut niveau du software de l'ordinateur de bord du nanosatellite. Pour réaliser cet objectif, il est primordial de maîtriser les concepts fondamentaux d'un OS (Operating System ou système d'exploitation). Les avantages d'exploitation d'un tel système et son fonctionnement sont décrits chapitre 4.

Ce design haut niveau constitue une approche globale de départ, étape nécessaire à une programmation ordonnée, claire et constructive. Afin d'élaborer ce design, il faut préalablement déterminer les différents rôles de l'OBC (On Board Computer). Ceux-ci sont détaillés chapitre 5.

Le chapitre 6 aborde le problème de la mise à jour du satellite. En effet, des parties de programme doivent être modifiées une fois le satellite envoyé. Cette mise à jour doit évidemment s'effectuer sans la moindre erreur sous peine de mettre en péril le fonctionnement même du satellite.

Le second objectif qui constitue la matière la plus importante de ce travail de fin d'études concerne le développement de l'infrastructure de mesure du nanosatellite OUFTI-1.

Dans un premier temps, il faut choisir les mesures essentielles qui doivent être prises à bord et la fréquence à laquelle elles doivent être réalisées. Certaines sont cruciales, d'autres sont moins vitales mais utiles à la compréhension du comportement du satellite dans l'espace. Enfin, une troisième catégorie de mesures sont celles exigées par les entreprises qui nous fournissent gratuitement du matériel.

Afin de collecter correctement ces différentes mesures, il faut déterminer les composants adéquats et, si possible, les tester. Le chapitre 7 explique ces recherches de composants répondant à certains critères de forme, de taille et de performance.

Il faut bien sûr prendre en compte toute la partie enregistrement et gestion de ces mesures dans la mémoire. Cette collecte d'informations demande une gestion software des composants utilisés et une allocation judicieuse en mémoire pour chacune de ces mesures (chapitre 8).

Lorsque la température descend sous 0°C, l'énergie disponible dans les batteries diminue fortement. Pour éviter ce problème, il s'avère nécessaire d'installer une chauffelette (détails chapitre 9).

Le chapitre 10 porte sur la configuration des ADC (Convertisseurs Analogiques Digitaux) . Ceux-ci permettent de collecter et convertir les données fournies par les divers capteurs.

Enfin, le chapitre 11 nous expose les raisons et nécessités de l'élaboration de PCB (Printed Circuit Board ou circuit imprimé) de tests. En effet, les étudiants ont tous travaillé simultanément sur des sous-systèmes différents décrits au début de cet ouvrage, chapitre 3. Il fallait donc des PCB permettant de tester certains composants utilisés sur les cartes de ces sous-systèmes ainsi qu'une possibilité de simulation partielle de l'activité du satellite (commutateurs, eeproms).

Chapitre 2 : Cahier des charges

Détail des charges liées aux deux objectifs principaux.

Elaboration du design haut niveau du software de l'ordinateur de bord

1. Justifier l'usage d'un OS (Operating System ou système d'exploitation).
 - avantages, inconvénients.
2. Gérer les diverses fonctionnalités de l'OS choisi.
 - comprendre le fonctionnement de la programmation multitâche (mutex, sémaphores...)
3. Concevoir le schéma général du software.
 - préciser toutes les fonctions que l'OBC (On Board Computer) devra remplir.
 - déterminer les modules principaux (tâches software).
4. Etudier la mise à jour (reprogrammation) partielle ou totale du satellite en orbite.
 - apprécier les mises à jour possibles de l'EEPROM (mémoire interne) du micro-contrôleur.
 - établir un procédé de mise à jour de l'EEPROM.

Développement de l'infrastructure de mesure

1. Définir et choisir les mesures essentielles.
 - établir les mesures à privilégier pour chaque sous-système.
 - fixer les valeurs maximales et minimales de courants, températures, tensions susceptibles d'être mesurées (marge de grandeur) afin de dimensionner correctement les composants.

2. Choisir et valider les composants à utiliser pour effectuer ces mesures.
 - déterminer les composants adéquats au niveau forme, dimension, performance, répondant aux conditions de températures de fonctionnement.
3. Etudier le fonctionnement des composants choisis.
4. Définir l'allocation de mémoire pour les mesures.
 - privilégier l'allocation dynamique ou statique.
 - définir la plage de Bytes occupée par chaque mesure suivant la fréquence d'échantillonnage, la durée de stockage, l'orbite, l'heure à laquelle elles sont prises et la précision des capteurs.
 - réfléchir au format des télécommandes pour le rapatriement des mesures au sol par télémétrie.
5. Réaliser une chaufferette pour la partie thermique.
 - Déterminer la puissance de la batterie en fonction de la température.
 - Analyser la réponse du capteur de température afin de dimensionner correctement la chaufferette.
 - déterminer le type de chaufferette et les composants à utiliser.
6. Réaliser des PCB (Printed Circuit Board) pour contrôler tous les composants de mesure et les switchs de protection de courant des cartes des sous-systèmes.
 - maîtriser le logiciel altium.
 - dessiner les schémas électriques sous altium.
 - dessiner les schémas de PCB sous altium.
 - imprimer les PCB.
 - commander les composants adéquats.
 - souder les composants SMD.
 - tester les PCB.

Chapitre 3 : Les sous-systèmes du satellite

Les différents membres de l'équipe ont intégré le projet dans des domaines particuliers constituant chacun une étape dans la réalisation du satellite. Ces domaines ont été classés en plusieurs parties appelées sous-systèmes.

3.1. ADCS (ATTITUDE DETERMINATION AND CONTROL)

Le contrôle d'attitude de OUFTI-1 est un contrôle d'attitude passif. Le système est destiné à ralentir les vitesses de rotation du satellite et à l'orienter de manière optimale. L'utilisation d'aimants permanents et de matériaux hystérétiques constitue la base du système. De nombreux cubeSats (par ex. Delfi-C3) ont déjà eu recours à ce système avec succès.

Les avantages d'un tel système sont les suivants : - Aucun déclencheur requis.

- Ne consomme aucune énergie.
- Léger, sûr et petit.

3.2. BCN (BEACON)

La Beacon est la balise de secours du satellite. Cette balise transmettra en régime de base une télégraphie simplifiée (code morse).

3.3. COM (TELECOMMUNICATIONS)

Le moyen de communication se fonde sur le protocole D-STAR.

Ce système doit effectuer ces différentes tâches :

- Démoduler et décoder les trames D-Star venant du sol.
- Transmettre les commandes incluses dans le D-Star à l'OBC.
- Former les trames contenant la télémétrie.

- Encoder et moduler les trames D-Star qui vont être envoyées vers le sol.

Au cas où ce système dysfonctionnerait, la balise, sensée être à 100% fiable, transmettra toujours la télémétrie témoignant de l'état du satellite.

3.4. EPS (ELECTRICAL POWER SYSTEM)

C'est l'alimentation robuste du satellite. Elle est conçue de la manière la plus fiable possible. Elle est chargée :

1. de générer de la puissance électrique grâce aux panneaux solaires que l'on vient connecter au bus des batteries lithium via des diodes de protection.
2. de stocker l'énergie en surplus provenant des panneaux solaires dans les batteries pour la refournir ultérieurement en période d'éclipse ou lorsque la demande en puissance des sous-systèmes est plus importante que ce que peuvent fournir les panneaux solaires.
3. de fournir du 3,3 V, du 5 V et du 7,2 V aux différentes cartes à bord du satellite en partant de la tension des batteries.

3.5. EPS expérimental

L'EPS expérimental est une payload du nanosatellite OUFTI-1. Il intégrera un convertisseur contrôlé de manière digitale. Ce contrôle sera l'intérêt principal de cette EPS. Il sera chargé de réguler une tension de 3,3V à la sortie du convertisseur. Cette tension alimentera soit le bus 3,3V du satellite OUFTI-1, soit une charge résistive définie. Un switch permettra de définir la sortie que l'on choisit. La charge résistive permettra de tester le bon fonctionnement de l'EPS expérimentale avant de la brancher sur le bus 3,3V. Cette EPS est développée sous la tutelle de Thales Alenia Space ETCA.

3.6. OBC (On Board Computer)

L'OBC constitue une des parties du travail de ce mémoire, son rôle sera clairement décrit dans les pages suivantes.

3.7. MECH (MECHANISMS)

Le rôle du sous-système MECH est de concevoir un mécanisme fiable de déploiement des antennes. Celles-ci devront se déplier quelques minutes après éjection du cubesat dans l'espace.

3.8. MIAS (MISSION ANALYSIS)

L'analyse de mission consiste à calculer des temps d'accès à la station sol, calculer les périodes d'éclairement et d'éclipse, caractériser l'environnement spatial, définir les modes du satellite (en collaboration avec l'équipe OBC), analyser les couples perturbateurs, calculer les radiations et estimer la durée de vie du satellite.

3.9. GND (Ground)

Le segment sol est chargé de concevoir une station de tracking et de contrôle permettant l'écoute de la balise et l'échange de TM/TC avec le satellite. Cela comprend l'installation du matériel (moteurs, antennes) et le développement du software pour communiquer avec le satellite.

3.10. STRU (STRUCTURE)

L'objectif du segment STRU est de placer les différents composants du satellite de façon optimale dans le volume disponible et de prévoir l'accès pour la maintenance par une intégration et une configuration judicieuses. Il s'occupe également d'assurer une protection vis-à-vis de l'environnement spatial (radiation et éléments singuliers) et d'effectuer les tests de vibrations.

3.11. THER (Thermal)

Le contrôle thermique a pour but d'analyser les différentes variations de température à bord du satellite. Il détermine la position adéquate des capteurs de températures ainsi que la nécessité d'installer une chaufferette à bord.

3.12. Vue d'ensemble :

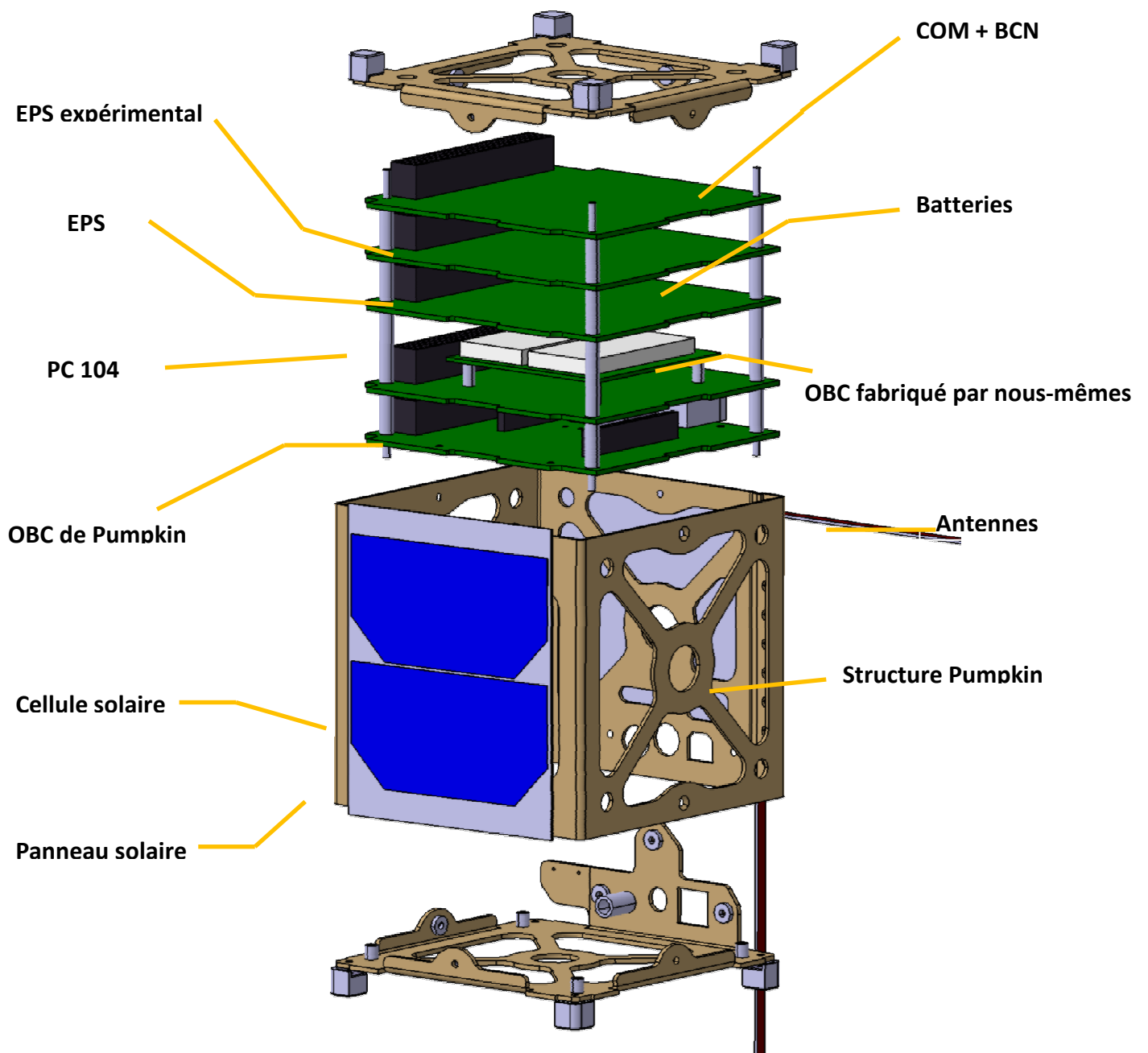


Figure2 : vue d'ensemble du satellite

Chapitre 4 : Prérequis, gestion de l'OS

Avant toute élaboration d'une architecture générale du software de l'ordinateur de bord, la question posée est : faut-il utiliser un OS ? Ce chapitre explique les avantages d'exploitation d'un OS et décrit les généralités de son fonctionnement.

4.1. Définition d'un OS

Le système d'exploitation (SE, en anglais Operating System ou OS) est un ensemble de programmes responsables de la liaison entre les ressources matérielles d'un ordinateur et les applications informatiques de l'utilisateur (traitement de textes, jeu vidéo...). Il fournit aux programmes d'applications des points d'entrées génériques pour les périphériques.

Un système d'exploitation est typiquement composé :

- d'un noyau
- de bibliothèques
- d'un ensemble d'outils système
- de programmes applicatifs de base

4.2. Pourquoi utiliser un OS

Cela permet de pouvoir écrire un code multi-tâches, modulaire, ainsi que d'assurer une meilleure fiabilité du software en garantissant le fonctionnement des tâches essentielles.

L'OS choisi est FreeRTOS. Il présente de nombreux avantages (écriture en C, implémentation de queues, mutexes, sémaphores...). C'est un OS gratuit, temps réel avec lequel on peut programmer une série de microcontrôleurs dont le MSP430. Le MSP430F1611 est le microcontrôleur utilisé dans le satellite. (cf annexe 1 pour ses caractéristiques principales et la description de ses pins)

L'OS peut gérer aussi bien des tâches que des co-routines, ou les deux ensemble. Une tâche et une co-routine ont en soi le même principe de fonctionnement mais diffèrent sur quelques points :

- une co-routine prend moins de place en RAM

- une co-routine a des restrictions sur son utilisation (c'est d'ailleurs cela qui réduit sa taille en RAM).

- une tâche est prioritaire sur une co-routine. La co-routine ne peut s'effectuer que lorsqu'il n'y plus de tâche en attente d'exécution (excepté l'idle task expliqué plus bas).

L'utilisation software de co-routine est plus compliquée et il a été décidé de ne pas s' en servir.

4.3. La tâche

Une tâche peut exister sous plusieurs états :

- *En fonctionnement* :

Elle utilise actuellement le processeur.

- *Prête, en attente* :

Les tâches prêtes sont celles qui peuvent s'exécuter (elles ne sont pas bloquées ou ne sont pas suspendues) mais ne s'exécutent pas parce qu'une tâche différente de priorité égale ou supérieure est déjà en fonctionnement.

- *Bloquée* :

Une tâche est dans l'état « bloqué » si elle attend un événement temporel ou externe. Par exemple, lorsqu'une fonction d'attente (compteur) bloque la tâche jusqu'à ce que le délai soit expiré ou lorsqu'une tâche attend que l'on appuie sur un interrupteur. Les tâches bloquées ne sont évidemment pas disponibles pour la suite du programme.

- *Suspendue* :

Les tâches suspendues ne sont pas disponibles, elles non plus, pour la suite du programme. Elles peuvent être sorties d'un état « suspendu » ou amenées à un état « suspendu » grâce à des fonctions spécifiques de l'OS.

4.4. Le multi-tâches

On parle de système multi-tâches lorsque plusieurs programmes peuvent s'exécuter de manière simultanée apparente. Un processeur classique ne peut exécuter qu'une seule tâche à la fois, mais on peut estimer que celui-ci les exécute simultanément, s'il est capable de passer d'une tâche à l'autre rapidement.

Les schémas suivants illustrent le principe de fonctionnement multi-tâches (pour 3 tâches dans ce cas)



Figure 3 et 4 : perception des tâches exécutées d'un OS

Le graphique supérieur montre la perception de l'exécution des tâches et l'inférieur, ce qui est réellement exécuté.

4.5. Tâche particulière : The Idle Task

L'Idle Task (que je traduis par tâche de fond en français) est responsable de libérer la mémoire assignée aux tâches qui ont déjà été exécutées. Elle est créée automatiquement quand le programmeur démarre et c'est la tâche de priorité la plus basse.

C'est cette tâche qu'exécute le microcontrôleur lorsqu'il n'est sollicité par aucune autre. On peut donc l'utiliser si l'on désire connaître le pourcentage de CPU utilisé pour les tâches implémentées grâce à l'Idle Task Hook. L'Idle Task Hook est une fonction (tâche) qui est appelée à chaque cycle de l'Idle Task.

4.6. Outils de communication entre les tâches

4.6.1. Mutex

Un Mutex est une instruction utilisée en programmation pour éviter que des ressources partagées d'un système ne soient utilisées en même temps.

Ex : pendant qu'une tâche utilise une ressource à laquelle un mutex est associé, par ex une eeprom, une deuxième tâche ne peut venir se servir de cette eeprom avant que la première tâche ne soit terminée.

Plus simplement, imaginons que le mutex est un jeton contrôlant l'accès à une ressource, la ressource n'est accessible que par la tâche possédant le jeton. Une fois cette tâche terminée, le jeton peut être disponible pour une autre tâche qui en a l'utilité.

Plus simplement encore, imaginons que le mutex représente la clé d'une toilette (= ressource). Une seule personne peut avoir la clé. Si une personne utilise la toilette, celle-ci étant occupée, elle est donc indisponible pour tout autre personne. Une fois que la personne a terminé, elle donne la clé à la personne suivante dans la queue.

4.6.2. Sémaphore

Définition : Un sémaphore est une variable protégée qui permet de restreindre l'accès à des ressources partagées dans un environnement de programmation.

C'est en résumé le même principe qu'un mutex excepté qu'il peut contrôler des ressources avec plusieurs jetons alors que le mutex n'en utilise qu'un.

Pour reprendre l'exemple des toilettes, imaginons qu'on dispose de 4 jetons, donc de 4 clés identiques, si les toilettes sont toutes occupées, il n'y a donc plus de clé disponible. Dès qu'une personne quitte les toilettes, une clé (un jeton) peut être donnée à la personne (la tâche) suivante dans la file.

Chapitre 5 : Architecture générale du software (design haut niveau)

Une fois l'OS (FreeRTOS) choisi et analysé, il est possible de dresser le design haut niveau du software. Afin d'élaborer ce design, il faut préalablement déterminer chaque fonction que remplira l'OBC (On Board Computer).

5.1. Rôles de l'OBC

L'ensemble du satellite dépend de l'OBC, seules l'alimentation (EPS) et la balise morse peuvent fonctionner de façon autonome. Le rôle de l'OBC est donc capital dans les exécutions des différents points suivants :

- Assurer le déploiement des antennes quelques minutes après l'éjection du P-POD.
- Gestion d'une horloge interne (nécessaire notamment au déploiement des antennes). Mise à jour possible de l'horloge interne par télécommande en cas de redémarrage de l'OBC (par exemple lorsque le niveau des batteries est insuffisant pour alimenter l'OBC).
- Allumer ou éteindre les cartes (EPS2, COM) et gérer les différents modes du satellite suivant le niveau d'énergie (niveau des batteries) ou la détection d'un éventuel pic de courant.
- Gérer les différents bits d'interruption de la COM lorsque l'on reçoit du D-STAR ou de l'AX.25 (décodage des trames D-STAR et AX.25), gérer la mise à jour des tables Doppler afin d'assurer une communication propre en D-STAR.
- Réaliser une série de tests par rapport à l'EPS 2 sur une commande depuis la terre.
- Effectuer des mesures (T°, I , V, TOS) sur le parcours de ses orbites, soit de manière statique (programmée à l'avance), soit de manière dynamique (sur ordre depuis la terre). Enregistrer les mesures dans une mémoire externe (eeprom) pour être éventuellement transmises au sol par télémétrie AX-25 (prise en compte du moment où elles ont été effectuées grâce à l'horloge interne).
- Prévoir son éventuelle reprogrammation avec des commandes AX.25

Ces diverses tâches ont été rassemblées sous différents modules.

5.2. Modules software (tâches) de l'OBC

Le module « MONITEUR » manipule et effectue les différents changements d'états à bord du satellite (ex : activer ou désactiver une carte d'un sous-système). Ces changements peuvent par exemple s'effectuer sur base d'une commande depuis la terre, d'une tension de batterie trop faible ou d'un problème éventuel dû à un pic de courant sur une des cartes (pic de courant détecté par des commutateurs disposés sur chacune des cartes (MAX890L)).

Le module « COMMUNICATION » comprend toutes les fonctions nécessaires à l'encodage/décodage des trames AX.25 et D-STAR ainsi que le contrôle des modulateurs d'émission et de réception. Il devra notamment transmettre les informations de télécommande et de mise à jour des tables Doppler au module SEQUENCER ainsi que d'encoder et envoyer la télémétrie.

Le module « SEQUENCER » gère les différents ordres de commande à bord du satellite, commandes transmises depuis la terre ou commandes liées à l'activité interne du satellite (ex : couper la carte COM si batteries trop faibles). Ces commandes peuvent être planifiées dans le temps ou être exécutées immédiatement suivant la valeur de la variable temps associée.

Le module « MESURE » effectue les mesures statiques et dynamiques les plus importantes grâce aux ADC (convertisseurs analogiques/digitaux) placés sur les différentes cartes et commandés via I2C. Ces mesures doivent être stockées dans une eeprom externe, elle aussi connectée au bus I2C. La mesure de la tension de la batterie et de sa température sont, elles, des mesures de housekeeping qui sont donc à la disposition du module « MONITEUR ».

Le module « LOG » stocke dans une eeprom externe la liste des événements s'étant produits à l'intérieur du satellite, événements signalés par les autres modules. Ces informations peuvent être consultées par le contrôleur et éventuellement être transmises au sol.

5.3. Schéma global haut niveau (voir schémas page 20 et 21)

Rem : Le module COM n'est pas décrit ci-dessous. Son principe de fonctionnement a été analysé par les personnes de l'équipe compétentes dans ce domaine.

Pour plus de facilités, il a été décidé de créer 3 tableaux de registres spécifiques à l'état des sous-systèmes ou composants du satellite (ex : carte EPS2, carte COM, eeprom). Ces 3 tableaux sont STATUTACTUEL, STATUTDEMANDE et STATUTOBLIGATOIRE.

STATUTDEMANDE peut être modifié par la tâche MESURE (ex : tension batterie élevée, on peut allumer la carte COM). STATUTACTUEL correspond à l'état actuel de chaque sous-système et est mis à jour dans la tâche MONITEUR suivant les modifications de STATUTDEMANDE. Néanmoins, pour des raisons de sécurité, si l'MSP détecte des pics de courants sur un des sous-systèmes, il peut décider de le bloquer et donc de le rendre hors service pour toute autre application. Dans ce cas, les demandes d'activation de STATUTDEMANDE pour le sous-système bloqué ne sont plus prises en compte.

Il est cependant possible de réactiver le sous-système bloqué via une commande envoyée depuis la terre, gérée par le SEQUENCER et écrite dans le tableau STATUTOBLIGATOIRE. STATUTOBLIGATOIRE modifiera l'état du sous-système bloqué dans STATUTACTUEL lors du prochain passage dans la tâche MONITEUR.

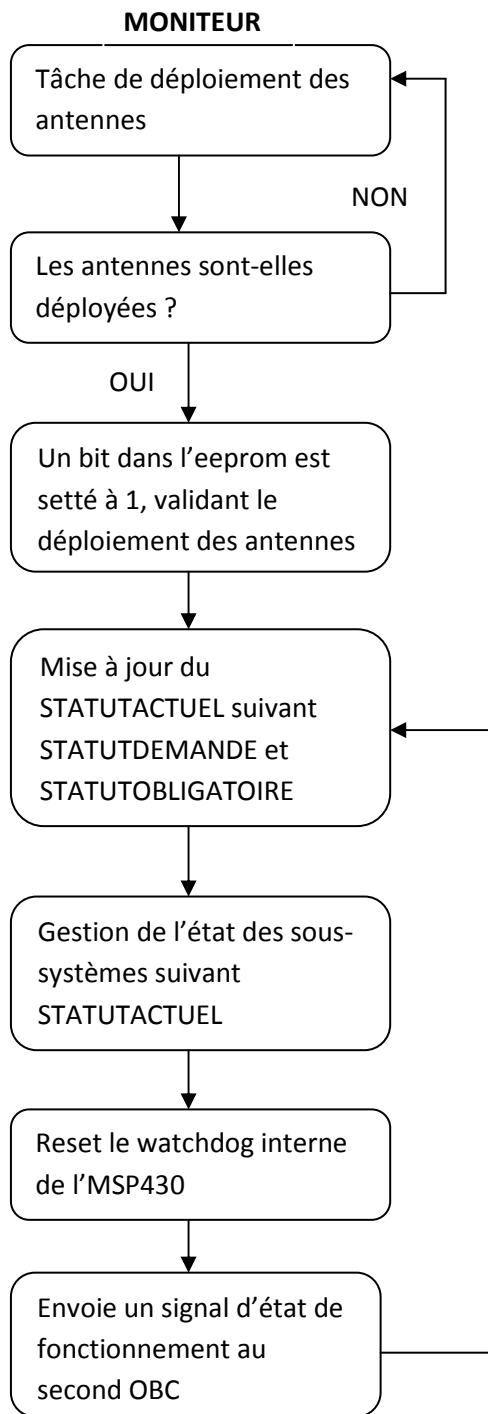


Figure 5 : module moniteur

Rem : l'OBC1 actif doit périodiquement envoyer un signal à l'OBC2 resté dans un état de veille (pour éviter tout conflit électrique, OBC2 maintient ses broches de sortie en haute impédance). Si OBC2 constate qu'OBC1 ne répond plus après un certain temps, OBC2 prend automatiquement le relai mais continue à surveiller OBC1 au cas où il redeviendrait fonctionnel.

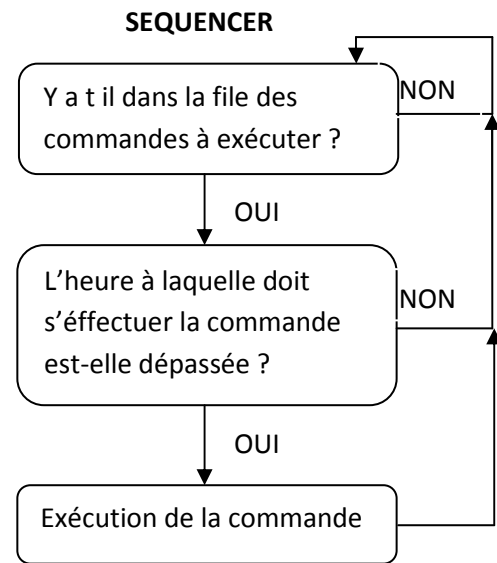


Figure 6 : module sequencer

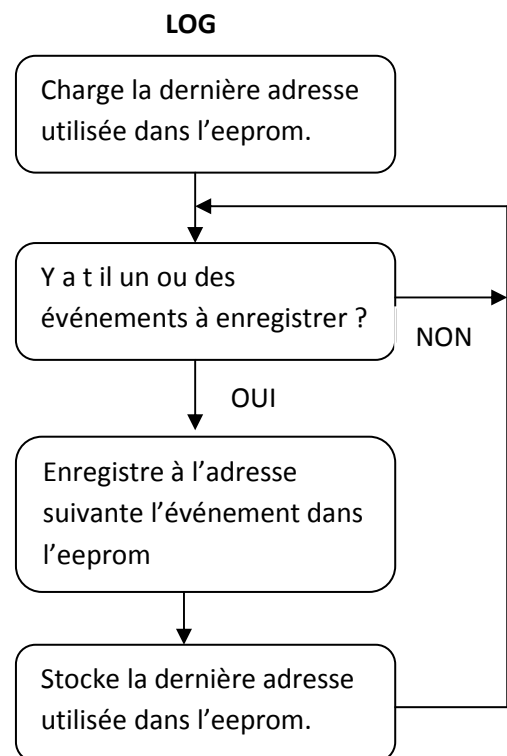


Figure 7 : module log

MESURE

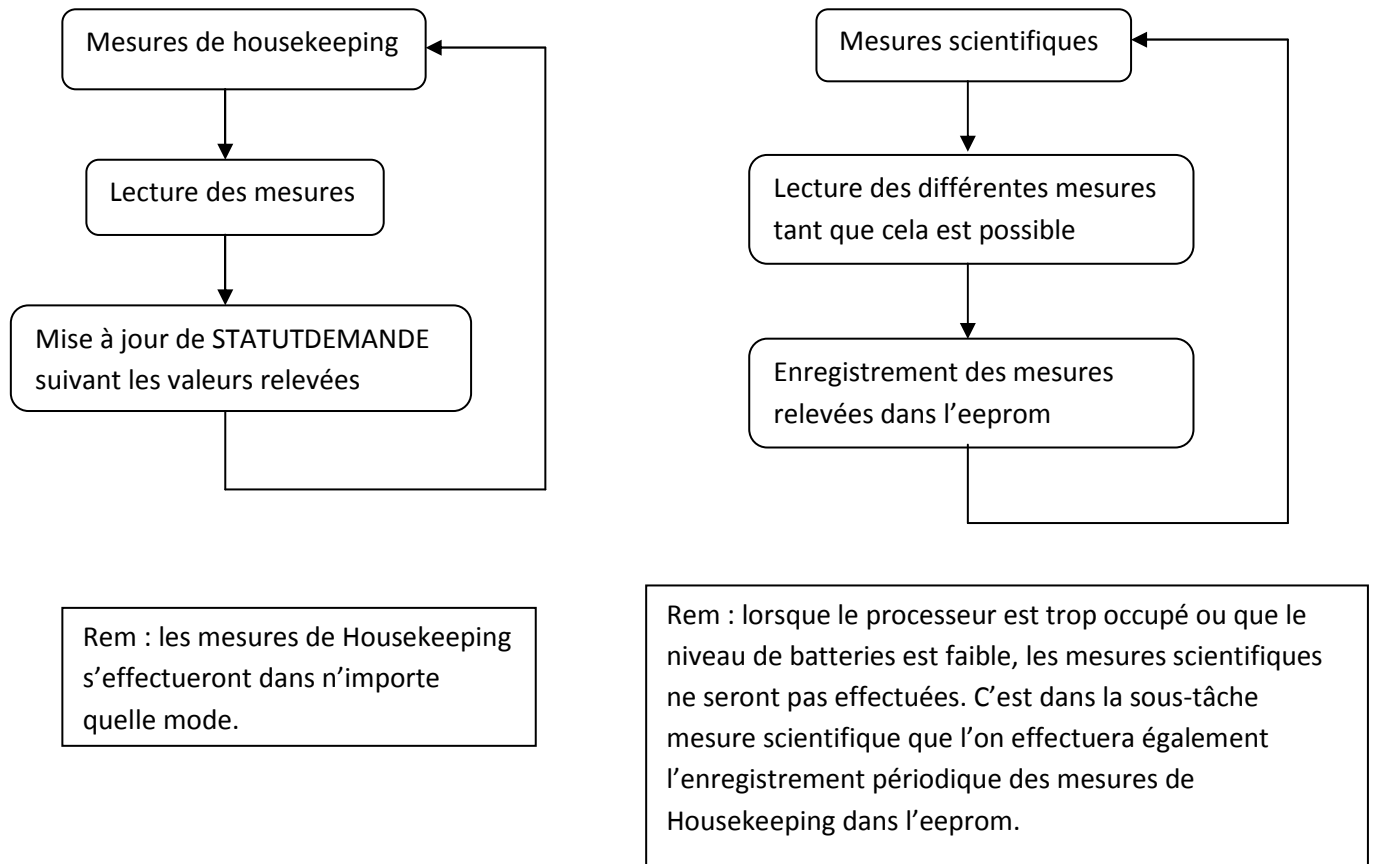


Figure 8 : module mesure

Il y a deux types de mesures : les mesures de housekeeping et les mesures dites scientifiques. Les mesures de housekeeping sont les mesures vitales pour le satellite. Les mesures scientifiques sont des mesures de tests, d'essais sur les différents sous-systèmes ou payloads du satellite, elles ne sont pas essentielles au bon fonctionnement du satellite.

Le module mesure constitue la partie la plus importante de ce mémoire ; et pour cause, le travail effectué a principalement porté sur l'étude de celles-ci. C'est donc cette partie qui sera développée dans la suite de ce TFE.

Chapitre 6 : Etude de la mise à jour partielle ou totale du satellite

La mise à jour est un atout essentiel si l'on se rend compte que certaines parties de programme doivent être modifiées une fois le satellite envoyé.

Néanmoins, pour effectuer cette mise à jour, le programme doit être absolument parfait. Il ne faudrait pas que le satellite soit hors d'usage à cause d'une mise à jour erronée.

La durée d'une communication possible avec le satellite, depuis Liège, est souvent de l'ordre d'une dizaine de minutes. Une mise à jour doit tenir compte du temps nécessaire pour charger le nouveau programme à bord du satellite.

Une mise à jour totale du satellite constituerait un cas exceptionnel. Il est difficilement imaginable que tout le programme du micro-contrôleur doive être modifié, mais pourquoi pas l'envisager. Si le programme de base est défectueux, cela indique peut-être que le micro-contrôleur est hors service, et qu'ainsi la mise à jour est impossible.

Ce chapitre décrit une solution possible en expliquant les diverses contraintes liées à la reprogrammation de la mémoire Flash du contrôleur MSP430F1612.

6.1. Description de la mémoire du contrôleur MSP430F1612.

La mémoire flash du F1612 dans lequel est écrit le programme est divisée en 110 segments de 512 bytes chacun.

Les segments A et B ne sont pas utilisés pour stocker le programme. Ces 2 segments de 1 MO sont laissés à l'utilisateur pour pouvoir y stocker ce qu'il souhaite. Ces segments peuvent être écrits Byte à Byte, c'est donc une sorte de RAM interne mais avec un accès plus lent.

Le dernier segment, le segment 0 w/interrupt Vector, est l'endroit mémoire où le programme gère toutes les interruptions.

Les 107 autres segments sont donc réservés pour l'écriture du programme.

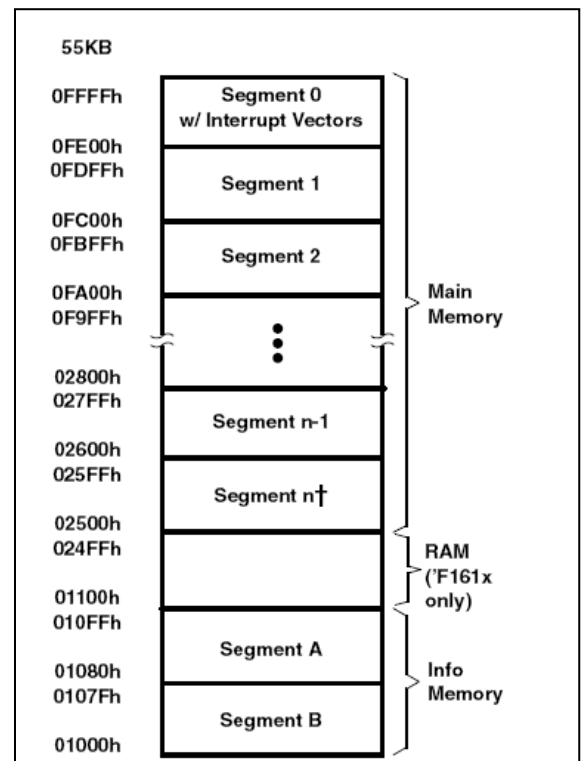


Figure 9 : répartition mémoire du F1612

6.2. Constatations

- L'inconvénient lorsque l'on désire effacer un Byte du programme est l'effacement de l'entièreté du segment de programme lui-même. Il faut donc pouvoir réécrire l'entièreté du segment.
- Les différentes lignes de code d'un programme s'écrivent les unes à la suite des autres à partir de l'adresse 01100h. Les premiers segments sont donc les premiers occupés et les derniers segments restent toujours libres si, bien sûr, toute la mémoire n'est pas utilisée.

6.3. Solution de mise à jour

Les derniers segments de mémoire non occupés par le programme constitue la clé de la solution.

Les différentes étapes :

Etape 1. Préalablement, une fonction globale de mise à jour doit être écrite dans le dernier segment mémoire du programme. Elle peut être accessible depuis le programme principal grâce à des fonctions « assembleurs ».

Etape 2. Le programme de mise à jour envoyé par télécommande est stocké dans une des eeproms externes au micro-contrôleur.

Etape 3. Une fois le programme de mise à jour totalement téléchargé dans l'eeprom, une commande assembleur (JMP) envoie le pointeur de programme dans le dernier segment mémoire où il pourra lire la fonction de mise à jour.

Etape 4. La fonction de mise à jour écrit le nouveau code téléchargé en eeprom dans un des segments de programme libre.

Etape 5. La fonction de mise à jour efface le segment de programme désiré après l'avoir préalablement sauvé dans le segment mémoire À modifiable Byte à Byte.

La fonction de mise à jour corrige la ligne de code désirée dans le segment A et la remplace par une commande « assembleur » permettant de pointer sur le nouveau code téléchargé depuis l'eeprom.

La fonction de mise à jour réécrit le segment mémoire corrigé.

Etape 6. Une fois ces opérations terminées, le pointeur de programme quitte la fonction de mise à jour et est renvoyé via une commande « assembleur » vers un endroit du programme principal.

6.4. Test de la mémoire

Un programme de test à été réalisé. Vous le trouverez sur le CD-ROM joint à cet ouvrage. (dossier « mise à jour du satellite », fichier « reprogrammation.c »)

Ce programme montre :

- comment effacer un bloc mémoire et réécrire dedans.

Le segment mémoire d'adresse 0x2900 est effacé et il est ensuite réécrit 10 fois la valeur hexadécimale 43 dedans.

Après la réécriture, le segment d'adresse 0x2900 est affiché pour constater qu'il a bien été modifié et qu'il comprend bien 10 fois la valeur 43 en hexadécimal.

- comment insérer l'assembleur dans un fichier.c

Le fichier assembleur nommé mémoire.asm est intégré dans le fichier .c par la déclaration `extern void mémoire (void)`. La simple fonction « `mémoire ( ) ;` » permet d'accéder aux lignes de code assembleur. A partir du fichier assembleur, il est possible de « jumper » à n'importe quelle adresse du programme.

Chapitre 7 : Mesures et composants

Sans une évaluation constante de certaines mesures (exemple : la tension des batteries du satellite), il est impossible pour l'OBC de gérer le satellite correctement.

Certaines mesures, moins cruciales, peuvent témoigner de l'état de certains composants à bord ou évaluer le comportement du satellite dans l'espace. Il existe aussi une troisième catégorie de mesures, celles exigées par les entreprises qui nous sponsorisent en nous fournissant gratuitement du matériel.

Une grande quantité de mesures peuvent donc être effectuées à bord du satellite. Il faut identifier les plus fondamentales, celles qui témoigneront de l'état du satellite et de l'état des composants sur les différentes cartes.

Une fois les mesures définies, il faut recenser les valeurs maximales et minimales de courant, température, tension susceptibles d'être mesurées (marge de grandeur) afin de dimensionner correctement les composants. Ces composants doivent répondre à certains critères de forme, de taille et de performance.

Ce travail demande une recherche importante et une collaboration permanente avec les responsables des autres sous-systèmes.

7.1. Choix des mesures à effectuer

Parmi les différentes mesures que nous pouvions effectuer, 34 ont été retenues.

Malgré les divers changements dans le choix de celles-ci, il est encore possible que la liste s'allonge. En effet, AZURSPACE, qui nous fournit les panneaux solaires gratuitement, désirerait peut-être connaître la courbe I-V de ses panneaux. AZURSPACE ne donnant pas vraiment une directive claire, le prototype de la carte d'alimentation a été conçu sans tenir compte de la partie Hardware nécessaire à la connaissance des courbes I-V.

7.2. Tableau récapitulatif des mesures

Le tableau réparti pages 26,27 et 28 résume les choix effectués concernant les mesures. Les pages suivantes expliqueront les raisons de ces choix.

Sous système	Nom	Identifiant	Capteurs	Pt diviseur	ADC	Entrée Beacon	Allocation BUS
EPS	Courant cellule solaire 1	I_SC1	MAX9938	-	ADS 1		
EPS	Courant cellule solaire 2	I_SC2	MAX9938	-	ADS 1		
EPS	Courant cellule solaire 3	I_SC3	MAX9938	-	ADS 1		
EPS	Courant cellule solaire 4	I_SC4	MAX9938	-	ADS 1		
EPS	Courant cellule solaire 5	I_SC5	MAX9938	-	ADS 1		
EPS	Courant cellules total	I_SCT	MAX9938	-	-	x	H1-47
EPS	T°batteries	T_BAT	LM94022	-	ADS 1	x	H1-48
EPS	T°transistor dissipation	T_EPS	LM94022	-	ADS 1	x	H1-49
EPS	Tension batteries	V_BAT	-	oui	ADS 1	x	H1-50
.	.	.	.	.	.	.	.
EPS	Tension batteries	V_BAT	-	oui	MAX1039	x	H1-50 (Redondance)
EPS	T°convertisseurs 7V	T_7.0	LM94022	-	MAX1039		
EPS	3.3V bus voltage	V_3.3	-	oui	MAX1039	x	H1-51
EPS	5.0V bus voltage (OBC1)	V_5.0	-	oui	MAX1039	x	H1-52
EPS	7.2V bus voltage (COM/BCN)	V_7.2	-	oui	MAX1039	x	H2-47
EPS	T°face 1	T_F1	LM94022	-	MAX103		

					9		
EPS	T°face 2	T_F2	LM94022	-	MAX1039		
EPS	T°face 3	T_F3	LM94022	-	MAX1039		
EPS	T°face 4	T_F4	LM94022	-	MAX1039		
EPS	T°face 5	T_F5	LM94022	-	MAX1039		
EPS	T°face 6	T_F6	LM94022	-	MAX1039		
EPS	REFERENCE 2.5 V		Ref192	-	canal 11		
.	.	.	.	.	.	.	.
COM	Courant 3.3V COM	I_COM3.3	MAX9938	-	ADS 2	x	H2-48
COM	Courant 7.2V COM	I_COM7.2	MAX9938	-	ADS 2	x	H2-49
COM	Courant 7.2V BCN	I_BCN7.2	MAX9938	-	ADS 2	x	H2-50
COM	T°ampli COM	T_COM7.2	LM94022/lm61	-	ADS 2	x	H2-51
COM	T°ampli BCN	T_BCN7.2	LM94022/lm61	-	ADS 2		
COM	COM TOS (1)	TOS1_COM	-	-	ADS 2		
COM	COM TOS (2)	TOS2_COM	-	-	ADS 2		
.	.	.	.	.	.	.	.
EPS 2	Tension convertisseur (3.3V)	V_OUT_EPS2	-	oui	ADS 3		
EPS 2	Courant convertisseur	I_OUT_EPS2	MAX9938	-	ADS 3		
EPS 2	Tension circuit digit(max4.2V)	V_DIG_EPS2	-	oui	ADS 3		
EPS 2	Courant circuit digital	I_DIG_EPS2	MAX9938	-	ADS 3		

EPS 2	T°convertisseur	T_FLY_EPS2	LM94022	-	ADS 3		
EPS 2	T°circuit digital	T_DIG_EPS2	LM94022	-	ADS 3		
EPS 2	Courant 3.3V beacon	I_BCN3.3	MAX9938	-	ADS 3	x	H2-52
.	.	.	.	.	.	.	.
OBC	T°F1611	T_OBC	interne	-	-		
Sous système	Nom	Identifiant	Capteur	Pt diviseur	ADC	Entrée Beacon	Allocation BUS

Figure 10 : tableau des mesures

Sous système : désigne la carte sur laquelle les mesures seront effectuées via un composant ADC.

Nom : désigne la mesure que l'on veut effectuer.

Identifiant : nom raccourci pour désigner la mesure, ce nom est également utilisé comme variable de programmation.

Capteur : désigne le composant utilisé pour effectuer la mesure.

Pont diviseur : désigne s'il est nécessaire d'abaisser la tension lorsqu'on effectue une mesure de celle-ci.

ADC : désigne le composant ADC (Conversion Analogique Digital) qui traitera la mesure.

Entrée Beacon : sont les signaux de mesures choisis pour être transmis à la Beacon via le Bus PC-104. Parmi les 34 mesures, nous avons choisi les 12 plus importantes en accord avec l'équipe. Ces 12 mesures seront constamment émises par le signal Morse de la balise.

Allocation BUS : désigne l'entrée des 12 signaux de mesures sur le BUS PC-104 destinés à la balise.

7.3. Types de mesures et choix des composants

34 mesures sont nécessaires. Nous utiliserons donc **3 ADC, 8 canaux** (3 ADS7830) et **1 ADC, 12 canaux** (1 MAX1039) commandés via I2C.

3 types de mesures sont à effectuer :

- *Mesure de tension*
Utilisation de ponts diviseurs.
- *Mesure de courant*
résistance série → MAX9938
En sortie du MAX9938, on trouve une tension proportionnelle au courant mesuré; le circuit existe en 3 versions avec des gains différents.
- *Mesure de température*
LM94022
Le LM94022 produit une tension inversement proportionnelle à la température mesurée; 2 entrées permettent de choisir l'intervalle de cette tension en sortie.

7.3.1. Mesure de tension, les ponts diviseurs

Les éléments de mesures étant alimentés en 3,3 V, il fallait choisir une tension de référence pour les composants ADC entre 0 et 3,3 V. Elle a été choisie à 2,5 V sachant qu'un composant ADC (l'ADS7830) comportait déjà une référence interne de 2,5 V.

Les tensions à échantillonner sont toutes supérieures ou égales à 3,3 V, il faut donc les diviser.

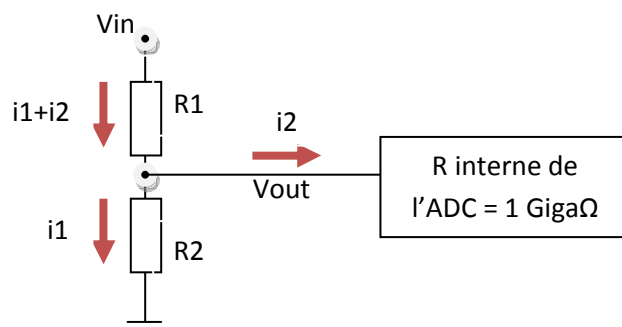


Figure 11 : schéma pont diviseur

Pour calculer correctement les ponts diviseurs, il faut :

- que i_2 soit négligeable devant i_1 .
- donc que R_1 et R_2 soit fortement inférieures à la résistance interne de l'ADC = 1 Giga Ω
- que le montage consomme peu $\Rightarrow i_1$ doit être faible $\Rightarrow R_1$ et R_2 pas trop faibles.

- Pont diviseur pour la tension des batteries :

Lorsque les batteries sont chargées, la tension maximum envisageable à leurs bornes est de 4,4 V.

Pour $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $V_{out} = V_{R2} = 2,2 \text{ V}$ ($< 2,5 \text{ V}$) et $i_1 = \frac{4,4}{R_1 + R_2} = 0,22 \text{ mA}$.
OK

rem : i_2 est négligé dans les calculs

- Pont diviseur pour la tension du convertisseur (3.3V) sur l'EPS2 et du circuit digit(max4.2V) :

Une mesure de la courbe de démarrage des 2 tensions lors de l'amorçage de l'EPS2 est souhaitée.

Au démarrage, la tension du convertisseur serait susceptible de monter au maximum jusque 5 V et celle du circuit digital jusque 4,2 V. Diviser les tensions en 2 suffit, on conserve donc le même pont diviseur que celui calculé pour la tension des batteries, $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$.

- Pont diviseur pour la variation de la tension du bus 3,3 V, du bus 5 V et du bus 7,2 V.

Bus 3,3 V : si $R_1 = 6500\Omega$ et $R_2 = 10000\Omega$, $i_1 = \frac{3,3}{16500} = 0,2 \text{ mA}$ et $V_{out} = 10000 \cdot 0,2 = 2 \text{ V}$.
OK

Bus 5 V : si $R_1 = 15\text{k}\Omega$ et $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $i_1 = \frac{5}{25\text{K}} = 0,2 \text{ mA}$ et $V_{out} = 10000 \cdot 0,2 = 2 \text{ V}$. OK

Bus 7,2 V : si $R1 = 26\text{k}\Omega$ et $R2 = 10\text{k}\Omega$, $i1 = \frac{7,2}{36\text{K}} = 0,2\text{ mA}$ et $V_{out} = 10000 \cdot 0,2 = 2\text{ V}$. OK

7.3.2. Mesure de courant

Pour les mesures de courant, nous utilisons le composant max9938. Il renvoie une tension proportionnelle au courant à partir d'une résistance appelée Rsense. Il peut amplifier la tension aux bornes de Rsense avec un gain de 25, 50 ou 100 suivant la version du composant.

Le composant avec un gain de 100 est choisi pour obtenir une Rsense la plus faible possible et ainsi la mesure de courant la plus exacte possible.

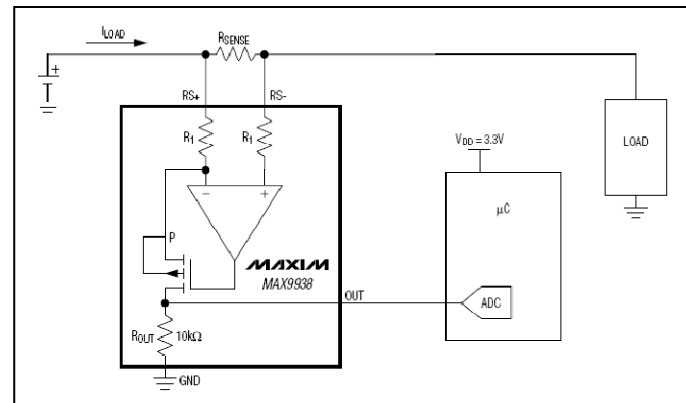


Figure 12 : schéma max9938

Avantages du max9938 :

- consommation quasi nulle
- erreur du gain < 0,5%
- composant minuscule
- supporte des températures de -40°C à +85°C

$$\text{Formule pour obtenir } R_{\text{sense}} = \frac{V_{\text{out(max)}}}{G \cdot I_{\text{LOAD(max)}}$$

- Pour la mesure de courant des 5 faces de cellules solaires :

Une face de cellule solaire peut au maximum fournir un courant de 1,4 A (avec une grande marge de sécurité). En considérant qu'avec un courant de 1,4 A, le max9938 fournit 2,5 V, on a :

$$R_{\text{sense}} = \frac{2,5}{100 \cdot 1,4} = 0,0178\ \Omega \approx 0,017\ \Omega$$

- *Pour la mesure de l'ensemble des courants totaux des 5 faces :*

Le maximum que toutes les faces solaires puissent fournir en courant ne dépasserait pas les 1,8 A. Par sécurité, on considérera que le maximum est de 2 A. On a donc :

$$R_{\text{sense}} = \frac{2,5}{100 * 2} = 0,0125 \, \Omega \approx 0,012 \, \Omega$$

- *Pour la mesure du courant 3,3 V de la COM :*

La partie de la carte COM alimentée en 3,3 V consommera au maximum 100 mA

$$R_{\text{sense}} = \frac{2,5}{100 * 0,1} = 0,25 \, \Omega$$

- *Pour la mesure du courant 7,2 V de la COM :*

La partie de la carte COM alimentée en 7,2 V (c'est-à-dire l'ampli) consommera au maximum 400 mA

$$R_{\text{sense}} = \frac{2,5}{100 * 0,4} = 0,0625 \, \Omega \approx 0,05 \, \Omega$$

- *Pour la mesure du courant 3,3 V de la BCN :*

La partie de la carte BCN alimentée en 3,3 V consommera au maximum 50 mA

$$R_{\text{sense}} = \frac{2,5}{100 * 0,05} = 0,5 \, \Omega$$

- *Pour la mesure du courant 7,2 V de la BCN :*

La partie de la carte BCN alimentée en 7,2 V consommera au maximum 200 mA

$$R_{\text{sense}} = \frac{2,5}{100 * 0,2} = 0,125 \, \Omega \approx 0,12 \, \Omega$$

- Pour la mesure de courant du circuit digital sur l'EPS2 :

Le courant maximum consommé par le circuit digital est de 150 mA

$$R_{\text{sense}} = \frac{2,5}{100 * 0,15} = 0,166 \, \Omega \approx 0,16 \, \Omega$$

- Pour la mesure de courant du circuit digital sur l'EPS2 :

Le courant maximum consommé par le convertisseur 3,3 V est de 150 mA

$$R_{\text{sense}} = \frac{2,5}{100 * 0,15} = 0,166 \, \Omega \approx 0,16 \, \Omega$$

7.3.3. Mesure de températures

Le capteur de température doit pouvoir mesurer les températures de -35°C à 100°C.

Remarque : aucun composant n'atteindra jamais les 100°C excepté le transistor de dissipation et la face sur laquelle il dissipe. On peut donc considérer que la plage de fonctionnement -40°C à +85°C de la plupart des composants choisis est largement suffisante.

Le lm94022 a été choisi.

Ce capteur présente les avantages suivants :

- alimentable en 3,3 V
- peut couvrir des températures de -35°C à 150°C
- consommation faible
- extrêmement petit
- présente 4 gains possibles
- la courbe de la température en fonction de la tension de sortie est quasi linéaire dans la plage -35°C à 100°C

Sa petite taille va notamment permettre de venir le placer sur la face derrière le PC-104 où l'on dispose de quelques millimètres d'espace. Vu sa petite taille, ce composant peut également être collé sur les autres SMD dont on désire connaître la température (ex : T°ampli, T°convertisseur, ...).

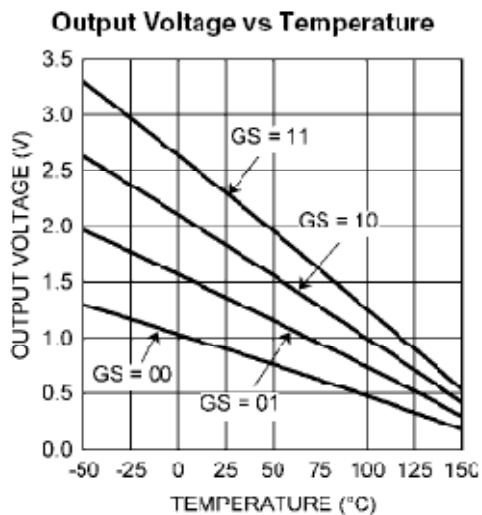


Figure 13 : courbe tension de sortie
fct de la température du lm94022

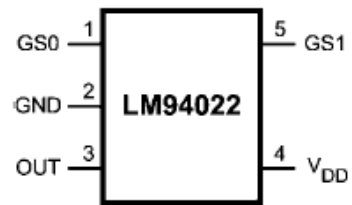


Figure 14 : Pins du lm94022

Les 2 entrées GS0 et GS1 permettent de choisir le gain en tension du lm94022.

Sur le graphique ci-dessus, plus la courbe est inclinée, plus la différence de tensions de sortie entre 2 températures choisies sera grande et donc plus facile à percevoir pour un ADC.

La courbe GS = 11 ne convient pas. A -35°C , le capteur de température fournit une tension de 3,095 V supérieure à la référence de 2,5 V.

Le gain GS = 10 est donc choisi. A -35°C , le capteur de température fournit une tension de 2,470 V et à 100°C , une tension de 0,997 V

Voir annexe 2 pour la liste des composants de mesures commandés, la surface qu'ils occupent et leurs références « Farnell ».

Chapitre 8 : Mesures : allocation mémoire

L'allocation mémoire du satellite pour les mesures peut se faire de manière statique ou dynamique.

- Statiquement, s'il est prévu à l'avance dans le software de l'ordinateur de bord d'exécuter constamment une série de mesures.
- Dynamiquement, si l'on envoie depuis la terre une commande au satellite pour lui faire effectuer une série de mesures choisies.

L'allocation statique précise notamment la plage de Bytes occupée par chaque mesure.

La taille de la mémoire occupée par les mesures dépend :

- de la place occupée par une mesure (son format de stockage).
- de la fréquence à laquelle on désire connaître la mesure.
- du temps pendant lequel on désire conserver la mesure.

Toutes les données de mesures vont être stockées dans une eeprom. Elles sont susceptibles d'être transmises à la terre via télécommande AX-25.

8.1. Prérequis

- Toutes les mesures sont réalisées sur 8 bits via les quatre ADC. (1 mesure = 1 byte dans l'eeprom) (les détails sur les ADC sont expliqués chapitre 8)
- La clock du satellite est codée sur 32 bits, il est prévu d'intercaler cette clock entre les différents échantillonnages de mesures afin de savoir exactement quand celles-ci ont été prises.
- La durée d'une orbite est de ± 103 minutes.
- Certains jours, le satellite ne passera qu'une seule fois au-dessus de Liège. D'après l'étude orbitale d'un collaborateur, dans le cas le plus critique, le satellite resterait plus de 22h sans être à portée de Liège. (Voir annexe 3 : tableau montrant le nombre de passages journaliers du satellite au-dessus de Liège ainsi que la durée possible de communication)

8.2. Choix

Il semble donc judicieux d'ajouter une deuxième eeprom à bord du satellite qui serait dédiée essentiellement au journal des mesures. La durée de ce journal serait de 24H.

8.2.1. Justifications

- La première eeprom devra stocker le log des événements, certains checksum, certainement une copie du code programme, des mises à jour possibles... voir plus. Il serait donc dommage de limiter l'échantillonnage de mesures du satellite seulement pour une question de place dans l'eeprom.

- Un log de 24h est nécessaire si l'on désire récupérer des mesures de certaines orbites.

- Pendant que le satellite n'est pas en communication avec le sol (c'est-à-dire la plupart du temps), son rôle se limitera essentiellement à la prise de mesures et à l'exécution des commandes prédéfinies dans le temps (envoyées du sol). (sans compter la tâche de vérification de la mémoire)

- La seconde eeprom est la même que la première (24FC1025 , sur I2C , 1024 Kbit). Il y aura donc un travail supplémentaire à fournir pour la commander.

Remarques

- La mémoire sera évidemment écrasée après 24h.

- L'échantillonnage et l'écriture dans l'eeprom des différentes mesures seront bien entendu suspendus pendant le mode D-STAR. Seul les mesures critiques de Housekeeping (tension batterie et température batterie) seront vérifiées en mode D-STAR.

8.3. Allocation mémoire statique.

Mesures	Echantillonnage	Nombre de Bytes	Nombre de Bytes pour l'heure	TOTAL	Utilité	Allocation début	Allocation fin	Conditions
courant cellule solaire 1 courant cellule solaire 2 courant cellule solaire 3 courant cellule solaire 4 courant cellule solaire 5	1 fois toutes les 2 minutes	$5 \times (24 \times 60) / 2 = 3600$	toutes les 16 minutes $\Rightarrow$ nb Bytes = $(24 \times 60 \times 4) / 16 = 360$	3960	état des cellules solaires	1	3960	/
courant cellules total	1 fois toutes les 2 minutes	$(24 \times 60) / 2 = 720$	toutes les 16 minutes $\Rightarrow 360$	1080	mesure puissance	3961	5040	/
T°face 1 T°face 2 T°face 3 T°face 4 T°face 5 T°face 6	1 fois toutes les minutes	$6 \times 24 \times 60 = 8640$	toutes les 16 minutes $\Rightarrow 360$	9000	Variation de la température suivant l'orbite	5041	14040	/
Tension Batterie	1 fois toutes les 10 secs	$(24 \times 3600) / 10 = 8640$	toutes les 2 minutes $\Rightarrow (24 \times 60 \times 4) / 2 = 2880$	11520	mesure housekeeping	14041	25560	/
T°batterie	1 fois toutes les 30 secs	$(24 \times 3600) / 30 = 2880$	toutes les 4 minutes $\Rightarrow (24 \times 60 \times 4) / 4 = 1440$	4320	mesure housekeeping	25561	29880	/
T°MSP430	1 fois toutes les 2 minutes	$(24 \times 60) / 2 = 720$	toutes les 16 min $\Rightarrow 360$	1080	...	29881	30960	/

T°conv 7,2 V(EPS)	1 fois toutes les minutes	24x60x4 =1440	toutes les 16 minutes => 360	1800	différence de T° suivant COM ON ou OFF (BCN tjs ON)	30961	32760	/
Tension bus 3,3 V Tension bus 5 V Tension bus 7,2 V	1 fois toutes les 5 minutes	(3x24x60)/5 =864	toutes les 15 minutes => (24x60x4)/15 = 384	1248	secondaire	32761	34008	/
T° ampli BCN Courant 7,2V BCN Courant 3,3V BCN	1 fois toutes les 5 minutes	(24x60x3)/5 =864	toutes les 15 minutes => (24x60x4)/15 = 384	1248	secondaire si architecture 2 amplis	34009	35256	/
T°transistor de dissipation	1 fois toutes les 30 sec pendant une durée max de 6h	6x60x2=720	à chaque mesure => 6x60x2x4 = 2880	3600	dissipation de la chaleur suivant l'orbite et l'état de Batterie (au max ou non)	35257	38856	Batterie chargée au max (4,2V)
Courant 3,3V COM Courant 7,2V COM	1 fois toutes les 5 minutes	(24x60x2)/5 =576	toutes les 15 minutes => (24x60x4)/15 = 384	960	secondaire	38857	39816	Carte COM alimentée
EPS2								
Tension de sortie du convertisseur Courant de sortie du convertisseur	1fois toutes les min (journal de 24h aussi même si EPS 2 pas toujours alimenté)	2x24x60 =2880	toutes les 16 minutes => (24x60x4)/16 = 360	3240	Vérification du fonctionnement de l'EPS 2 (cb de temps a-t-il fonctionné...)	39817	43056	Tension suffisante pour alimenter EPS2

Tension du circuit digital Courant alimentant le circuit digital	1 fois toutes les 10 minutes	$(2 \times 24 \times 60) / 10 = 288$	toutes les 20 minutes $\Rightarrow (24 \times 60 \times 4) / 20 = 288$	576	Vérification du fonctionnement de l'EPS 2	43057	43632	Tension suffisante pour alimenter EPS2
T° du convertisseur T° du circuit digital	1 fois toutes les 5 minutes	$(2 \times 24 \times 60) / 5 = 578$	toutes les 20 minutes $\Rightarrow (24 \times 60 \times 4) / 20 = 288$	866	Vérification du fonctionnement de l'EPS 2	43633	44498	Tension suffisante pour alimenter EPS2
Pendant les 10 premières orbites (± 1000 min), mesures des courants des 5 cellules solaires	à 2 Hz pendant 1,5 min toutes les 50 minutes	$90 \times 2 \times 5 \times 20 = 18000$	toutes les 50 minutes $(1000 / 50) \times 4 = 80$	18080	Variation de la rotation du satellite après éjection du P- POD (censé être de $10^\circ/\text{sec max}$)	44499	62578 Bytes	<u>remarque</u> : une fois les mesures rapatriées, cette espace devient accessible dynamiquement

Figure 15 : tableau de l'allocation mémoire

8.4. Mémoire dynamique

Le reste de la mémoire de l'eprom (à partir de 62579 Bytes) constitue l'espace des mesures dynamiques allouables par télécommandes. Ces mesures consisteront par exemple à échantillonner, à grande vitesse, la tension ou le courant au démarrage d'un composant.

8.5. L'eprom choisie

L'eprom choisie est la 24FC1025.

Elle présente les caractéristiques suivantes :

- alimentable en 3,3 V
- basse consommation (< 450 μ A)
- contrôle I2C
- peut fonctionner jusqu' à 1 Mhz
- t° de fonctionnement de -40°C et 85°C
- jusqu'à 4 composants identiques sur le même bus I2C (avec A0 et A1)
- capacité de 1Mbit = 128 kbytes

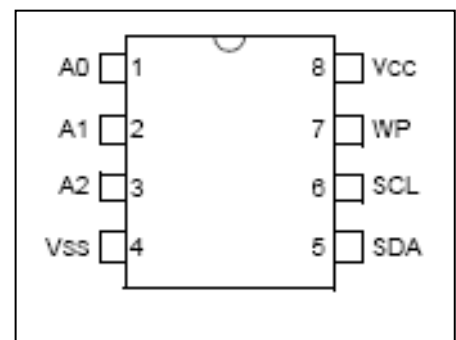


Figure 16 : Pins de l'eprom

8.5.1. Fonctionnement

Son fonctionnement est simple.

Ci-dessous, l'ensemble des bits nécessaires pour communiquer avec l'eprom.

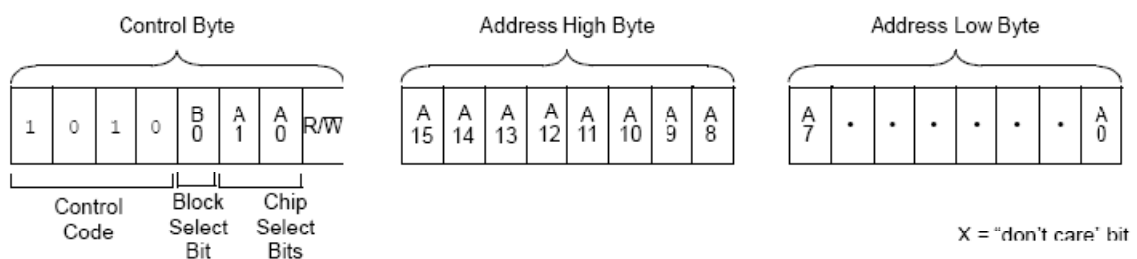


Figure 17 : bits d'adressage de l'eprom

Les 4 premiers bits sont les bits d'adresse du composant. Les bits A1 et A0 correspondent à la valeur des Pins A1 et A0 du composant et rendent possible l'utilisation de 4 eeproms sur le même bus I2C.

R/W précise si l'on effectue une lecture ou une écriture dans la mémoire.

L'EEPROM est divisée en deux plages de mémoire de 512 kbits (=64kbytes) chacune. Les bits A0 jusque A15 désignent l'adresse de mémoire voulue et le bit B0 permet de choisir l'une des 2 plages.

8.6. Proposition d'encodage du bloc TC des télécommandes AX-25 en rapport aux mesures :

8.6.1. Télécommande pour le rapatriement des mesures.

8.6.1.1. Principe :

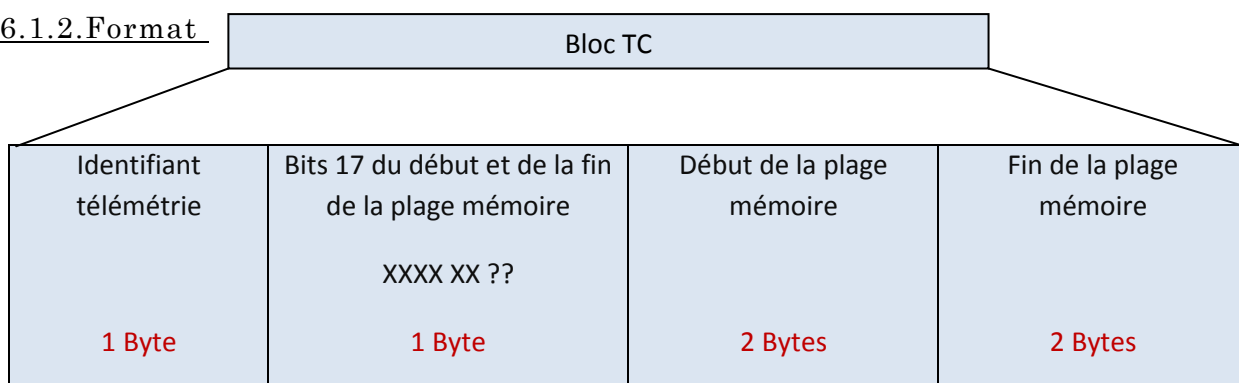
Les données de mesures statiques ou dynamiques ont un emplacement connu dans l'EEPROM (cf tableau des mesures pages 37,38,39). Elles seraient simplement rapatriées à l'aide d'une commande unique précisant la plage de Bytes de la mesure (ou des mesures) que l'on désire récupérer.

Il y aurait donc deux zones (après celle de l'Identifiant télémétrie) servant à préciser le Byte de début et le Byte de fin de la plage mémoire voulant être récupérée.

Pour couvrir la totalité des Bytes de l'EEPROM, c'est-à-dire 128 KO, il est nécessaire d'avoir 17 bits.

Les 2 zones du début et de la fin de la plage mémoire seraient donc codées sur 6 Bytes en tout (17 bits pour chaque zone). Afin d'économiser un Byte, les 2 premiers bits d'un octet pourraient respectivement identifier le 17ième bit du début et de la fin de la plage mémoire.

8.6.1.2.Format



8.6.2. Télécommande pour l'envoi d'ordres de mesures dynamiques

8.6.2.1. Principe

Pour envoyer la commande d'une mesure dynamique, il faut transmettre :

- l'endroit où l'on désire la stocker

C'est-à-dire le début de la mémoire que l'on désire allouer dans l'eprom. La fin de la plage de la mesure dynamique est connue avec le reste des données.

- l'heure à laquelle la mesure commence

- la fréquence d'échantillonnage de cette mesure et le temps pendant lequel on l'applique (en secondes)

ex : 2000hz pendant 1 sec pour certaines mesures de l'EPS 2

- la mesure que l'on désire échantillonner

Il y a 4 ADC, 8 ou 12 canaux. En attribuant 1 ADC et 1 canal à chaque mesure, il suffit d'un Byte pour la définir. Les 4 premiers bits du Byte désignent le canal et les 4 derniers bits désignent l'ADC.

8.6.2.2. Format :

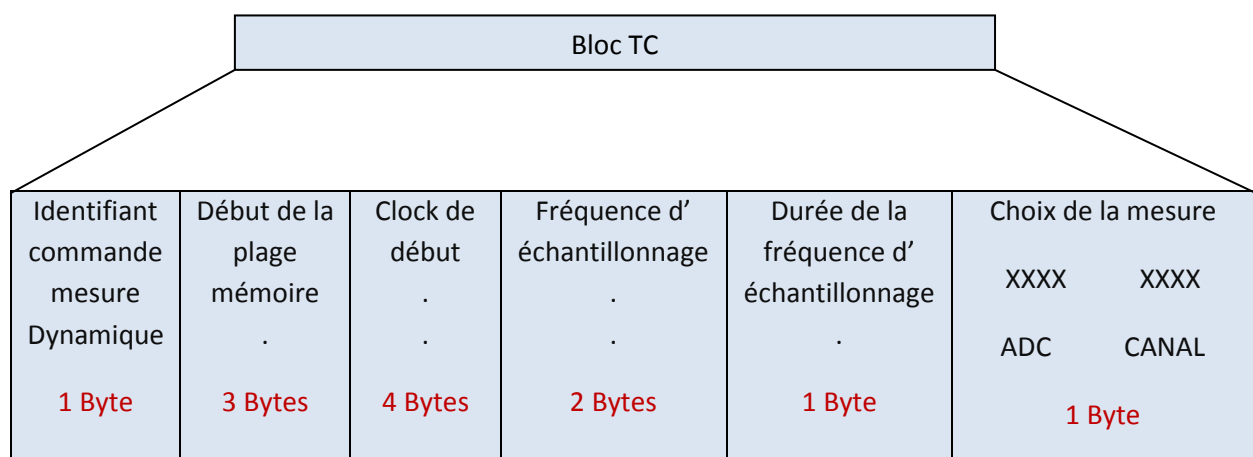


Figure 19 : format encodage télécommande dynamique

8.7. Réflexions sur l'allocation mémoire, les questions posées

Une énorme quantité de données est retenue dont une grande partie ne servira jamais à rien (la bande passante vers le sol étant assez limitée). Ne serait-il pas plus judicieux de ne retenir que les données qui vont réellement servir à quelque chose ? (Par exemple, en fonction des TM/TC planifiés.)

Certaines données ne servent en effet qu'à de simples vérifications des études théoriques de certains membres de l'équipe (Lionel, Philippe) et ne sont pas en soi, cruciales pour le satellite ou l'analyse de son comportement. Seules, en fait, la température et la tension de la batterie sont vitales à bord. En partant dans cette logique, l'EEPROM ne devrait pas sauvegarder grand chose et les télécommandes seraient utilisées pour planifier les mesures désirées.

Cela peut être une façon de procéder mais elle soulève plusieurs questions :

- Une fois le satellite lancé, prendra-t-on le temps de lui transmettre les éventuelles commandes de mesures dynamiques que l'on désire sur une orbite choisie et étudiée à l'avance ?
- Le plus important lors du mode télécommande AX-25 n'est-il pas la gestion du module D-Star (mise à jour des tables Doppler...) et son utilisation ?
- N'est-il pas plus sécuritaire de prévoir ces séries de mesures statiquement plutôt que d'en prévoir certaines dynamiquement ?

Il est sûr que l'on ne rapatriera jamais tout ce que l'EEPROM aura stocké mais seulement certaines zones mémoire connues (suivant l'orbite traversée et les desiderata du moment).

Même si une grande partie des mesures ne seront pas consultées, elles seront néanmoins directement disponibles, si on le désire, sans avoir envoyé au préalable une télécommande dynamique spécifique depuis la terre.

De plus, il serait dommage que le satellite n'ait aucune utilité durant le temps où il n'est pas en communication avec la terre (c'est-à-dire la majorité du temps).

Chez SpaceBel, Paul Parisi et son collègue Dominique Torette, spécialisés dans les systèmes embarqués, ont fortement conseillé de procéder de cette manière en soutenant le fait qu'il faut prévoir tout ce qui peut être fait de manière statique et éviter au maximum les commandes dynamiques qui peuvent occasionner plus de problèmes.

Concernant la bande passante de télémétrie AX-25, le débit est soit du 1200 ou du 9600 bauds/s. Sur une longueur de trame AX-25 de 256 Bytes, il y aurait 154 Bytes de données possibles. Dans le pire des cas, à une fréquence de 1200 bauds/s, il faudrait 1 minute pour rapatrier plus ou moins 5400 Bytes.

Il n'y a pas de checksums dans les structures de données. Comment détectera-t-on une corruption occasionnelle de l'EEPROM ?

Pour le programme du MSP, la première eeprom prévoira évidemment des checksums. En ce qui concerne des checksums sur les mesures dans la deuxième eeprom, ça n'a pas lieu d'être. La corruption d'une ou plusieurs données de mesures ne semble pas importante fondamentalement. Si corruption il y a, cela se remarquera directement sur les données rapatriées, vu la fréquence à laquelle les mesures statiques sont prises.

Pourquoi effacer systématiquement les données après 24h ? Pourquoi ne pas le faire uniquement lorsque l'on a besoin de place pour en stocker de nouvelles ?

Si l'on désire certaines mesures, on a 24h pour les rapatrier en sachant que généralement, le satellite passe au moins 2 fois par jour à portée de Liège.

Quelle est la durée de vie de l'EEPROM en fonction du nombre de cycles d'écriture permis ? Y a-t-il un mécanisme prévu pour égaliser ces écritures sur toutes les cellules ?

Il peut y avoir plus d'un million de cycles erase/write par Byte de mémoire. Au pire, après 1 an, on aura seulement effacé et réécrit dans la mémoire 365 fois.

9. Réalisation d'une chaufferette pour la partie thermique

En analysant les résultats de mission des cubesats déjà envoyés dans l'espace, il s'avère qu'à certains moments, la température des batteries chutait sous les 0°C. Il est donc indispensable d'équiper les batteries du satellite d'une chaufferette.

Pour citer un exemple, le satellite des Danois a rencontré d'énormes problèmes suite à un dysfonctionnement de la chaufferette.

Cette chaufferette doit être fonctionnelle, même si l'OBC est hors service. Il faut donc la réaliser de manière passive.

En dessous de 0°C, l'énergie disponible dans les batteries diminue substantiellement. Il convient donc de les conserver au minimum à 2°C, 3°C pour qu'elles ne se vident pas inutilement.

Les batteries utilisées sont des batteries KOKAM lithium. Le graphique ci-dessous montre le courant qu'elles peuvent délivrer en fonction de la tension demandée et de la température.

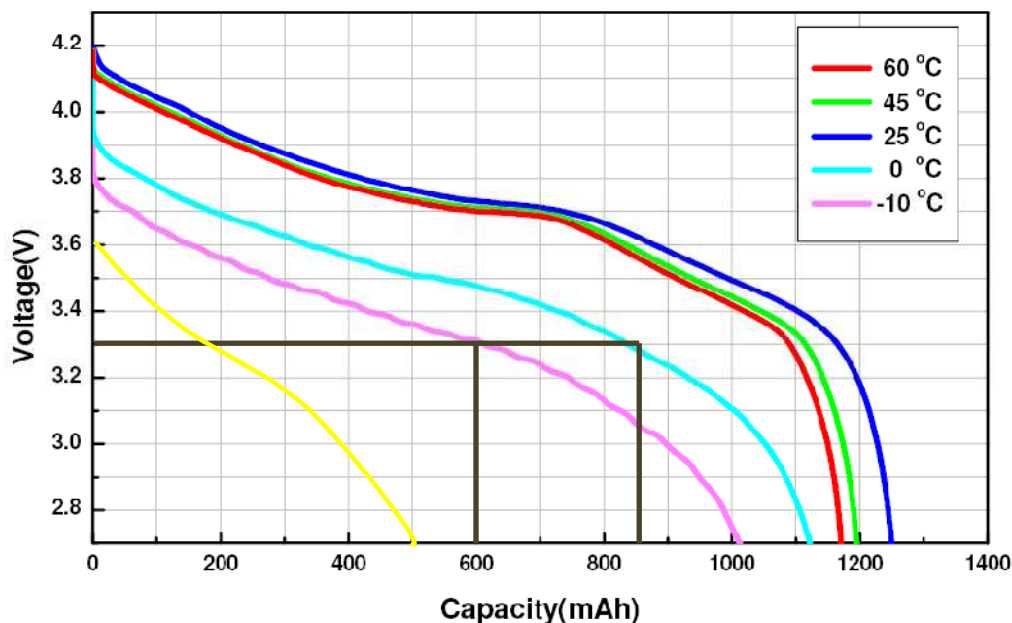


Figure 20 : courbes batteries

9.1. Constatation

On constate qu'à 0°C et pour une tension de 3,3 V, la batterie peut fournir 850 mA pendant 1h contre 600 mA à -10°C.

A partir de 5°C, la courbe se rapproche fortement de la courbe bleue et donc l'écart en énergie disponible entre la courbe à -10°C et celle à 5°C se marque fortement. Malheureusement, cette courbe n'est pas dessinée sur le graphique fourni par KOKAM. Nous avons constaté cette différence sur un graphique de batterie VARTA ressemblant parfaitement au graphique page 45.

A l'inverse, les courbes correspondant à des températures inférieures à 10°C s'écroulent complètement. La courbe dessinée en jaune à main levée, correspond à une température de -20°C comme celle présentée sur le graphique des batteries VARTA.

Maintenir la batterie à une certaine température consomme de la puissance (de la batterie elle-même), mais cette puissance consommée est bien plus faible que celle perdue si la batterie atteint une température trop basse.

L'idée est de comparer directement la valeur fournie par le capteur de température de la batterie avec une valeur de référence afin de décider de chauffer ou pas. La chaufferette sera probablement un serpentín de fil de cuivre collé sur la batterie.

Nous avons décidé de calculer le montage d'un comparateur à hystérésis.

9.2. Montage à hystérésis

Les valeurs de températures de l'hystérésis sont 2°C et 7°C. Cela correspond à des tensions de sortie du capteur de température de 2,079 V(=Vp) pour 2°C et 2,025 V(=Vn) pour 7°C

Rappel : plus la température descend, plus la tension fournie par le capteur augmente.

Comparateur à hystérésis (non-inverseur):

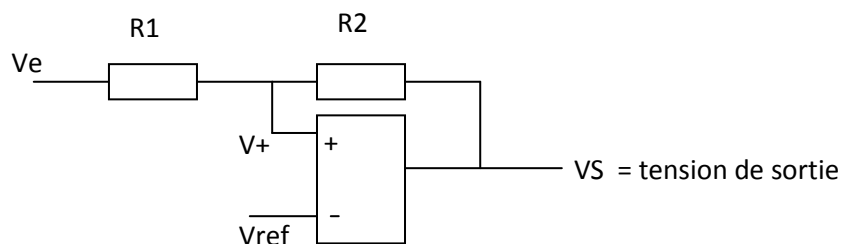


Figure 21 : schéma comparateur à hystérésis

Soit V_{sat-} et V_{sat+} les valeurs distinctes de sortie du comparateur.

On veut,

$V_{sat-} = 0 \text{ V}$ afin de ne pas alimenter la chaufferette lorsque la température des batteries est suffisante.

$V_{sat+} = 5 \text{ V} \Rightarrow$ le comparateur devra au moins être alimenté en 6 V si l'on veut sortir du 5 V . Cela dépendra de l'ampli-op choisi.

On a,

$$V_s = V_{sat+} \quad \text{si} \quad V_n = V_{ref} * (R_1 + R_2) / R_2 - V_{sat+} * R_1 / R_2$$

$$V_s = V_{sat-} \quad \text{si} \quad V_p = V_{ref} * (R_1 + R_2) / R_2 - V_{sat-} * R_1 / R_2$$

En soustrayant membres à membres les 2 équations précédentes, on obtient :

$$V_p - V_n = R_1 / R_2 * (V_{sat+} - V_{sat-})$$

$$2,079 - 2,025 = R_1 / R_2 * (5 - 0)$$

$$\Rightarrow R_1 / R_2 = 0,0108$$

En choisissant $R_2 = 400 \text{ k}\Omega$, on a $R_1 = \pm 4,3 \text{ k}\Omega$

Schématiquement, cela donne :

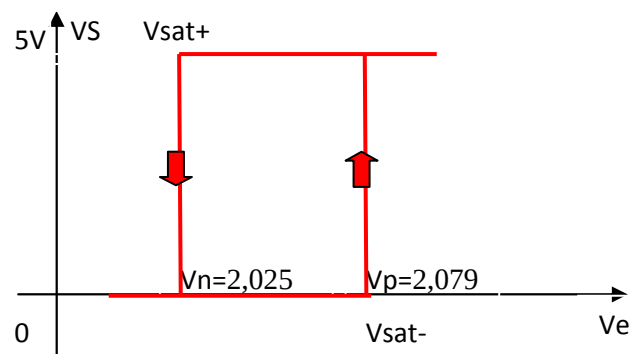


Figure 22 : réponse comparateur à hystérésis

On passe bien à 5 V lorsque la tension V_e augmente $\Leftrightarrow$ lorsque V_e dépasse $2,079 \text{ V} \Leftrightarrow$ lorsque la tension du capteur de température dépasse $2,079 \text{ V} \Leftrightarrow$ lorsque le capteur de température descend en-dessous de 2°C . Et vice-versa, la sortie du comparateur revient à 0 lorsqu'on descend en-dessous de $2,025 \text{ V}$.

9.3. Remarques :

1. Le travail a consisté à calculer ce montage afin d'aider Lionel, responsable de la thermique à bord du satellite.

2. Ce montage à comparateur à hystérésis sert juste à savoir quand la chaufferette doit fonctionner (de manière passive) et ne pourra pas fournir à lui seul le courant nécessaire pour alimenter la chaufferette. Il faut donc prévoir un composant après ce comparateur permettant d'injecter un courant suffisant lorsque la sortie du comparateur passe à 5 V (par ex, un montage avec transistor).

3. Il faut vérifier que l'ampli-op choisi a une précision suffisante pour mesurer des écarts de tensions entre $V_n=2,025\text{ V}$ et $V_p=2,079\text{ V}$.

Chapitre 10 : Configuration des ADC

Les ADC (Convertisseur Analogique Digital) permettent de collecter puis de convertir les différentes données fournies par les divers capteurs.

Compte tenu du nombre de mesures à prendre, 2 ADC différents ont été choisis. **L'ADS7830 8 canaux et le MAX1039 12 canaux.** Ces 2 ADC sont sur 8 bits.

Comme dit précédemment, la référence pour les ADC est de 2,5 V. Les ADC seront donc précis à $\frac{2,5}{2^8} = 9,76 \text{ mV} = 10 \text{ mV}$ près.

10 mV semble correct pour les mesures de tensions.

-Pour les mesures de courants, avec les max9938, on a $\frac{10\text{mV}}{100 * R_{\text{sense}}} = \frac{0,1\text{mV}}{R_{\text{sense}}}$ ampère de précision.

Exemple : 1. - *Pour la mesure de l'ensemble des courants totaux des 5 faces :*

On a : $\frac{0,1\text{mV}}{R_{\text{sense}}} = \frac{0,1\text{mV}}{0,012} = 8,33 \text{ mA}$ de précision par rapport à une mesure de courant tournant aux alentours de 1,5A.

2. - *Pour la mesure du courant 3,3 V de la BCN :*

On a : $\frac{0,1\text{mV}}{R_{\text{sense}}} = \frac{0,1\text{mV}}{0,5} = 0,2 \text{ mA}$ de précision par rapport à une mesure de courant tournant aux alentours de 45mA.

-Pour les mesures de températures, à -35°C, le capteur de température fournit une tension de 2,470 V et à 100°C, une tension de 0,997 V.

Dans cette zone de température, la courbe de température étant quasi linéaire par rapport à la tension de sortie, on peut dire que l'erreur de mesure due seulement à l'ADC

sera de $\frac{100 + 35}{\frac{2,470 - 0,997}{0,01}} = 0,916^\circ\text{C}$.

10.1. L'ADS7830

10.1.1. Caractéristiques :

- 8 canaux
- contrôle I2C
- jusqu'à 4 composants identiques sur le même bus I2C
- référence interne de 2,5 V
- la clock (SCL) peut aller en théorie jusqu'à 3,4 Mhz
- consommation faible (de 180 μ W à 675 uW suivant le mode)
- alimentable de 2,7 à 5 V
- coefficient de température bas
- température de fonctionnement entre -40°C et 85°C

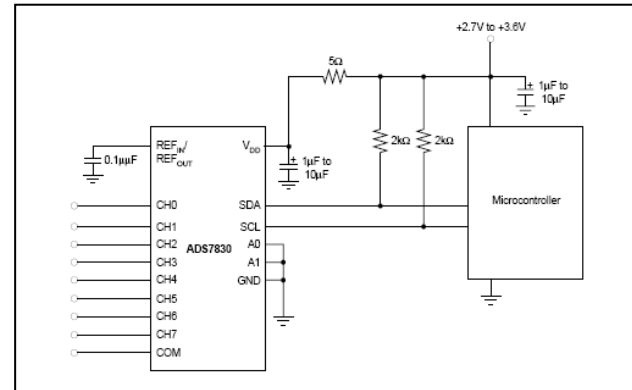


Figure 23 : schéma de l'ADS7830

Les pins d'entrées A0 et A1 permettent de sélectionner l'ADS7830 correspondant.

Il y a donc maximum 4 ADS7830 sur le bus I2C.

La pin COM est une pin d'entrée dont le signal peut être additionné aux signaux d'entrées des 8 canaux. Elle n'est pas réellement nécessaire et sera donc maintenue à la masse.

SDA et SCL sont les pins de l'I2C, l'une pour les données et l'autre pour la clock.

10.2. Communication avec l'ADS7830 :

L'ADS7830 est un « esclave » sur le Bus I2C, il ne peut parler que lorsque le « maître » (= le μ C) l'y autorise.

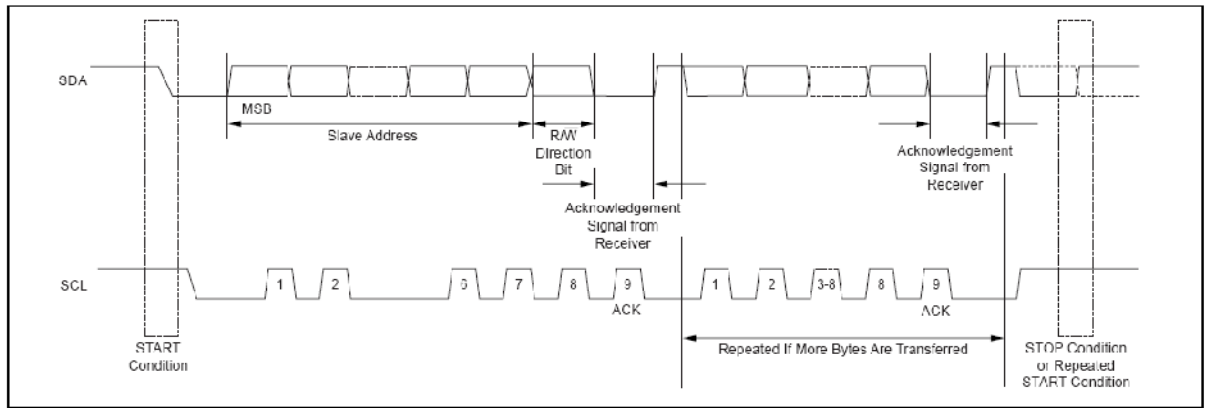


Figure 24 : protocole de communication I2C de l'ADS7830

Au début de la communication, SDA passe de 1 à 0 alors que SCL reste à 1, c'est le StartBit.

Après avoir imposé la condition de départ, le maître passe SCL à 0 puis applique ensuite sur SDA le bit de poids fort.

Le maître valide la donnée en appliquant pendant un instant un niveau 1 sur la ligne SCL. Il recommence l'opération jusqu'à ce que l'octet d'adresse complet soit transmis.

Le maître redéfinit ensuite SDA comme une entrée et scrute son état ; l'esclave doit alors imposer un niveau 0 pour signaler au maître que la transmission s'est effectuée correctement, on appelle ça l'envoi d'un ACK.

Si l'esclave n'envoie pas l'ACK, les résistances de pull-up maintiennent la ligne à #1. La communication peut alors être arrêtée ou reprendre à zéro (dépend de la configuration), c'est le StopBit.

Le StopBit indiquant la fin de la transmission par le maître est effectué en appliquant un passage de 0 à 1 de SDA alors que SCL reste à 1.

10.2.1. Il y a 2 types de transferts de données

1. Le transfert de données d'un émetteur maître à un récepteur esclave. Le premier octet transmis par le maître est l'adresse de l'esclave (un des ADS). Suit ensuite un certain nombre d'octets de données. L'esclave renvoie un ACK après avoir reçu l'octet d'adresse et également après réception de chaque byte de données.

2. Le transfert de données d'un émetteur esclave à un récepteur maître. Le premier octet est d'abord transmis par le maître pour donner l'autorisation à l'esclave de parler. L'esclave renvoie ensuite un ACK pour réception.

Ensuite, un certain nombre d'octets de données est transmis par l'esclave au maître. Le maître renvoie un ACK après tous les octets reçus autres que le dernier octet. Au dernier octet reçu, un NOT-ACK est retourné par le maître.

10.2.2. Remarque

L'ACK = acknowledge (= acquittement en français) est un bit envoyé par le composant esclave (ou le maître) pour indiquer qu'il a bien reçu toutes les données du maître (ou de l'esclave) ; si c'est le cas, l'esclave (ou le maître) impose le niveau 0, sinon la résistance de pull-up maintient la ligne à 1, on dit alors qu'il n'y a pas d'acknowledge = NOT-ACK.

10.2.3. Byte d'adresse :

MSB	6	5	4	3	2	1	LSB
1	0	0	1	0	A1	A0	R/W

Comme dit précédemment, le premier byte reçu par l'esclave est le byte d'adresse.

Les 5 premiers bits (1 0 0 1 0) sont des bits d'adresse inchangeables spécifiques à l'ADS7830.

Les 2 bits suivant A0 et A1 permettent de choisir l'ADS à joindre (s'il y en a plusieurs).

Le dernier bit de l'octet d'adresse (R/W) définit l'opération à exécuter. Lorsqu'il vaut 1, c'est une opération de lecture, lorsqu'il vaut 0, c'est une opération d'écriture.

10.2.4. Byte de commande :

Le mode de l'ADS7830 est déterminé par un byte de commande suivant le byte d'adresse.

MSB	6	5	4	3	2	1	LSB
SD	C2	C1	C0	PD1	PD0	X	X

Le premier bit SD permet de se servir ou non de la PIN d'entrée COM. La PIN d'entrée COM peut être utilisée pour soustraire son signal d'entrée aux signaux des différents canaux.

Les bits C1, C2 et C3 permettent de choisir le canal.

CHANNEL SELECTION CONTROL												
SD	C2	C1	C0	CI10	CI11	CI12	CI13	CI14	CI15	CI16	CI17	COM
0	0	0	0	+IN	-IN	—	—	—	—	—	—	—
0	0	0	1	—	—	+IN	-IN	—	—	—	—	—
0	0	1	0	—	—	—	—	+IN	-IN	—	—	—
0	0	1	1	—	—	—	—	—	—	+IN	-IN	—
0	1	0	0	-IN	+IN	—	—	—	—	—	—	—
0	1	0	1	—	—	-IN	+IN	—	—	—	—	—
0	1	1	0	—	—	—	—	-IN	+IN	—	—	—
0	1	1	1	—	—	—	—	—	—	-IN	+IN	—
1	0	0	0	+IN	—	—	—	—	—	—	—	IN
1	0	0	1	—	—	+IN	—	—	—	—	—	-IN
1	0	1	0	—	—	—	—	+IN	—	—	—	-IN
1	0	1	1	—	—	—	—	—	—	+IN	—	-IN
1	1	0	0	—	+IN	—	—	—	—	—	—	-IN
1	1	0	1	—	—	—	+IN	—	—	—	—	-IN
1	1	1	0	—	—	—	—	—	+IN	—	—	-IN
1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	+IN	—	-IN

Figure 25 : tableau de contrôle des différents canaux de l'ADS7830

PD1 et PD0 sont 2 bits permettant de gérer différents modes.

Si PD1 = 0 et PD0 = 0, il n'y a plus de conversion analogique numérique (= convertisseur désactivé) sur le canal préalablement choisi, c'est un mode d'économie d'énergie.

Si PD1 = 0 et PD0 = 1, le convertisseur est activé sur une référence externe.

Si PD1 = 1 et PD0 = 1, le convertisseur est désactivé mais la référence interne de 2,5 V est activée.

Si PD1 = 1 et PD0 = 0, le convertisseur est activé sur la référence externe de 2,5 V.

10.3. Le MAX1039

10.3.1. Caractéristiques :

- 12 canaux
- contrôle I2C
- jusqu'à 4 composants identiques sur le même bus I2C
- référence interne de 2,048 V.
- la clock (SCL) peut aller en théorie jusqu'à 1,7 Mhz
- consommation faible
- alimentable de 2,7 à 3,6 V

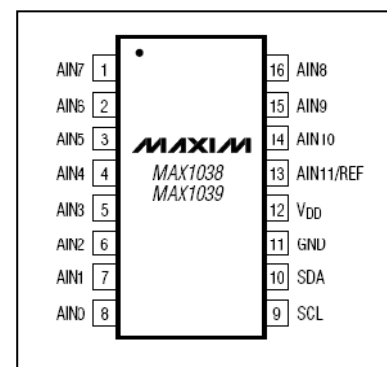


Figure 26 : Pins du MAX1039

- coefficient de température bas
- températures de fonctionnement entre -40°C et 85°C

Contrairement à l'ADS7830, le MAX1039 ne possède pas d'entrée A0 et A1. Il est toutefois possible de commander 4 MAX1039 avec 4 adresses différentes (MAX1039AEEE, MAX1039KAEEE, MAX1039LAEEE, MAX1039MAEEE).

Il a été décidé, pour raison de simplicité, que toutes les mesures seraient prises par rapport à une référence de 2,5 V. Or, celle du MAX1039 est de 2,048 V. Il faudra donc lui fournir une référence externe de 2,5V.

Pour fournir cette référence externe, nous utilisons un composant de chez Analog Devices, le REF192.

10.3.2. Le REF192 :

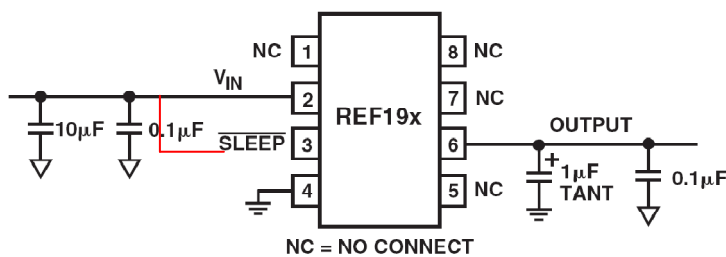


Figure 27 : schéma REF192

10.3.2.1. Caractéristiques

- erreur sur la tension de sortie (2,5V) infime
- températures de fonctionnement entre -40°C et 85°C
- coefficient de température très bas (5 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ max)
- consomme un courant de 45 μA maximum

Les Pins NC ne servent à rien, elles permettent juste de tester le composant en usine. Les différents condensateurs sont des filtres pour rendre la tension la plus stable possible. La Pin SLEEP lorsqu'elle est au niveau bas permet de désactiver le composant, mais cette fonction ne sera pas utilisée.

Sur le schéma ci-dessus, le composant est désactivé. La Pin SLEEP sera reliée à l'entrée Vin afin que le composant reste toujours activé (en rouge sur le schéma).

10.4. Communication avec le MAX1039

Le principe de fonctionnement est le même que l'ADS7830.

Néanmoins, il existe deux bytes de commande pour le MAX1039, l'un s'appelant le Setup Byte et l'autre le Configuration Byte.

10.4.1. Byte d'adresse

Les 7 premiers bits d'adresse sont fixés par l'usine et sont inchangeables.

Ex : pour le MAX1039AEEE, les 7 premiers bits d'adresse sont 1100101

Le dernier bit de l'octet d'adresse (R/W) définit l'opération à exécuter comme pour l'ADS7830.

10.4.2. Byte de commande

10.4.2.1. Setup Byte

MSB	6	5	4	3	2	1	LSB
REG	SEL2	SEL1	SEL0	CLK	BIP/UNI	RST	X

REG désigne s'il s'agit de Configuration Byte ou du Setup Byte.

REG = 1 = Setup Byte ; REG = 0 = Configuration Byte.

SEL2, SEL1 et SEL0 définissent l'état de la référence. (Pin 13, canal 11)

SEL2	SEL1	SEL0	Référence	Pin 13, AIN_/REF	Etat de la référence interne
0	0	X	Vdd	Entrée analogique	OFF
0	1	X	Référence externe	Référence en entrée	OFF
1	0	0	Référence interne	Entrée analogique	ON
1	0	1	Référence interne	Entrée analogique	ON

1	1	X	Référence interne	Référence en sortie (sort 2,048V)	ON
---	---	---	-------------------	--------------------------------------	----

Figure 28 : tableau de référence du max1039

Le MAX1039 possède un quartz interne. Avec CLK = 0, on active la clock interne, avec CLK = 1, on la désactive et on se sert de SCL. On utilise la clock interne pour SCL > 1 ms. Nous utiliserons donc ici la clock externe.

Si BIP/UNI = 1 : on est en mode bipolaire. Si BIP/UNI = 0 : on est en mode unipolaire. Le mode unipolaire analyse une entrée analogique de 0 à REF. Si une entrée analogique est négative en mode unipolaire, la sortie numérique sera égale à 0. Le mode bipolaire analyse une entrée analogique à $\pm V_{REF}/2$ et donc tient compte des entrées analogiques négatives. Dans notre cas, nous utiliserons le mode unipolaire.

RST sert juste à réinitialiser le registre de configuration aux valeurs prises par défaut.

10.4.2.2. Configuration Byte

MSB	6	5	4	3	2	1	LSB
REG	SCAN1	SCAN0	CS3	CS2	CS1	CS0	SGL/DIF

REG désigne s'il s'agit de Configuration Byte ou du Setup Byte.

SCAN1 et SCAN0 définissent le mode d'échantillonnage

SCAN1	SCAN0	Configuration
0	0	Balaye les entrées du canal 0 au canal sélectionné par CS3-CS0
0	1	Convertit 8 fois l'entrée sélectionnée par CS3-CS0
1	0	Balaye les entrées du canal 2 au canal sélectionné par CS3-CS0
1	1	Convertit l'entrée sélectionnée par CS3-CS0 (jusqu'à ce qu'il ait un ACK)

Figure 29 : mode d'échantillonnage du max1039

CS3, CS2, CS1 et CS0 servent à sélectionner le canal.

CS3 ¹	CS2 ¹	CS1	CS0	AIN0	AIN1	AIN2	AIN3 ²	AIN4	AIN5	AIN6	AIN7	AIN8	AIN9	AIN10	AIN11 ²	GND
0	0	0	0	+												-
0	0	0	1		-											-
0	0	1	0			+										
0	0	1	1				+									-
0	1	0	0					+								-
0	1	0	1						+							-
0	1	1	0							+						-
0	1	1	1								+					-
1	0	0	0									+				-
1	0	0	1										+			-
1	0	1	0											+		-
1	0	1	1												+	-
1	1	0	0	RESERVED												
1	1	0	1	RESERVED												
1	1	1	0	RESERVED												
1	1	1	1	RESERVED												

Figure 30 : tableau de contrôle des canaux du max1039

SGL/DIF permet de choisir à quoi le signal va être comparé. SGL/DIF = 1 correspond au tableau ci-dessus, le signal est comparé avec la masse, on obtient donc le signal lui-même. Si SGL/DIF = 0, le signal final est la différence de signaux de deux canaux.

Chapitre 11 : PCB de tests

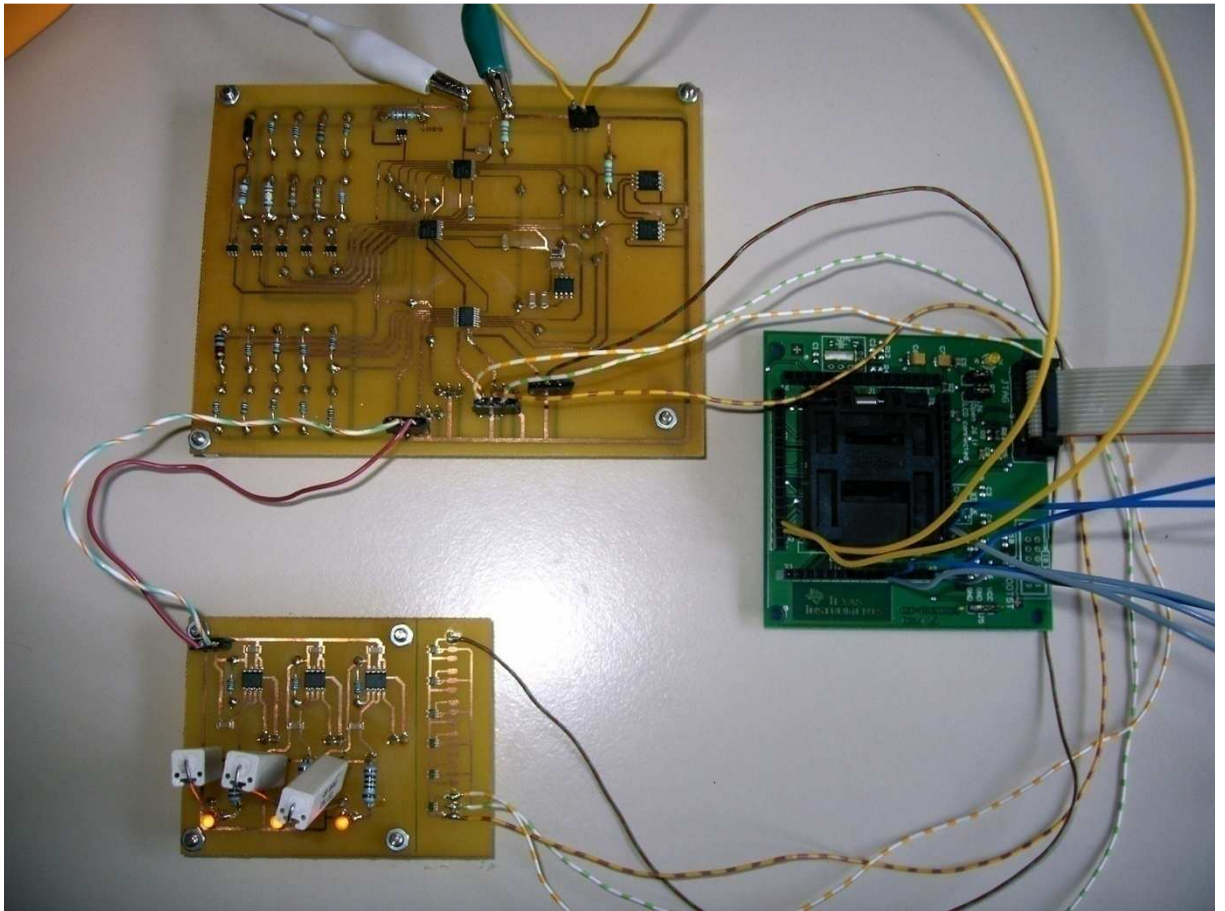


Figure 31 : vue d'ensemble des PCB de tests

La photo ci-dessus reprend la carte de développement en miniaturisé, un grand PCB permettant de tester l'ensemble des ADC et EEPROM et un petit PCB pour tester les commutateurs de protection de courant et les capteurs de température.

Ces PCB ont été réalisés pour pouvoir travailler le plus rapidement possible sur des composants utilisés dans le satellite.

En effet, les cartes de chaque sous-système n'ont pas pu être disponibles pour réaliser les tests nécessaires à la bonne programmation des composants et à l'ensemble du fonctionnement du satellite. Cela s'explique de manière logique puisque les personnes chargées de réaliser ces différentes cartes travaillaient simultanément, pendant la même période, sur le satellite. Il fallait donc des PCB permettant de tester certains composants comme ceux utilisés sur les cartes des différents sous-systèmes ainsi qu'une possibilité de simulation partielle de l'activité réelle du satellite (commutateurs, eeproms) sans quoi il n'était plus possible d'avancer.

Ces PCB ont été imprimés à L'ULG. Certains composants sont des SMD, il a donc fallu se rendre chez Microsys situé dans le parc scientifique à Liège, spécialisé notamment dans les microsoudures. (Voir annexe 4 : liste des composants commandés, utilisés pour ces PCB)

11.1. Petit PCB

Ce PCB comprend des capteurs de températures et des commutateurs électriques. (Voir annexe 5: schéma électrique et schéma de routage du petit PCB.)

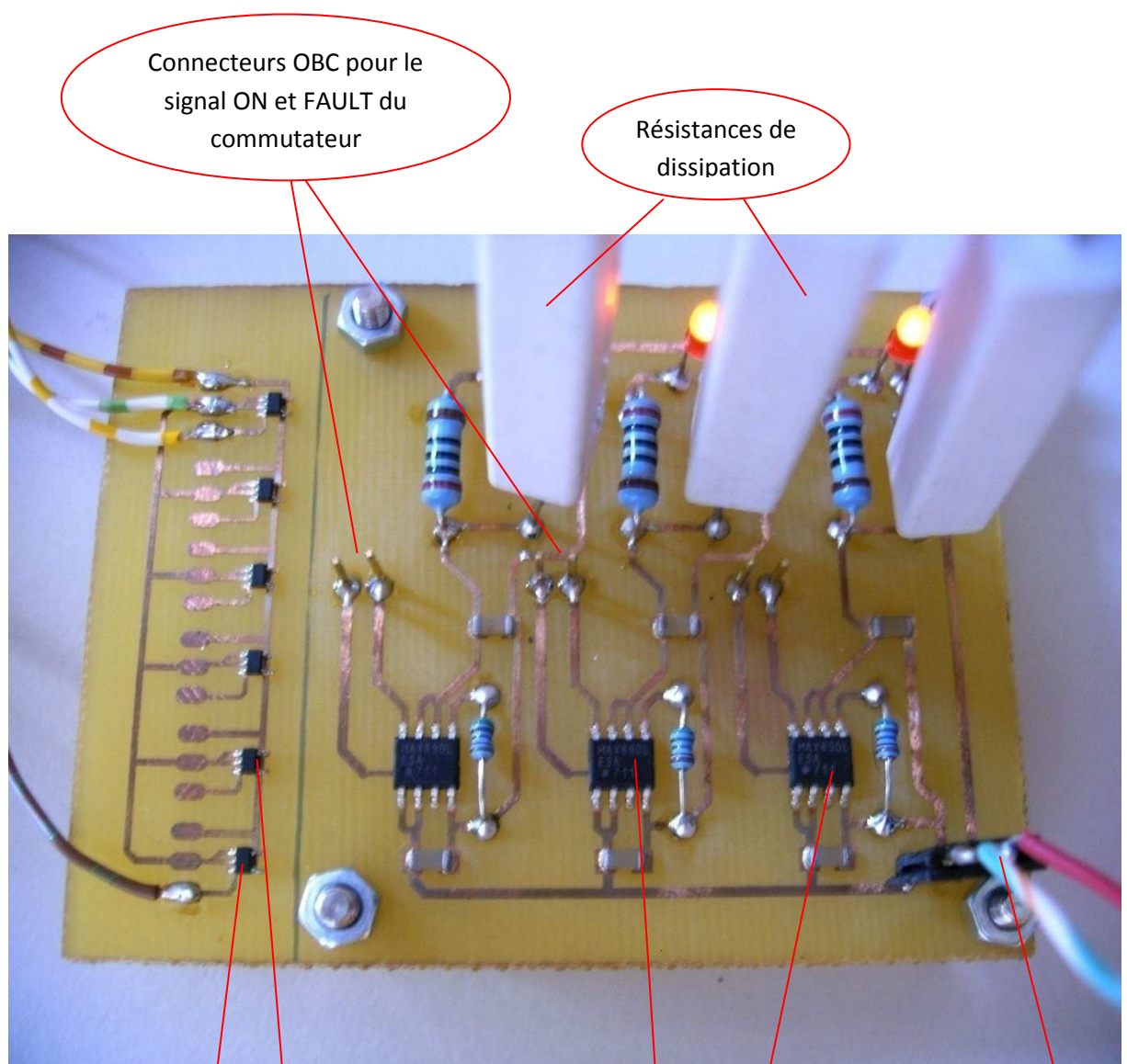


Figure 32 : petit PCB

Afin de ne pas faire passer trop de courant dans les pcs de tests, je choisis I limit à la valeur minimale, c'est-à-dire I limit = 250 mA.

On a $R_b = \frac{1,38 \cdot 10^3}{0,25} = 5520 \, \Omega$.

La sortie du commutateur pourra être constatée plus facilement ON ou OFF par une LED.

11.2.4. Calcul du montage led :

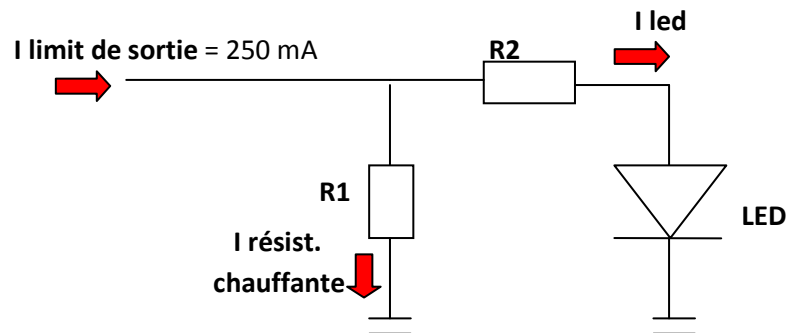


Figure 34 : schéma du montage led

En fonctionnement normal, c'est-à-dire avec I limit < 250 mA, les commutateurs seront testés à 3,3 V.

Il faudra donc augmenter la tension pour augmenter le courant et ainsi constater que les commutateurs switch OFF lorsque le I limit est dépassé.

En choisissant que le courant limite soit obtenu lorsque l'on atteint 6 V et que la LED soit parcourue par I led maximum de 30 mA, on a :

A 6 V, pour 30 mA, il faut une résistance R2 de : $R2 = \frac{6}{30 \text{ mA}} = 200 \, \Omega$

A 6 V, pour (250-30) = 220 mA, il faut une résistance R1 de : $R1 = \frac{6}{(250-30) \text{ mA}} = 27,27 \, \Omega$

Il faut également que R1 supporte $(R \cdot I^2)$ $27,27 \cdot 0,22^2 = 1,32 \text{ Watt}$
et R2 supporte $200 \cdot 0,03^2 = 0,18 \text{ Watt}$

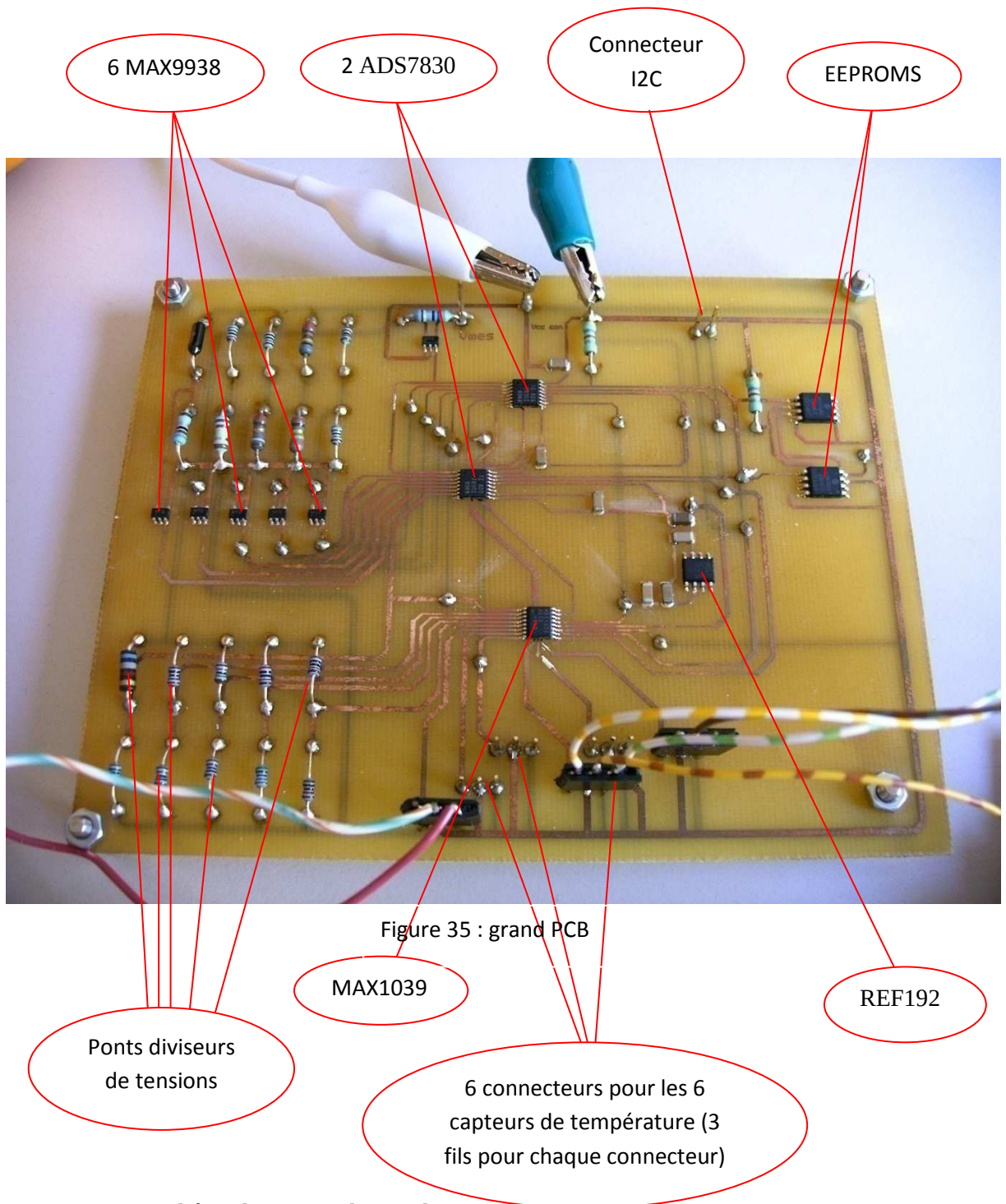
11.2.5. Les capteurs de température

Ils sont destinés à être découpés du petit PCB pour être testés dans le prototype du satellite.

Ils seront également testés grâce aux ADC sur le grand PCB.

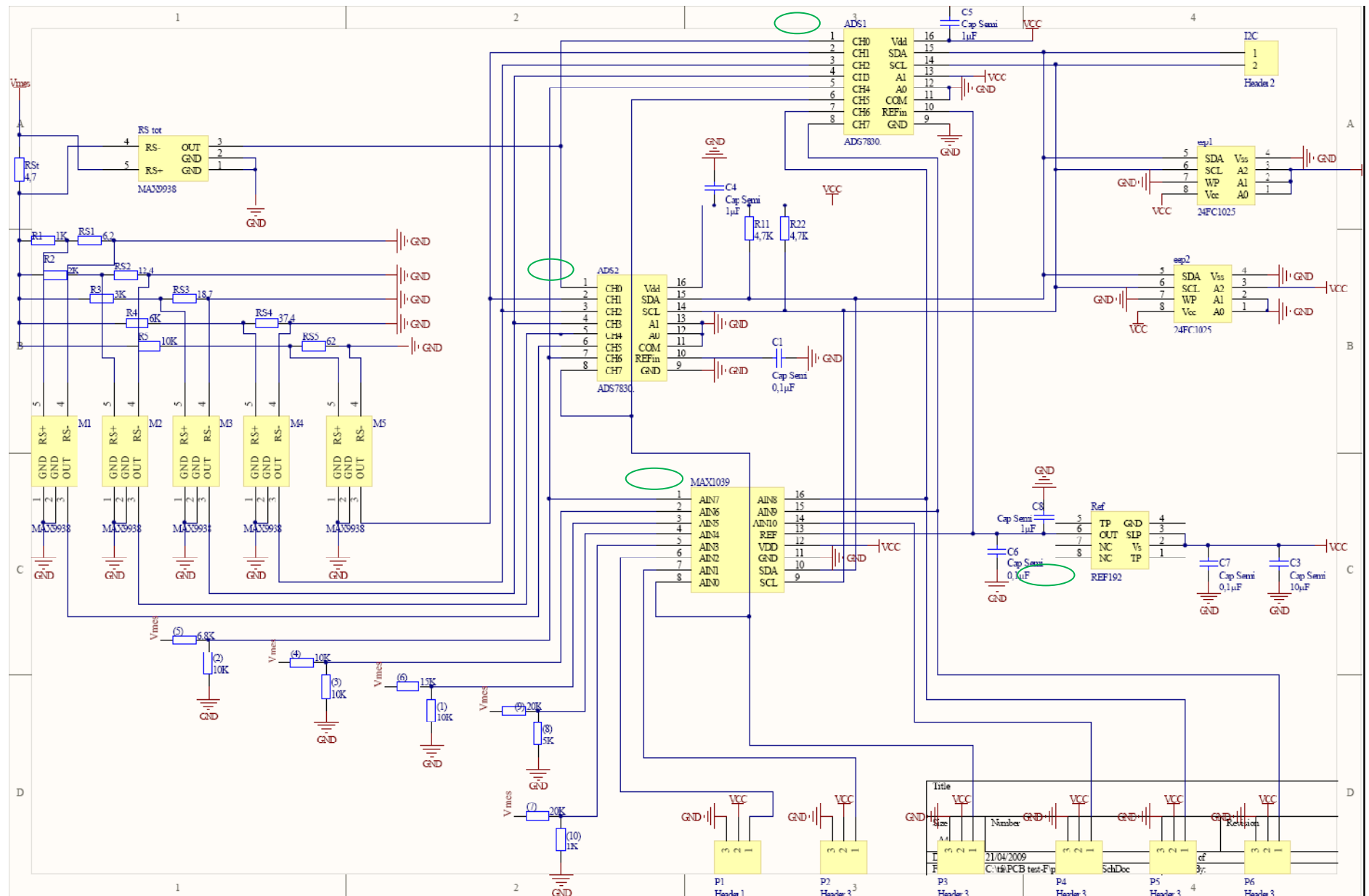
11.3. Grand PCB :

Ce PCB comprend 2 eeproms, des convertisseurs courant-tension (MAX9938), 3 ADC dont 2 ADS7830 et 1 MAX1039, un composant fournissant une tension de référence de 2,5 V (REF192).



Voir annexe 6 : schéma de routage du grand PCB

11.3.1. Schéma électrique du grand PCB :



11.3.2. Explication des choix dans le schéma électrique du grand PCB

Le schéma électrique du grand PCB a été réalisé afin de pouvoir tester les ADC et eeproms de manière optimale.

A cette fin, il est prévu 2 sources d'alimentation appelées Vmes et Vcc sur le schéma ci-dessus. Vcc alimente en 3,3 V les ADC et les eeproms. Par contre, Vmes pourra fournir de 0 à X V les circuits de résistances « mesurés » par les ADC et ainsi pouvoir faire varier en direct la tension à échantillonner aux pins des différents ADC.

Une résistance de pull up est placée sur les circuits I2C (SDA et SCL). La valeur typique de la résistance est de 4,7 k Ω .

Le schéma comprend également une série de ponts diviseurs différents et prévoit l'échantillonnage de divers courants, pour avoir une multitude de mesures différentes pour les ADC.

La précision des références des ADC sera également testée et comparée aux valeurs annoncées dans les datasheet. La référence externe (ref192) est connectée au MAX1039 mais aussi à un des ADS7830. On pourra donc switcher de la référence interne à la référence externe et comparer les valeurs obtenues.

Comme on le voit clairement sur le schéma, certains signaux vont également être analysés par plusieurs ADC. On pourra donc constater s'il existe des différences substantielles entre les ADC et surtout entre le MAX1039 et l'ADS7830 lorsqu'ils échantillonnent le même signal.

Les PCB ont été réalisés sous le logiciel Altium Designer. Ce logiciel est une référence dans le monde de l'électronique.

La réalisation d' un PCB double face étant une première, il s'est avéré nécessaire d'être conseillé. Un technicien de l'ULG a gentiment prodigué ses recommandations.

11.4. Tests des PCB

Les tests ont été effectués avec succès. Les composants sont tous fonctionnels.

Pour raison de facilité, les drivers de l'I2C, des eeproms et des ADC sont consultables sur le CD-ROM joint à ce travail. Dans le dossier drivers, vous trouverez les fichiers I2C.c, eeprom.c et ADC.c.

Les drivers de l'I2C et de l'eeprom ont été réalisés par Damien Teney. Les détails de programmation ne seront pas abordés dans ce travail.

Un programme pour le test des max890 (switchs des cartes) est également présent sur le CD-ROM dans le dossier « commutateurs ». Ce programme contrôle les différents commutateurs.

11.5. Problèmes rencontrés

Les pistes des PCB ont dû être colmatées. Elles présentaient en effet des micro-coupures à divers endroits. Apparemment, ces dernières sont dues, soit à la mauvaise qualité du calque d'impression, soit à la détérioration du bain d'acide.

Un des 6 capteurs de courant (le max9938) ne réagit pas. Il est, soit mal soudé, soit simplement hors service.

11.6. Quelques conseils donnés pour la réalisation d'un PCB

- Les pistes de cuivre ne peuvent changer brutalement de direction (éviter les angles aigus).
- La taille des pistes d'alimentation doit être suffisante pour amener le courant.
- Il faut travailler avec le moins de Vias possible (gain de temps).
- Le diamètre des Vias et des Pads doit au moins être de 1,8 mm pour laisser une certaine quantité de cuivre après forage.
- Il faut éviter de dessiner des tailles de piste trop petites, par ex inférieur à 0,5mm comme pour les pattes des ADC. Ces pistes doivent être agrandies dès que possible. En effet, si la piste est trop petite, elle risque d'être partiellement marquée lors de l'impression du PCB à l'ULG. Cette recommandation dépend évidemment du matériel utilisé pour imprimer le PCB.

Chapitre 12 : Conclusion

La participation au projet OUFIT-1 était une expérience très enrichissante tant au point de vue humain que technique.

L'ambiance amicale qui s'est progressivement installée entre les 13 membres de l'équipe a certainement permis d'être plus performant dans l'exécution des tâches respectives. Le groupe a pu se consolider grâce à diverses activités externes comme un barbecue, les Space Days, le workshop à l'ESA, ou encore 2 déplacements à l'Euro Space Center.

Ce magnifique projet technologique et pédagogique, au travers d'un travail de groupe, a permis l'épanouissement de chacun, tant au point de vue moral, social qu'intellectuel.

Le travail sur les mesures a nécessité la collaboration d'une grande partie des membres de l'équipe. Les choix finaux n'ont été validés qu'après avoir été soumis aux sous-systèmes concernés. L'orientation de ce TFE exigeait un contact permanent avec ces sous-systèmes, ce qui a permis de développer un réel intérêt pour le travail d'équipe.

Tout au long de ce projet, différentes nouvelles matières ont été abordées, accessibles grâce aux bases acquises à Gramme, comme par exemple, l'implémentation d'un OS dans un micro-contrôleur. L'étude d'un OS permet de mieux comprendre les mécanismes des systèmes d'exploitation actuels (multitâches temps réel) et les avantages qu'ils apportent dans certaines applications.

La réalisation de l'assemblage et du routage d'un PCB de tests ainsi que l'utilisation du logiciel Altium constituent des expériences particulièrement enrichissantes. En ce qui concerne la phase de soudage du PCB, il n'existe pas meilleur moyen d'apprendre à travailler proprement et correctement. Tous les conseils et recommandations reçus resteront un acquis précieux, exploitable dans tout avenir professionnel.

Concernant les objectifs, ceux-ci ont bien été menés à terme.

-L'objectif principal de développement de l'infrastructure de mesure du nanosatellite OUFIT-1 a été réalisé.

En effet :

Les choix des mesures et leurs composants ont été déterminés suivant les spécificités demandées.

Plusieurs ADC (Analog to Digital Converter) sont chargés d'analyser les signaux envoyés par les composants de mesures. Ces ADC sont tous connectés à l'ordinateur de bord (MSP430) via I2C.

Une mémoire externe de 1 Mbit enregistre les mesures et est également contrôlée via I2C par le MSP430.

L'allocation de la mémoire a été spécifiée pour chaque mesure suivant la fréquence d'échantillonnage et le temps pendant lequel on désire les garder.

Les composants de mesures, la mémoire externe et les ADC ont été vérifiés avec succès grâce à la réalisation d'un PCB dédié à leur essai. Ces tests ont nécessité la réalisation d'un code software pour contrôler les différents dispositifs.

Ces divers composants ont été inclus dans les différentes cartes électroniques qui équiperont le satellite.

- L'objectif concernant l'élaboration du design haut niveau du software de l'ordinateur de bord a bien été accompli.

Il présente une manière constructive, sécuritaire et simple de programmer l'OBC en utilisant un OS.

Un PCB a été créé pour tester certains composants électroniques (comme les interrupteurs de cartes) et pouvoir simuler une partie de l'activité du satellite.

Lorsque les différentes cartes électroniques conçues par d'autres membres de l'équipe seront complètement terminées et connectables à l'ordinateur de bord, il restera à réaliser et à tester l'ensemble de la programmation.

D'autres étudiants vont poursuivre la réalisation du projet afin de le finaliser. Il reste à souhaiter une bonne continuation à cette nouvelle équipe, en espérant voir très prochainement ce petit bijou de technologie prendre le départ pour l'espace, en pleine possession de ses capacités de fonctionnement. Ceux qui ont participé à ce projet se sentiront particulièrement fiers...

Les pionniers de l'espace comme Kepler ou Newton seraient ravis de voir le chemin parcouru depuis leurs découvertes.

Bibliographie

CRETIAZ David, *Ordinateur de bord pour mini satellite*, Sion Suisse, 2007, 101 pages.

VETCOUR Nathalie et DELMOT Raoul-Philippe, *Electronique analogique*, Liège, 144 pages.

FABIEN Jordan, *Electrical Power System*, Yverdon Suisse, 2006, 157 pages.

SERVIN Claude, *Réseaux et télécoms*, DUMOD, I.M.E Baume-les-Dames, 2006, 938 pages.

CALPOLY, *CubeSat Design Specication*, San Luis Obispo, 2008.

PUMPKIN, *CubeSat Kit User Manual*, San Francisco, 2005

ESA, *Oufiti-1, « cubesat » belge pour D-STAR*, Liège, 2008.

ULG, *The cubesat developped at the university of Liège*, Belgique, 2008.

SERRET Pascal, *Oufiti-1, le sp*, Les éditions de l'avenir SA, 2008.

CREMMEL Marcel, *Initiation à la programmation sur MSP430*,
http://electronique.marcel.free.fr/MSP430/Documents/Introduction_MSP430.pdf.

BARRY Richard, *The FreeRTOS.org project*, <http://www.freertos.org/>.

ELECTRONIQUE.FR, *Montage de base de l'amplificateur opérationnel*,
<http://www.elektronique.fr/cours/AOP/aop-montages-de-base.php>.

KOKAM, *Superior Lithium Polymer Battery*, <http://www.dmx.com.sg/battery.htm>.

ALTUIM, *Learning guides*, http://www.altium.com/community/learning-guides/en/learning-guides_home.cfm#.

WIKIPEDIA, *I2C*, <http://fr.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>.

68HC08, *Réaliser ses PCB*, <http://www.68hc08.net/modules/smartsection/category.php?categoryid=12>.

AUVRAY J. , *Routines de gestion du port I2C*, http://pagesperso-orange.fr/avrj.cours/Cours/EXP5_I2C.pdf

TENEY Damien, *Design and implementation of on board processor and software of nanosatellite OUFTI-1 of University of Liège*, ULg, 2009.

HARDY Johan, *Implémentation du protocole AX.25 à bord du nanosatellite OUFTI-1*, Institut Gramme, 2009.

JACQUES Lionel, *Thermal Design of the OUFTI-1 nanosatellite*, ULg, 2009.

BEUKELAERS Vincent, *From mission analysis to space flight simulation of the OUFTI-1 nano-satellite*, ULg, 2009.

PIERLOT Gauthier, *Oufti-1 : structural integrity, system conguration and vibration testing*, ULg, 2009.

LEDENT Philippe, *Design and Implementation of On-board Digitaly Controled Electrical Power Supply of Student Nanosatellite OUFTI-1 of University of Liege*, ULg, 2009.

THIRION Pierre, *Design and Implementation of On-board Electrical Power Supply of Student Nanosatellite OUFTI-1 of University of Liege*, ULg, 2009.

HANNAY Samuel, *Modeling of the Attitude Determination and Control System of the nanosatellite OUFTI-1*, ULg, 2009.

WERZ Jérôme, *Conception et réalisation du système de déploiement des antennes du nanosatellite OUFTI-1*, Institut Gramme, 2009.

CHIARELLO Laurent, *Design and implementation of the control and monitoring system for the ground station of nanosatellite OUFTI-1 of University of Liège*, ULg, 2009.

HENRARD Renaud, *Réalisation du système de télécommunication du satellite OUFTI-1*, ISIL, 2009.

MAHY François, *Design and Implementation of On-board Telecommunication System of Student Nanosatellite OUFTI-1 of University of Liège*, ULg, 2009.

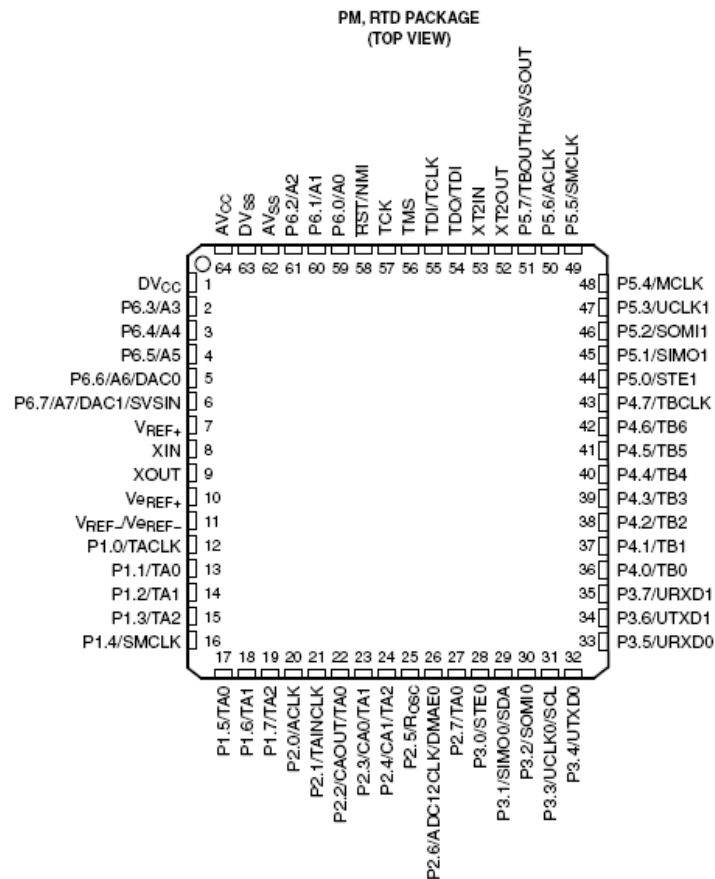
Annexes

Annexe 1

Caractéristique du MSP430F1611 :

Low Supply-Voltage Range, 1.8 V . . . 3.6 V

- Ultralow-Power Consumption:
- Active Mode: 330 μ A at 1 MHz, 2.2 V
- Standby Mode: 1.1 μ A
- Off Mode (RAM Retention): 0.2 μ A
- Five Power-Saving Modes
- Wake-Up From Standby Mode in less than 6 μ s
- 16-Bit RISC Architecture, 125-ns Instruction Cycle Time
- Three-Channel Internal DMA
- 12-Bit A/D Converter With Internal Reference, Sample-and-Hold and Autoscan Feature
- Dual 12-Bit D/A Converters With Synchronization
- 16-Bit Timer_A With Three Capture/Compare Registers
- 16-Bit Timer_B With Three or Seven Capture/Compare-With-Shadow Registers
- On-Chip Comparator
- Serial Communication Interface (USART0), Functions as Asynchronous UART or Synchronous SPI or I2CTM Interface
- Serial Communication Interface (USART1), Functions as Asynchronous UART or Synchronous SPI Interface
- Supply Voltage Supervisor/Monitor With Programmable Level Detection
- Brownout Detector
- Bootstrap Loader



Description des PINS du MSP430F1611 :

TERMINAL NAME	NO.	I/O	DESCRIPTION
AV _{CC}	64		Analog supply voltage, positive terminal. Supplies only the analog portion of ADC12 and DAC12.
AV _{SS}	62		Analog supply voltage, negative terminal. Supplies only the analog portion of ADC12 and DAC12.
DV _{CC}	1		Digital supply voltage, positive terminal. Supplies all digital parts.
DV _{SS}	63		Digital supply voltage, negative terminal. Supplies all digital parts.
P1.0/TACLK	12	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_A, clock signal TACLK input
P1.1/TA0	13	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_A, capture: CC0A input, compare: Out0 output/BSL transmit
P1.2/TA1	14	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_A, capture: CC1A input, compare: Out1 output
P1.3/TA2	15	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_A, capture: CC2A input, compare: Out2 output
P1.4/SMCLK	16	I/O	General-purpose digital I/O pin/SMCLK signal output
P1.5/TA0	17	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_A, compare: Out0 output
P1.6/TA1	18	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_A, compare: Out1 output
P1.7/TA2	19	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_A, compare: Out2 output
P2.0/ACLK	20	I/O	General-purpose digital I/O pin/ACLK output
P2.1/TAINCLK	21	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_A, clock signal at INCLK
P2.2/CAOUT/TA0	22	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_A, capture: CC0B input/Comparator_A output/BSL receive
P2.3/CA0/TA1	23	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_A, compare: Out1 output/Comparator_A input
P2.4/CA1/TA2	24	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_A, compare: Out2 output/Comparator_A input
P2.5/Rosc	25	I/O	General-purpose digital I/O pin/input for external resistor defining the DCO nominal frequency
P2.6/ADC12CLK/ DMAE0	26	I/O	General-purpose digital I/O pin/conversion clock – 12-bit ADC/DMA channel 0 external trigger
P2.7/TA0	27	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_A, compare: Out0 output
P3.0/STE0	28	I/O	General-purpose digital I/O pin/slave transmit enable – USART0/SPI mode
P3.1/SIMO0/SDA	29	I/O	General-purpose digital I/O pin/slave in/master out of USART0/SPI mode, I ² C data – USART0/I ² C mode
P3.2/SOMI0	30	I/O	General-purpose digital I/O pin/slave out/master in of USART0/SPI mode
P3.3/UCLK0/SCL	31	I/O	General-purpose digital I/O pin/external clock input – USART0/UART or SPI mode, clock output – USART0/SPI mode, I ² C clock – USART0/I ² C mode
P3.4/UTXD0	32	I/O	General-purpose digital I/O pin/transmit data out – USART0/UART mode
P3.5/URXD0	33	I/O	General-purpose digital I/O pin/receive data in – USART0/UART mode
P3.6/UTXD1†	34	I/O	General-purpose digital I/O pin/transmit data out – USART1/UART mode
P3.7/URXD1†	35	I/O	General-purpose digital I/O pin/receive data in – USART1/UART mode
P4.0/TB0	36	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_B, capture: CC0A/B input, compare: Out0 output
P4.1/TB1	37	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_B, capture: CC1A/B input, compare: Out1 output
P4.2/TB2	38	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_B, capture: CC2A/B input, compare: Out2 output
P4.3/TB3†	39	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_B, capture: CC3A/B input, compare: Out3 output
P4.4/TB4†	40	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_B, capture: CC4A/B input, compare: Out4 output
P4.5/TB5†	41	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_B, capture: CC5A/B input, compare: Out5 output
P4.6/TB6†	42	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_B, capture: CC6A input, compare: Out6 output
P4.7/TBCLK	43	I/O	General-purpose digital I/O pin/Timer_B, clock signal TBCLK input
P5.0/STE1†	44	I/O	General-purpose digital I/O pin/slave transmit enable – USART1/SPI mode
P5.1/SIMO1†	45	I/O	General-purpose digital I/O pin/slave in/master out of USART1/SPI mode
P5.2/SOMI1†	46	I/O	General-purpose digital I/O pin/slave out/master in of USART1/SPI mode
P5.3/UCLK1†	47	I/O	General-purpose digital I/O pin/external clock input – USART1/UART or SPI mode, clock output – USART1/SPI mode

TERMINAL NAME	NO.	I/O	DESCRIPTION
P5.4/MCLK	48	I/O	General-purpose digital I/O pin/main system clock MCLK output
P5.5/SMCLK	49	I/O	General-purpose digital I/O pin/submain system clock SMCLK output
P5.6/ACLK	50	I/O	General-purpose digital I/O pin/auxiliary clock ACLK output
P5.7/TBOUTH/ SVSOUT	51	I/O	General-purpose digital I/O pin/switch all PWM digital output ports to high impedance – Timer_B TB0 to TB6/SVS comparator output
P6.0/A0	59	I/O	General-purpose digital I/O pin/analog input a0 – 12-bit ADC
P6.1/A1	60	I/O	General-purpose digital I/O pin/analog input a1 – 12-bit ADC
P6.2/A2	61	I/O	General-purpose digital I/O pin/analog input a2 – 12-bit ADC
P6.3/A3	2	I/O	General-purpose digital I/O pin/analog input a3 – 12-bit ADC
P6.4/A4	3	I/O	General-purpose digital I/O pin/analog input a4 – 12-bit ADC
P6.5/A5	4	I/O	General-purpose digital I/O pin/analog input a5 – 12-bit ADC
P6.6/A6/DAC0	5	I/O	General-purpose digital I/O pin/analog input a6 – 12-bit ADC/DAC12.0 output
P6.7/A7/DAC1/ SVSIN	6	I/O	General-purpose digital I/O pin/analog input a7 – 12-bit ADC/DAC12.1 output/SVS input
RST/NMI	58	I	Reset input, nonmaskable interrupt input port, or bootstrap loader start (in Flash devices).
TCK	57	I	Test clock. TCK is the clock input port for device programming test and bootstrap loader start
TDI/TCLK	55	I	Test data input or test clock input. The device protection fuse is connected to TDI/TCLK.
TDO/TDI	54	I/O	Test data output port. TDO/TDI data output or programming data input terminal
TMS	56	I	Test mode select. TMS is used as an input port for device programming and test.
V _{REF+}	10	I	Input for an external reference voltage
V _{REF+}	7	O	Output of positive terminal of the reference voltage in the ADC12
V _{REF-} /V _{REF-}	11	I	Negative terminal for the reference voltage for both sources, the internal reference voltage, or an external applied reference voltage
XIN	8	I	Input port for crystal oscillator XT1. Standard or watch crystals can be connected.
XOUT	9	O	Output terminal of crystal oscillator XT1
XT2IN	53	I	Input port for crystal oscillator XT2. Only standard crystals can be connected.
XT2OUT	52	O	Output terminal of crystal oscillator XT2
QFN Pad	NA	NA	QFN package pad connection to DV _{SS} recommended (RTD package only)

Annexe 2 :

Liste des composants de mesures commandés, la surface qu'ils occupent, certaines références Farnell.

	COMPOSANT	ROLE	QUANTITE	SURFACE (mm ²)	Code Commande	Remarque
EPS	MAX9938HEBS+	Capteurs de courant	6	6,615		Il existe 2 types de boîtier (PIN PACKAGE) : 4 UCSP (le plus petit) ou 5 SOT23. Il faut choisir un des 2. La différence en surface entre les 2 est fort importante !
	OU MAX9938HEUK+	"	"	54		
	LM94022	Capteurs de température	9	rien		
	Connecteurs	Connecteurs(3*2,5*2,5mm)	9	168,75		on peut imaginer mettre Vdd et GND sur une seule broche (comme Renaud) pour prendre moins de place, on aurait donc la surface = 68,75 mm ²
	ADS7830	ADC	1	33,66		
	Condensateur 0,1μF(0402)	Condensateur pour PIN REF ADS7830	1	0,5775	Farnell : 9402047	.0402
	MAX1039AEEE	ADC	1	30,876		
	Résistance 4,7 Kohm(± 2%) WCR 0805 4K7 G	Résistances pull up (I2C) sur SCL et SDA	2	5,94	Farnell : 1099805	.0805
	Résistance 0,03ohm(± 0,5%) LVK12R03	R sense MAX9938 pour courant cellule solaire(max700mA)	5	30,6	Farnell : 1462294	1206
	Résistance 0,016ohm(± 1%) TLR2BDTD16L0F75	R sense MAX9938 courant total cellules solaires(max1,4A)	1	6,12	Farnell : 1400822	1206
	Résistance 6.8Kohm(± 0.05%) ERA6ARW682P	Pont diviseur Bus 3.3V (R1)	1	2,97	Farnell : 1688502	.0805
	Résistance 10Kohm(± 0.05%) ERA6ARW103P	Pont diviseur Bus 3.3V (R2)	1	2,97	Farnell : 1688504	.0805
	Résistance 10Kohm(± 0.05%) ERA6ARW103P	Pont diviseur Tension Bat (R1)	1	2,97	Farnell : 1688504	.0805

	Résistance 10Kohm(± 0.05%) ERA6ARW103P	Pont diviseur Tension Bat (R2)	1	2,97	Farnell : 1688504	.0805
	Résistance 27Kohm(± 0.05%) ERA6ARW273P	Pont diviseur Bus 7.2 (R1)	1	2,97	Farnell : 1688511	.0805
	Résistance 10Kohm(± 0.05%) ERA6ARW103P	Pont diviseur Bus 7.2 (R2)	1	2,97	Farnell : 1688504	.0805
	Résistance 15Kohm(± 0.05%) ERA6ARW153P	Pont diviseur Bus 5V (R1)	1	2,97	Farnell : 1688506	.0805
	Résistance 10Kohm(± 0.05%) ERA6ARW103P	Pont diviseur Bus 5V (R2)	1	2,97	Farnell : 1688504	.0805
	Ref192GSZ	Référence 2.5 V	1	31		
			Total (mm²)max :	384,706		
			x1,6	615,5296		
	COMPOSANT	ROLE	QUANT ITE	SURFACE (mm²)	Code Command e	Remarque
COM	ADS7830	ADC	1	33,66		
	Condensateur 0,1µF(0402)	Condensateur pour PIN REF ADS7830	1	0,5775	Farnell : 9402047	.0402
	MAX9938HEBS+	Capteurs de courant	3	3,3075		choisir entre les 2 boitiers
	OU MAX9938HEUK+	"	"	27		choisir entre les 2 boitiers

	LM94022	Capteurs de température	2	rien		
	LTC5507	Coupleur pour mesure TOS	2	16,24		à tester et à valider
	CPA-0501-510H	Power detector (mesure TOS)	1	50		à tester et à valider
	Résistance 0,12ohm(± 1%) SR732ATTDR120F	R sense MAX9938 pour courant BCN (7,2V)(max200mA)	1	2,97	Farnell : 1399685	.0805
	Résistance 0,05ohm(± 0.5%) LVK12R050	R sense MAX9938 pour courant COM (7,2V)(max400mA)	1	6,12	Farnell : 1462296	1206
	Connecteurs	Connecteurs	6 broches	37,5		ici, Renaud préfère avoir une seule broche pour Vdd et GND(contrairement à Pierre)
	Résistance 0,25ohm(± 1%) LRC-LR1206LF-01-R250-F	R sense MAX9938 pour courant COM 3.3V (max 100mA)	1	6,12	Farnell : 1692443	
			Total (mm²)max :	180,1875		
			x1,6	288,3		
	COMPOSANT	ROLE	QUANT ITE	SURFACE (mm²)	Code Command e	Remarque
EPS2	ADS7830	ADC	1	33,66		
	Condensateur 0,1µF(0402)	Condensateur pour PIN REF ADS7830	1	0,5775	Farnell : 9402047	.0402
	MAX9938HEBS+	Capteurs de courant	2	2,205		
	OU MAX9938HEUK+	"	"	18		choisir entre les 2 boitiers
	connecteurs	connecteurs	6 broches	37,5		choisir entre les 2 boitiers

	Résistance 15Kohm(± 0.05%) ERA6ARW153P	Pont diviseur convertisseur et circuit digit (max 5V les 2) (R1)	2	5,94	Farnell : 1688506	.0805
	Résistance 10Kohm(± 0.05%) ERA6ARW103P	Pont diviseur convertisseur et circuit digit (max 5V les 2) (R2)	2	5,94	Farnell : 1688504	.0805
	Résistance 0,16ohm(± 1%) SR732BTTDR160F	R sense MAX9938 pour courant circuit digit EPS2 (max 150mA)	1	6,12	Farnell : 1399744	1206
	Résistance 0,16ohm(± 1%) SR732BTTDR160F	R sense MAX9938 pour courant convertisseur EPS2 (max 150mA)	1	6,12	Farnell : 1399744	1206
	LM94022	Capteurs de température	2	rien		
			Total (mm²)max :	113,8575		
			x1,6	182,172		
	COMPOSANT	ROLE	QUANT ITE	SURFACE (mm²)	Code Command e	Remarque
BCN	MAX9938HEBS+	Capteurs de courant	1	1,1025		choisir entre les 2 boitiers
	OU MAX9938HEUK+	"	"	9		choisir entre les 2 boitiers
	Résistance 0,5ohm(± 1%) LR1206-R50FI	R sense MAX9938 pour courant BEACON (max 50mA)	1	6,12	Farnell : 1100339	1206
			Total (mm²)max :	15,12		
			x1,6	24,192		

Annexe 3 :

Ce tableau montre, sur une période d'un an, le nombre de passages journaliers du satellite au-dessus de Liège ainsi que la durée possible de communication.

Day	Mean/ d[min]	nbr/ day	% in light	Day	Mean/ d[min]	nbr/ day	% in light	Day	Mean/ d[min]	nbr /da	% in light	Day	Mean/d [min]	nb r/d	% in light	Day	Mean /d[mi]	nbr /da	% in light
1	17.67	5	60	62	10.92	3	33	123	10.29	2	50	184	17.09	5	100	245	17.14	5	100
2	17.56	5	60	63	10.71	3	33	124	10.34	2	50	185	17.33	5	100	246	17.16	5	100
3	17.34	5	60	64	10.35	2	50	125	10.74	3	67	186	17.47	5	100	247	17.07	5	100
4	17.08	4	50	65	10.15	2	50	126	12.70	2	50	187	17.50	5	100	248	16.87	4	100
5	17.28	4	75	66	9.79	2	50	127	10.97	3	100	188	17.71	4	100	249	16.75	5	100
6	17.15	5	80	67	11.80	2	0	128	10.57	2	100	189	16.88	5	100	250	16.40	4	100
7	17.14	5	60	68	10.17	3	33	129	10.87	2	100	190	17.49	5	100	251	17.60	3	100
8	17.01	5	60	69	10.06	3	33	130	11.03	2	100	191	17.74	5	100	252	16.53	5	100
9	16.79	5	60	70	9.82	2	50	131	11.50	3	100	192	17.88	5	100	253	16.46	5	100
10	16.45	4	50	71	9.73	2	50	132	11.69	3	100	193	17.93	5	100	254	16.29	5	100
11	17.60	3	67	72	9.49	2	50	133	11.67	3	100	194	17.86	5	100	255	16.07	4	100
12	17.36	3	67	73	9.08	2	50	134	11.91	3	100	195	18.25	4	100	256	15.81	4	100
13	16.37	5	80	74	10.70	2	0	135	11.48	2	100	196	17.56	5	100	257	17.03	3	100
14	16.26	5	80	75	9.44	3	33	136	11.73	2	100	197	18.03	5	100	258	16.76	3	100
15	16.04	5	100	76	9.32	2	50	137	12.26	3	100	198	18.18	5	100	259	15.74	5	100
16	15.82	4	100	77	9.35	2	50	138	12.53	3	100	199	18.23	5	100	260	15.60	5	100
17	15.50	4	100	78	9.23	2	50	139	12.67	3	100	200	18.18	5	100	261	15.35	4	100
18	16.78	3	100	79	8.95	2	50	140	12.69	3	100	201	18.58	4	100	262	15.13	4	100
19	16.49	4	100	80	10.06	1	0	141	12.86	3	100	202	17.92	5	100	263	16.37	3	100
20	15.54	5	100	81	8.85	3	0	142	12.44	2	100	203	17.98	6	100	264	16.12	3	100
21	15.35	5	100	82	8.87	2	0	143	13.02	3	100	204	18.35	5	100	265	15.87	4	100
22	15.11	4	100	83	9.03	2	0	144	13.35	3	100	205	18.41	5	100	266	15.71	4	100
23	14.83	4	100	84	9.03	2	0	145	13.57	3	100	206	18.36	5	100	267	14.55	4	100
24	16.11	3	100	85	8.88	2	0	146	12.36	4	100	207	18.79	4	100	268	14.39	4	100
25	15.82	3	100	86	8.56	2	0	147	13.69	3	100	208	18.15	5	100	269	15.62	3	100
26	15.66	4	100	87	8.15	2	0	148	13.78	3	100	209	18.29	5	100	270	15.40	3	100
27	14.58	5	100	88	8.46	2	0	149	13.76	3	100	210	18.23	6	100	271	15.08	3	100
28	14.32	4	100	89	8.75	2	0	150	14.14	3	100	211	18.45	5	100	272	14.95	4	100
29	14.10	4	100	90	8.88	2	50	151	14.41	3	100	212	18.41	5	100	273	14.85	3	100
30	15.37	3	100	91	8.85	2	50	152	13.15	4	100	213	18.27	5	100	274	13.58	4	100
31	15.10	3	100	92	8.67	2	50	153	13.37	4	100	214	18.26	5	100	275	13.35	4	100
32	14.74	3	100	93	8.32	2	50	154	14.74	4	100	215	18.40	5	100	276	14.62	3	100
33	14.69	4	100	94	8.06	2	50	155	14.96	4	100	216	18.25	6	100	277	14.34	3	100
34	13.48	4	100	95	8.52	2	50	156	15.14	3	100	217	18.24	6	100	278	13.95	3	100
35	13.32	4	100	96	8.78	2	50	157	15.42	3	100	218	18.33	5	100	279	14.00	3	100
36	14.55	3	100	97	8.88	2	50	158	15.59	3	100	219	18.20	5	100	280	12.76	4	100
37	14.33	3	100	98	8.83	2	50	159	14.29	4	100	220	18.82	4	100	281	12.58	4	100
38	14.01	3	100	99	8.62	2	50	160	14.66	5	100	221	18.39	5	100	282	13.78	3	100
39	13.86	4	100	100	8.36	3	33	161	15.78	4	100	222	18.43	5	100	283	13.52	3	100
40	13.80	3	100	101	9.17	1	0	162	14.92	3	100	223	18.13	6	100	284	13.14	3	100
41	12.53	4	100	102	8.74	2	50	163	16.15	3	100	224	18.03	6	100	285	12.44	2	100
42	13.69	3	100	103	8.96	2	50	164	16.36	3	100	225	17.99	5	100	286	12.89	3	100
43	13.50	3	67	104	9.04	2	50	165	15.05	4	100	226	18.64	4	100	287	13.00	3	100
44	13.20	3	67	105	8.95	2	50	166	15.41	5	100	227	18.24	5	100	288	12.93	3	100
45	12.77	3	33	106	8.83	3	33	167	15.62	5	100	228	18.29	5	100	289	12.74	3	100
46	12.78	3	33	107	9.66	2	0	168	16.61	4	100	229	18.24	5	100	290	12.42	3	100
47	12.64	3	33	108	8.74	2	50	169	16.79	3	100	230	17.79	6	100	291	11.79	2	100
48	12.80	3	33	109	9.10	2	50	170	16.99	3	100	231	17.67	5	100	292	12.06	3	100
49	12.69	3	33	110	9.30	2	50	171	15.67	4	100	232	18.03	5	100	293	14.21	2	100
50	12.44	3	33	111	9.34	2	50	172	15.99	5	100	233	18.15	5	100	294	12.05	3	100
51	12.08	3	33	112	9.35	3	33	173	16.20	5	100	234	18.18	5	100	295	11.94	3	67
52	11.51	2	50	113	9.43	3	33	174	16.29	5	100	235	18.10	5	100	296	11.70	3	67
53	11.85	3	33	114	10.96	1	0	175	16.34	4	100	236	17.92	5	100	297	11.14	2	50
54	13.98	2	0	115	9.29	2	50	176	17.59	3	100	237	17.29	5	100	298	10.89	2	50
55	11.85	3	33	116	9.61	2	50	177	16.30	4	100	238	17.05	5	100	299	11.15	3	33
56	11.68	3	33	117	9.77	2	50	178	16.59	5	100	239	17.77	5	100	300	13.10	2	0
57	11.39	3	33	118	9.92	3	33	179	16.82	5	100	240	17.79	5	100	301	11.13	3	67
58	10.92	2	50	119	10.10	3	33	180	16.93	5	100	241	17.70	5	100	302	10.98	3	67
59	10.61	2	50	120	11.71	2	0	181	16.94	5	100	242	17.51	5	100	303	10.52	2	50
60	12.91	2	0	121	9.75	2	50	182	17.15	4	100	243	17.22	5	100	304	10.37	2	50
61	10.99	3	33	122	10.09	2	50	183	16.83	4	100	244	16.91	4	100	305	10.07	2	50

Annexe 4 :

Liste des composants commandés, utilisés pour les PCB de mesure.

Commande Farnell pour le projet OUFTI-1 (EVRARD Nicolas)

catégorie	référence	quantité	Prix unitaire HT(euro)	TOTAL (HT)
Capteurs de T°	1312600	8	0,95 €	7,60 €
Résistance	747579	5	0,29 €	1,45 €
Résistance	9340149	50	0,05 €	2,70 €
LED	7605511	4	0,171	0,68 €
Capacité	4721226	8	0,115	0,92 €
Capacité	499717	10	0,7	7,00 €
Commutateur	9724591	4	2,83	11,32 €
Capacité	1288286	10	0,38	3,80 €
ADC	1180129	3	2,94	8,82 €
ADC	1379845	2	6,01	12,02 €
Eeprom	1296568	3	6,65	19,95 €
Référence	9605207	2	3,11	6,22 €
Résistance	1099834	50	0,052	2,60 €
Résistance	9464360	50	0,038	1,90 €
Résistance	9465081	50	0,038	1,90 €
Résistance	9467629	50	0,038	1,90 €
Résistance	9343440	10	0,058	0,58 €
Résistance	9341994	50	0,031	1,55 €
Résistance	9337954	10	0,089	0,89 €
Résistance	9342419	10	0,058	0,58 €
Résistance	1265078	5	0,26	1,30 €
Résistance	9342630	10	0,03	0,30 €
Résistance	9342796	10	0,058	0,58 €
Résistance	9498389	10	0,32	3,20 €
Résistance	9343318	10	0,03	0,30 €
Résistance	9342788	10	0,058	0,58 €
Résistance	9342990	10	0,03	0,30 €
Résistance	9469745	50	0,039	1,95 €
Résistance	1292537	5	0,3	1,50 €
			Total	104,39 €

Annexe 5 :

Schéma électrique du petit PCB :

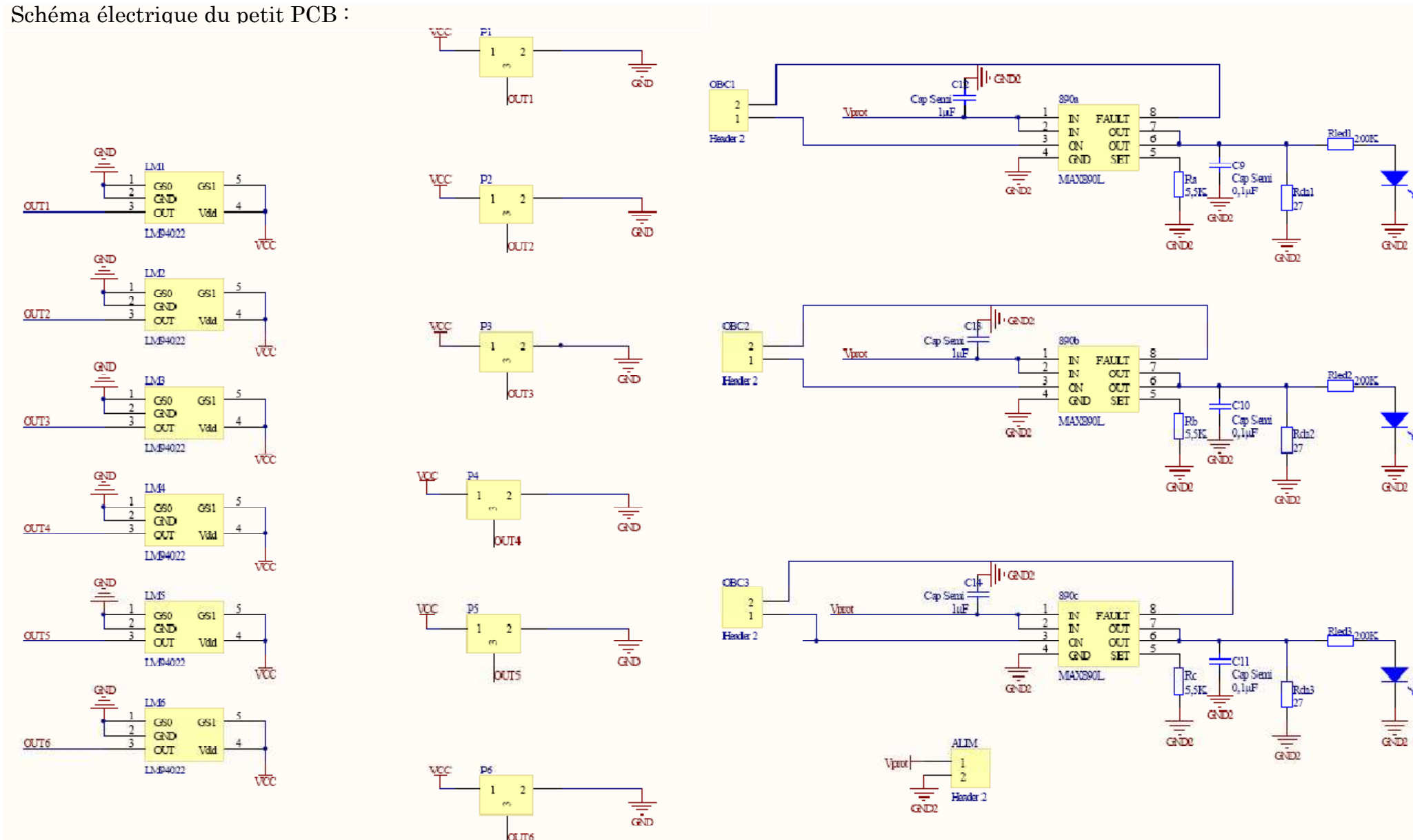
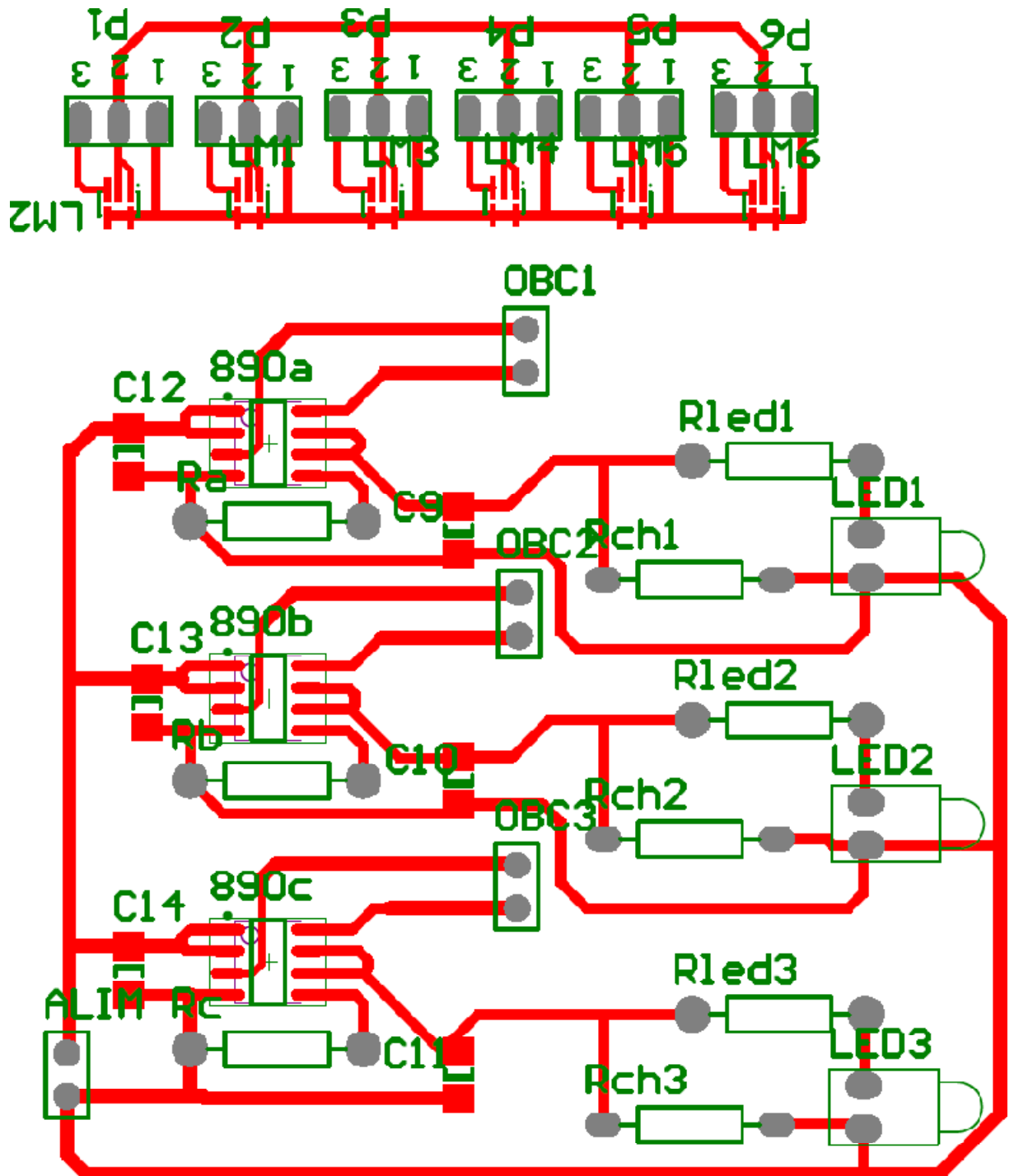


Schéma de routage du petit PCB :



Annexe 6 :

Schéma de routage du grand PCB

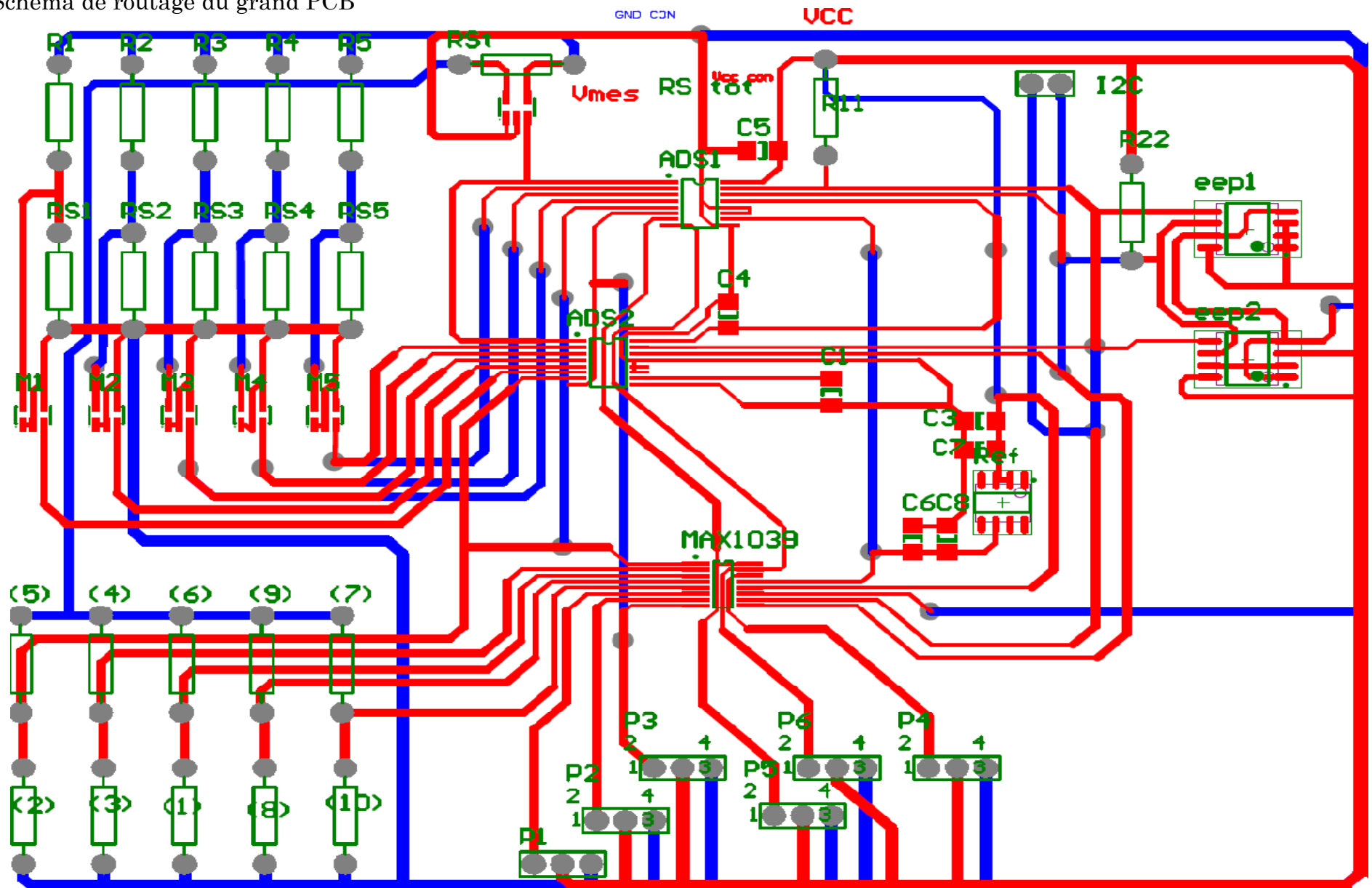


Table des matières

Chapitre 1 : Introduction	3
Chapitre 2 : Cahier des charges.....	7
Chapitre 3 : Les sous-systèmes du satellite.....	9
3.1. ADCS (ATTITUDE DETERMINATION AND CONTROL)	9
3.2. BCN (BEACON)	9
3.3. COM (TELECOMMUNICATIONS).....	9
3.4. EPS (ELECTRICAL POWER SYSTEM)	10
3.5. EPS expérimental.....	10
3.6. OBC (On Board Computer)	10
3.7. MECH (MECHANISMS)	11
3.8. MIAS (MISSION ANALYSIS).....	11
3.9. GND (Ground).....	11
3.10. STRU (STRUCTURE)	11
3.11. THER (Thermal).....	11
3.12. Vue d'ensemble :	12
Chapitre 4 : Prérequis, gestion de l'OS	13
4.1. Définition d'un OS	13
4.2. Pourquoi utiliser un OS.....	13
4.3. La tâche	14
4.4. Le multi-tâches	15
4.5. Tâche particulière : The Idle Task.....	15
4.6. Outils de communication entre les tâches.....	16
4.6.1. Mutex	16
4.6.2. Sémaphore	16
Chapitre 5 : Architecture générale du software (design haut niveau)	17
5.1. Rôles de l'OBC.....	17
5.2. Modules software (tâches) de l'OBC.....	18
5.3. Schéma global haut niveau (voir schémas page 20 et 21)	19
Chapitre 6 : Etude de la mise à jour partielle ou totale du satellite	22

6.1. Description de la mémoire du contrôleur MSP430F1612.....	22
6.2. Constatations.....	23
6.3. Solution de mise à jour.....	23
6.4. Test de la mémoire.....	24
<u>Chapitre 7 : Mesures et composants</u>	25
7.1. Choix des mesures à effectuer	25
7.2. Tableau récapitulatif des mesures	25
7.3. Types de mesures et choix des composants	28
7.3.1. Mesure de tension, les ponts diviseurs	29
7.3.2. Mesure de courant	31
7.3.3. Mesure de températures	33
<u>Chapitre 8 : Mesures : allocation mémoire</u>	35
8.1. Prérequis	35
8.2. Choix.....	36
8.2.1. Justifications	36
8.3. Allocation mémoire statique.....	37
8.4. Mémoire dynamique.....	40
8.5. L'EEPROM choisie	40
8.5.1. Fonctionnement	40
8.6. Proposition d'encodage du bloc TC des télécommandes AX-25 en rapport aux mesures : ..	41
8.6.1. Télécommande pour le rapatriement des mesures.....	41
8.6.1.1. Principe :.....	41
8.6.1.2.Format	41
8.6.2. Télécommande pour l'envoi d'ordres de mesures dynamiques.....	42
8.6.2.1. Principe.....	42
8.6.2.2. Format :	42
8.7. Réflexions sur l'allocation mémoire, les questions posées.....	43
<u>9. Réalisation d'une chaufferette pour la partie thermique.....</u>	45
9.1. Constatation	46
9.2. Montage à hystérésis	46
9.3. Remarques :.....	48
<u>Chapitre 10 : Configuration des ADC</u>	49
10.1. L'ADS7830.....	50
10.1.1. Caractéristiques :.....	50

10.2. Communication avec l'ADS7830 :	50
10.2.1. Il y a 2 types de transferts de données	51
10.2.2. Remarque	52
10.2.3. Byte d'adresse :	52
10.2.4. Byte de commande :	52
10.3. Le MAX1039.....	53
10.3.1. Caractéristiques :	53
10.3.2. Le REF192 :	54
10.3.2.1. Caractéristiques.....	54
10.4. Communication avec le MAX1039	55
10.4.1. Byte d'adresse	55
10.4.2. Byte de commande.....	55
10.4.2.1. Setup Byte	55
10.4.2.2. Configuration Byte.....	56
<u>Chapitre 11 : PCB de tests.....</u>	58
11.1. Petit PCB	59
11.2. Le max890	60
11.2.1. Schéma électrique	60
11.2.2. Caractéristiques.....	60
11.2.3. Dimensionnement de la résistance Rb.....	60
11.2.4. Calcul du montage led :	61
11.2.5. Les capteurs de température	61
11.3. Grand PCB :	62
11.3.1. Schéma électrique du grand PCB :	63
11.3.2. Explication des choix dans le schéma électrique du grand PCB.....	64
11.4. Tests des PCB.....	65
11.5. Problèmes rencontrés	65
11.6. Quelques conseils donnés pour la réalisation d'un PCB	65
<u>Chapitre 12 : Conclusion.....</u>	66
<u>Bibliographie.....</u>	69
<u>Annexes.....</u>	71
Annexe 1	71
Annexe 2 :	74
Annexe 3 :	78

Annexe 4 : 79

Annexe 5 : 80

Annexe 6 : 80