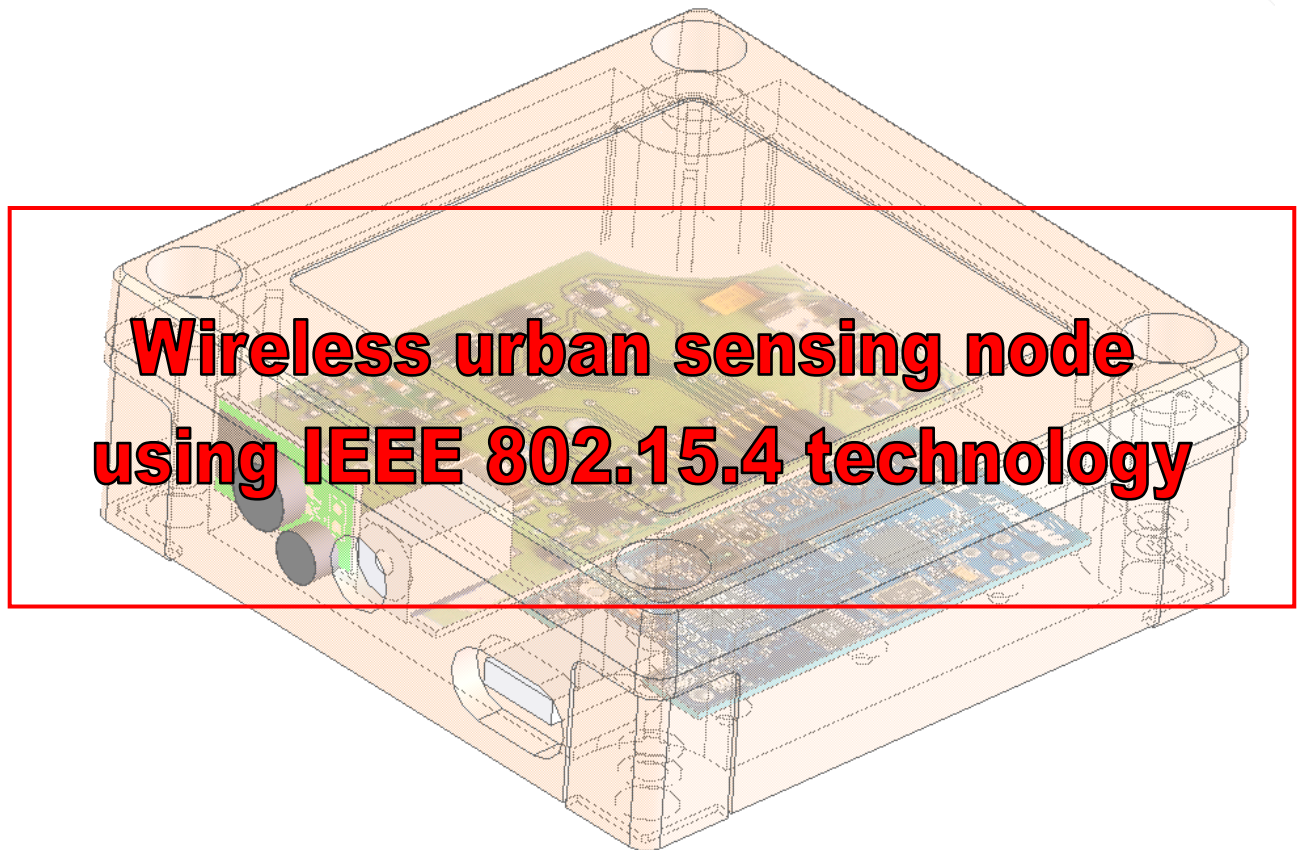


Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere



Etudiant : Laurent FABRE

Superviseur : Henri DUBOIS-FERRIERE

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

1. INTRODUCTION	3
1.1. POURQUOI MESURER LE TAUX D'OZONE ?	3
2. INTRODUCTION AU STANDARD IEEE 802.15.4.....	4
2.1. VUE D'ENSEMBLE DU STANDARD IEEE 802.15.1 (BLUETOOTH®)	4
2.2. GÉNÉRALITÉS.....	4
2.3. PICONETS ET SCATTERNETS	5
2.4. SCHÉMA TRANSMISSION BLUETOOTH®	5
2.5. VUE D'ENSEMBLE SUR LE STANDARD IEEE 802.15.4 (ZIGBEE®)	6
2.6. GÉNÉRALITÉ.....	6
2.7. SCHÉMA TRANSMISSION ZIGBEE®	6
2.8. COMPARAISON ENTRE BLUETOOTH® ET ZIGBEE®	7
2.9. EXEMPLE DE DURÉE DE VIE D'UNE BATTERIE POUR LES 2 STANDARDS	7
2.10. PERFORMANCES DES RADIOS BLUETOOTH® ET ZIGBEE®	8
3. PRESENTATION DE LA CARTE TMOTESKY	9
3.1. PRESENTATION GENERALE	9
3.2. AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE	10
4. CARTES "URBAN SENSING NODE".....	12
4.1. ARCHITECTURE GENERALE	13
4.2. INTERFACE « URBAN SENSING NODE » ET « TMOTE SKY »	14
5. CAPTEURS.....	17
5.1. MICROPHONE [5.1]	17
5.2. CAPTEUR D'OZONE [5.2].....	17
6. BOITIER [6.1].....	18
7. DESCRIPTIONS DES BLOCKS ELECTRONIQUES	19
7.1. CHARGEUR D'ACCUMULATEUR LI-ION.....	19
7.2. PREAMPLIFICATEUR AUDIO POUR MICROPHONE A COMPRESSION VARIABLE.....	21
7.2.2. Réglage du niveau de compression (Compression Ratio).....	21
7.2.3. Réglage du niveau du signal minimum amplifier (Noise Gate Threshold).....	22
7.2.4. Filtre passe-bas et sortie faible impédance.....	23
7.3. DRIVER ET MESURE DU CAPTEUR D'OZONE	27
7.4. ALIMENTATION STABILISÉE [7.5] [7.6]	29
7.3. MONITEUR DE COURANT DE CHARGE.....	30
8. TRAITEMENT DES DONNÉES ÉMISE LE MODULE WIRELESS.....	32
8. VALIDATION DU CIRCUIT.....	33
9. REMARQUES ET CONCLUSION.....	34
10. BIBLIOGRAPHIE.....	35
11. ANNEXES.....	37
11.1. SCHEMA ET PLAN D'IMPLANTATION DE L' « URBAN SENSING NODE »	37
11.2. SCHEMA ET PLAN D'IMPLANTATION DU « SENSOR BOARD »	37
11.3. PLAN DE PERÇAGE DU BOITIER.....	37
11.4. IMAGES ET COTATIONS HORS TOUT.....	37
11.5. SCHEMA DE CABLAGE ENTRE L' « URBAN SENSING NODE » ET LE « TMOTE SKY ».....	37

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

1. Introduction

L'ensemble du projet pour lequel le « Wireless Urban Sensing Node » a été conçu, vise à mesurer la pollution sonore ainsi que le taux d'ozone en milieu urbain afin de pouvoir traiter ses grandeurs par la suite. Une vingtaine de « Node » devrait donc être installée dans la ville de Lausanne, permettant d'une part de mesurer ces 2 grandeurs à l'aide d'un microphone et d'un capteur d'ozone mais aussi de transmettre ses données en toute sécurité. Pour simplifier au maximum la mise en place d'un tel réseau, il a été décidé d'utiliser des modules Wireless permettant de relayer les grandeurs mesurées jusqu'au réseau internet pour que celles-ci soient ensuite acheminées sur un serveur.

Le projet de semestre qui va être présenté a pour but le design d'un circuit imprimé permettant de réaliser les mesures adéquates ainsi que l'alimentation du circuit à l'aide d'un accumulateur. Le cahier de charge comprend à la fois la réalisation d'un prototype, les fichiers permettant de réaliser une série d'une vingtaine de circuit mais aussi la validation du circuit. Cela dit les détails de la programmation ne seront que peu évoqués pendant la lecture de ce rapport.

Le module Wireless utilisé est un élément qui a été choisi avant le début de ce projet et sera présenté par la suite. Outre une radio, le module comporte aussi un microcontrôleur permettant d'acquérir les grandeurs nécessaires.

Le but de ce projet étant de concevoir un produit fini, il a fallu choisir un boîtier de protection pour dessiner le circuit en fonction de sa taille.

Le chapitre n°2 est dédié à l'introduction du standard IEEE 802.15.4, utilisé par le module Wireless. Le chapitre n°3 est une présentation de la carte TMOTE SKY que nous avons utilisé pour mesurer et transmettre les données. Le chapitre n°4 porte sur l'interface qui a été choisie pour connecter le circuit de mesure au module Wireless. Le chapitre n°5 présente les capteurs qui ont été utilisés pour la mesure de la pollution sonore ainsi que pour le taux d'ozone. Le chapitre n°6 est une discussion sur le boîtier et le positionnement des différents circuits et capteurs à l'intérieur du boîtier. Le chapitre n°7, le plus important, présente en détail les différents blocks électroniques qui ont été conçus ainsi que leur dimensionnement. Le chapitre n°8 est un détour par l'interface qui a été utilisé pour afficher les données reçues. Le chapitre n°9 est basé sur les tests qui ont été effectués pour valider le circuit. Enfin, le chapitre n°10 présente les remarques et conclusions du projet.

1.1. Pourquoi mesurer le taux d'ozone ?

L'ozone fait partie des polluants de types secondaires, c'est-à-dire que contrairement au monoxyde de carbone ou aux oxydes d'azote, l'ozone ne provient pas directement des pots d'échappement ou des cheminées mais de la décomposition chimique de certains polluants primaires sous l'effet des rayonnements solaires (ultra-violet).

« C'est un gaz agressif qui pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il provoque toux, altération pulmonaire ainsi que des irritations oculaires. Ses effets sont très variables selon les individus. » [1.1]

L'Ozone a un effet néfaste sur la végétation (sur le rendement des cultures par exemple) et sur certains matériaux comme le caoutchouc. Il contribue à l'effet de serre et aux pluies acides. L'utilité de mesurer le taux d'ozone permet donc directement d'avoir une idée du produit polluant primaire multiplié par l'ensoleillement. C'est donc un facteur très représentatif de la qualité de l'air.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

2. Introduction au standard IEEE 802.15.4

La transmission sans fils s'effectue grâce à un module du marché. Le module qui a été choisi pour notre application sera détaillé dans le chapitre n°3. Il utilise un standard assez peu connu du grand public, le standard IEEE 802.15.4, plus communément appelé Zigbee®. Il a donc été décidé de s'intéresser à ce standard afin d'avoir une idée de cette technologie, au moment actuel. La recherche effectuée a vite paru plus intéressante dès le moment où à pu le comparer un autre standard beaucoup plus utilisé par le grand public, le standard Bluetooth®. Ce chapitre est donc dévolu à une étude très « haut niveau » des 2 standards cités précédemment, ainsi qu'à leur comparaison.

2.1. Vue d'ensemble du standard IEEE 802.15.1 (Bluetooth®)

Bluetooth® a été initié en 1994, alors qu'un des leaders de la télécommunication (Ericson®) tentait de trouver une alternative à la connexion filaire pour les accessoires de téléphones portables. C'est à partir de 1998 qu'Ericson® fut rejoint par IBM, Nokia, Intel et Toshiba pour former le « *Bluetooth Special Interest Group (SIG)* » qui, pour la première fois, fixa les spécifications de ce standard. Dans le milieu de l'année 1999, le SIG approcha l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) et lui demanda d'adopter formellement les spécifications Bluetooth®. [2.1] [2.2]

Bluetooth® paraît être une excellente solution pour une utilisation qui comporte les caractéristiques suivantes :

- **Distance entre appareils courte (quelques mètres à une centaine de mètres)**
- **Taux de transmission de l'ordre de 1MBps**
- **Consommation relativement faible**
- **1 bande, 2.4GHz**

2.2. Généralités

Il existe actuellement trois classes afin de remplir les cahiers des charges de plus en plus pointus des utilisateurs de Bluetooth®. La classe 3, avec ses 1mW de puissance de transmission couvre la majorité des demandes actuelles et permet de communiquer sur quelques mètres. La classe 2 arbore une puissance de transmission de 2.5 mW et permet de communiquer sur une dizaine de mètres. Finalement, la classe 1 est utilisée pour communiquer à plus de 100 mètres, mais nécessite une puissance de transmission de 100mW (=10dBm). La norme Bluetooth®, dont les premières spécifications furent décrites en 1999, est aujourd'hui à sa version 2.0. Malgré le fait qu'elle soit plus gourmande en puissance instantanée consommée que sa version antérieure, sa vitesse de transmission 3 fois plus élevée permet d'économiser du temps de bande passante et donc de diminuer la consommation globale.

Il est possible de communiquer à l'aide de 79 canaux, définis pseudo aléatoirement entre les fréquences de 2.4GHz et 2.4835GHz. Le nombre de canaux étant néanmoins limité dans certains pays comme le Japon, pour des raisons de sécurité. Celles-ci ont d'ailleurs été considérablement augmentées sur la dernière version (Bluetooth® 2.0) grâce à une solide technologie cryptographique.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

2.3. Piconets et scatternets

Le fonctionnement Bluetooth® est basé sur une architecture maître-esclaves (master-slave). Chaque appareil Bluetooth® configuré comme maître peut communiquer avec 7 esclaves définis comme tels. Une seule connexion est néanmoins active à la fois et les autres, semi actives, attendent leur tour. La configuration en réseau sous la forme 1 maître pour 7 esclaves est dénommée *piconet*. Il est néanmoins possible de communiquer avec au maximum 255 appareils à partir d'un seul et même maître. En effet, les appareils n'appartenant pas au réseau peuvent y être introduits en déconnectant un appareil semi actif. Cette méthode de travail a pourtant le désavantage de posséder un temps de connexion relativement long, ceci afin d'attribuer une adresse au nouvel arrivant.

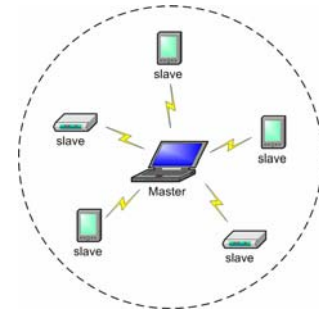


Figure n°2.1 : Réseau en Piconet

Pour pouvoir créer un réseau de plus de 8 partenaires, il est alors nécessaire de créer un *scatternet*. L'idée de base est de créer un groupe de *piconets*. Certains appareils esclaves font alors office de pont entre le master et un autre esclave situé plus bas dans la hiérarchie. Les paquets de données émis par le master sont donc envoyés à un premier esclave, analysés, puis transmis au destinataire final.

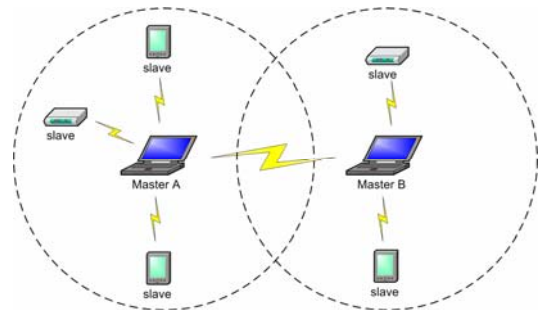


Figure n°2.2 : Réseau en Scatternet

2.4. Schéma transmission Bluetooth®

Le schéma de transmission du protocole Bluetooth® comprend une trame envoyée par le maître (transmit packet) suivi d'une trame envoyée par l'esclave (receive packet). Afin d'augmenter le débit de transmission réception, le protocole permet d'envoyer plusieurs trames à la suite (jusqu'à 5) ce qui permet de passer le débit de 172Kbps (1 paquet) à 721Kbps (5 paquets).

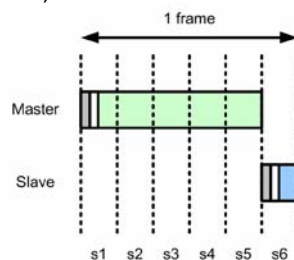


Figure n°2.3 : Trame Bluetooth® composée de 5 paquets (master) et 1 paquet (slave)

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

2.5. Vue d'ensemble sur le standard IEEE 802.15.4 (Zigbee®)

Note_2_1 : *Le chapitre suivant concernant le standard Zigbee® sont largement tiré de [2.3] [2.4] et [2.5].*

L'origine de Zigbee® date de 1998, date à laquelle Motorola a commencé à s'intéresser aux réseaux sans fils de faible puissance. Les spécifications de Zigbee® sont basées sur du « low cost », un faible « duty cycle » et un marché potentiel pas encore servit par d'autres standards. De ce fait, l'idée de base était de promouvoir un nouveau protocole afin d'en faire un standard permettant l'interopérabilité entre divers systèmes des grandes compagnies du semi-conducteur. Le standard IEEE 802.15.4 a été proposé au milieu de l'année 2001 et ratifié en mai 2003. Phillips, Invensys, Honeywell et Mitsubishi ont ensuite rejoint le consensus de Motorola crée afin de formé l'alliance Zigbee® au milieu de l'année 2002 afin de développée et de promouvoir cette technologie prometteuse. Actuellement, une centaine de membres (« promoteurs » + « participants »), très concernés par le monde des semi-conducteurs, sont affiliés à l'alliance Zigbee®.

Zigbee® paraît être une excellente solution pour une utilisation qui comporte les caractéristiques suivantes :

- **Distance entre appareils compris entre 10m et 70m**
- **Taux de transmission compris entre 20Kbps et 250Kbps**
- **Consommation très faible**
- **3 bandes 2.4Ghz, 915 Ghz et 868Ghz**

2.6. Généralité

Outre le type de connexion en étoile, le standard Zigbee® permet une connexion très flexible : le « Mesh network ». Ce dernier a de multiples avantages et permet en premier lieu d'étendre la distance de communication grâce au relais d'information créés par l'ensemble du réseau lui-même. Cela dit, cette topologie de réseau permet d'imaginer des solutions très robustes et capables de se modifier au cours du temps. Un des avantages étant bien sur de minimiser la puissance d'émission de chaque module afin de « minimiser » le chemin de communication. Cette démarche étant actuellement au cœur de nombreux travaux de recherche.

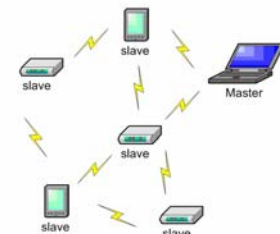


Figure n°2.4 : Réseau en « Mesh network topology »

2.7. Schéma transmission Zigbee®

Zigbee® utilise le même schéma de transmission pour l'envoi que pour la réception. Le paquet de base est appelé PPDU. Il comporte un maximum de 127 bytes dont 2 bytes de contrôle de la trame (FCS). Les 4 premiers bytes du PPDU sont des informations sur les caractéristiques de ce dernier (délimiteurs et longueur de la trame).

Le MPDU comprend lui aussi des informations sur la trame envoyée comme l'adresse de l'émetteur ainsi que celle du récepteur. Finalement, l'information utile (payload) contient au maximum 104 bytes.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

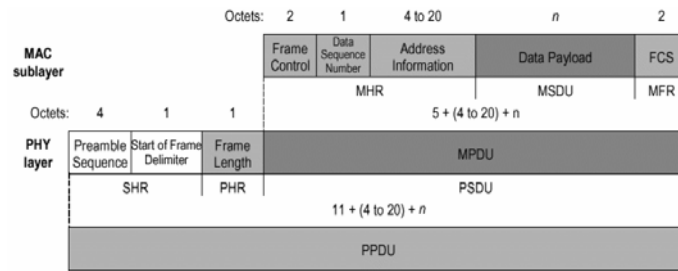


Figure n°2.5 : Trame Zigbee®

2.8. Comparaison entre Bluetooth® et Zigbee®

On va maintenant s'intéresser à la comparaison des 2 standards présentés ci-dessus. Le tableau de la figure°7 nous montre tout d'abord que la vitesse de transmission Zigbee® est inférieure à celle du Bluetooth®. Cela dit, ces valeurs ne représentent pas le débit d'information utile, mais bel et bien la vitesse de transmission de l'ensemble des bits transmis d'un module à un autre (PPDU).

Du point de vue de la puissance d'émission, la différence n'est pas particulièrement flagrante, mais c'est surtout la puissance consommée en mode standby qui laisse à penser que Zigbee® est dédié pour une application à bas « duty-cycle ».

Zigbee® reste aussi le seul à intégrer la flexibilité du « Mesh Networking » ce qui rend le réseau plus sophistiqué. La demande en mémoire est moins gourmande pour le standard Zigbee®.

ZigBee (WPAN)	Bluetooth (WLAN/WPAN)
<ul style="list-style-type: none"> • 802.15.4 standard • 250 kbps • TX: 35 mA • Standby: 3 uA • 32-60 KB memory • Lighting, sensors, RC peripherals • Mesh networking 	<ul style="list-style-type: none"> • 802.15.1 standard • 1 Mbps • TX: 40 mA • Standby: 200 uA • 100+ KB memory • Telecom audio, cable replacement • Point to multi-point

Figure n°2.6 : Comparaison entre Zigbee® et Bluetooth®

2.9. Exemple de durée de vie d'une batterie pour les 2 standards

La comparaison de la consommation est encore plus représentative par l'exemple. Pour ce faire, il a été effectué des tests sur 2 applications standards afin de comparer les standards Bluetooth® et Zigbee®. Deux radios typiques, Bluetooth® (Zeevo 4002) et Zigbee® (Freescale GB60) ont été testées. Les résultats sont les suivants :

<p>Example 1 High-Duty Cycle</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5 Byte Data Transmission in intervals of 1.28 seconds • assuming 200 mAh available battery capacity <p>• Battery lifetime based on Bluetooth: 15 days</p> <p>• Battery lifetime based on Freescale ZigBee: 33 days</p>	<p>Example 2 Event Driven Applications (security system scenario)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Network coordinator is on all the time (not battery powered) • Sensor transmitting every 60 seconds + 10 events per days • Based on 2 AA batteries <p>• Battery lifetime based on Bluetooth: 100 days</p> <p>• Battery lifetime based on Freescale ZigBee: 3559 days or 9.8 years</p>
---	--

Figure n°8 : Comparaison de consommation entre une radio Bluetooth® standard et une radio Zigbee® standard

Dans le premier cas, le « duty cycle » est relativement élevé, on voit que la différence de consommation varie d'un facteur 2 entre les standards. Dans le second cas, le « duty cycle » devient faible, l'application va donc privilégier le standard Zigbee®.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

2.10. Performances des radios Bluetooth® et Zigbee®

Afin de comparer les radios, on va utiliser le lien entre le rapport signal-sur-bruit (SNR) et le taux d'erreur (Bit Error Rate). Cette comparaison est fournie par Freescale à la figure n°9 :

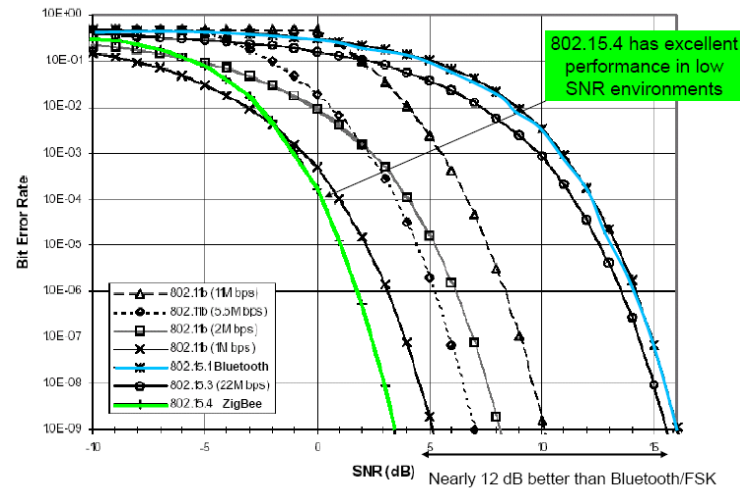


Figure n°2.7 : Taux d'erreurs en fonction du rapport signal-sur-bruit de l'environnement

Sans entrer dans les détails, on voit que la radio Zigbee® permet d'obtenir des performances bien meilleures dans le cas d'un environnement peu perturbé à proximité de la bande en question.

Note_2_2:

On comprend donc pourquoi il est plus judicieux d'utiliser Zigbee® dans le cadre d'un réseau de capteur. Il faut néanmoins préciser que le cadre de ce projet ne nécessite pas une topologie « Mesh network », puisqu'on va utiliser un type de communication peer-to-peer. C'est donc uniquement la consommation inférieure qui justifie ce choix.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

3. Présentation de la carte TmoteSky

Note_3_1 : Le chapitre suivant reprend les parties importantes du datasheet Tmote Sky [3.1], utiles à la conception et à la compréhension du projet de semestre.

3.1. Présentation générale

La carte capable d'acquérir et de transmettre les signaux mesurés est une carte développée dans le but d'être utilisée dans les réseaux de capteur ainsi que pour le développement rapide de prototype. Elle utilise une radio Chipcon qui permet de transmettre de débits de données jusqu'à 250kbps avec une porteuse de 2.4Ghz en utilisant le standard 802.15.4. Un microcontrôleur MSP430 permet de réaliser les acquisitions nécessaires grâce à des ports ADC-12 bits et DAC-12 bits ainsi qu'au DMA permettant de réaliser des mesures hautes fréquences. Des capteurs d'humidité, de température et de luminosité sont déjà intégrés sur le circuit, en liaison direct avec le microcontrôleur.

La programmation du module s'effectue à l'aide du port USB et le module supporte le TinyOS qui intègre le « mesh networking » et tous les composants liés à la communication.

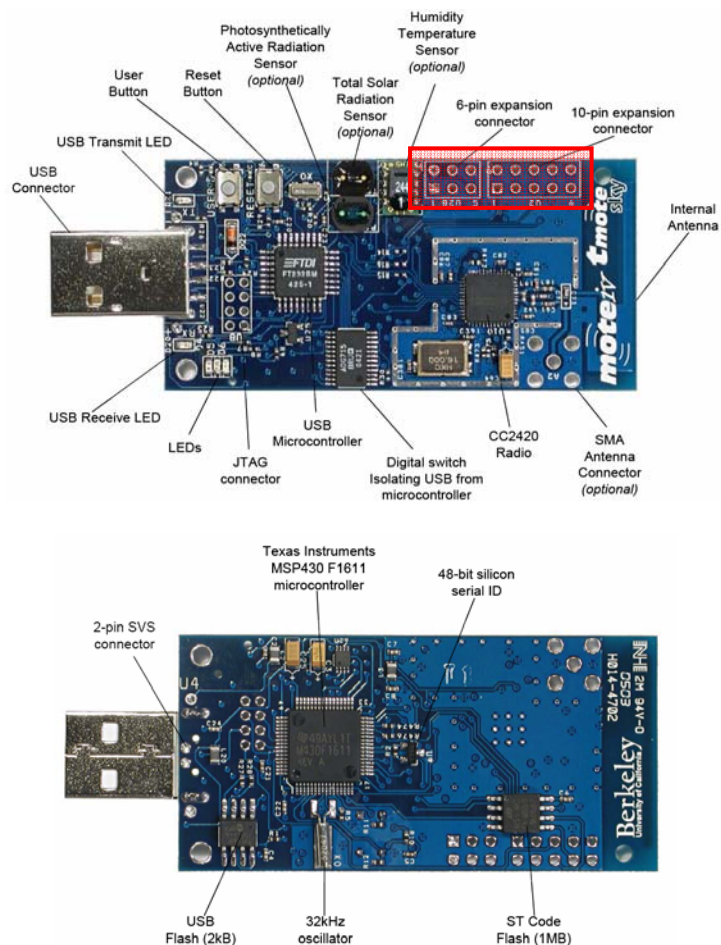


Figure n°3.1 : Module TMote Sky et ses composants. Face du dessus et face du dessous.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

La partie qui nous intéresse particulièrement est le connecteur d'expansion qui permet d'interfacer le module avec le circuit sur lequel viendront poser les capteurs. Le module nécessite de souder 2 connecteurs de 6 pins et 10 pins respectivement. La description des connecteurs est la suivante :

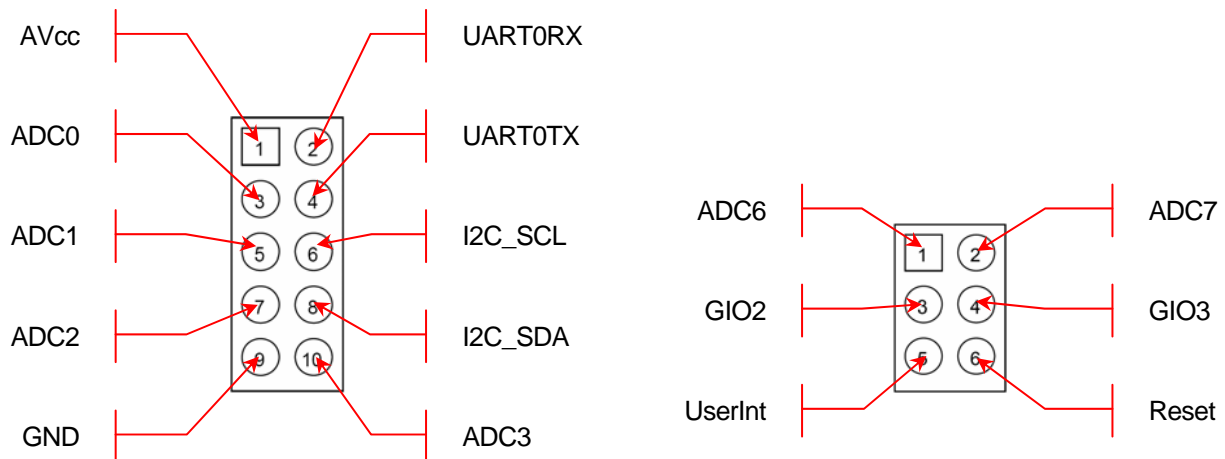


Figure n°3.2 : Interfaces utilisés pour connecté le TMOTE SKY au circuit de capteurs.

Note_3_1 :

Le premier prototype qui a été effectué utilise le pin AVcc pour alimenter le module Wireless depuis la carte sur laquelle on a monté l'accumulateur. Or, il s'avère que le Tmote Sky est pourvu d'une protection sous la forme d'une diode Schottky qui empêche un tel type d'alimentation. En effet, la diode protège la radio contre des surtensions externes alors que le microcontrôleur, lui n'est pas protégé. Le pin AVcc permet donc uniquement d'alimenter un circuit externe mais l'inverse n'est pas possible sans modification du Tmote Sky. La modification qui a ainsi été effectuée est le court-circuit de la diode Schottky D₂₂ [3.1]. Il faut ensuite enlever le générateur de tension U₂₅ pour que ce dernier ne consomme pas de courant, du fait qu'il supporte mal d'avoir une tension à sa sortie alors que son entrée n'est pas alimentée. Les détails de la connectique externe à ces 2 connecteurs sont présentés en annexes [11.5].

3.2. Amplificateur de puissance

La distance de communication maximum entre 2 modules est de l'ordre de 50m à l'intérieur d'un bâtiment et supérieur à une centaine de mètre en ligne droite, sans obstacles apparents.

Lors de différents essais effectués au début du projet, nous nous sommes rendu compte que cette distance de communication « publicitaire » n'est pas aussi éloignée en pratique. En effet, il s'avère que la transmission à travers des murs épais ou des vitres polarisées s'affaiblit considérablement. Pour remédier à ce problème il est possible d'ajouter un amplificateur de puissance entre la sortie de la radio et l'antenne. Bien qu'un tel amplificateur n'ait pas été considéré pendant ce projet de semestre pour des raisons de temps, il est possible d'en réaliser un à l'aide de composants discrets [3.2].

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

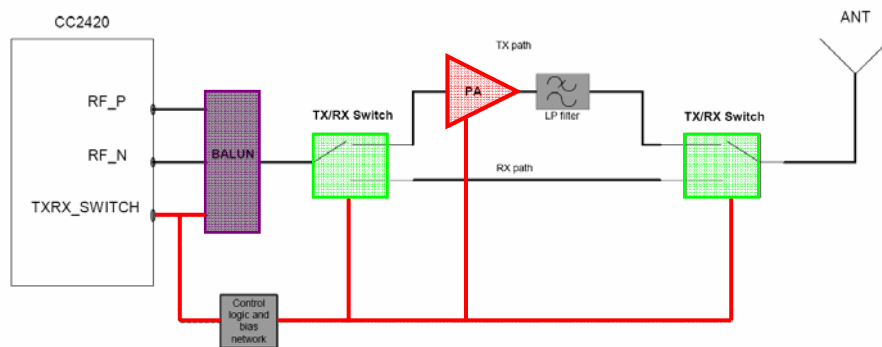


Figure n°3.3 : Schéma de principe de l'amplificateur de puissance du module TMOTE SKY

Cela dit, il serait alors nécessaire de connecter des pins de la radio directement sur un circuit séparé (l'amplificateur) ce qui rendrait le système difficile à réaliser en dehors d'un prototype. Le schéma ci-dessous présente l'architecture du circuit adéquat. On y voit le « BALUN » qui est un circuit déjà intégré au TMOTE SKY, permettant l'adaptation d'impédance entre le chip radio et l'antenne. Les interrupteurs analogiques permettent d'imposer au circuit une position (état) de réception ou de transmission grâce à la position du pin TXRX_SWITCH.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

4. Cartes "Urban Sensing Node"

La carte qui a été réalisée est pilotée par le Tmote Sky grâce aux connecteurs présentés à la figure n°3.2. Elle permet les opérations principales suivantes :

- ❶ Mesure du taux d'ozone dans l'air à l'aide d'un capteur d'O₃.
- ❷ Mesure de la pollution sonore à l'aide d'un microphone.
- ❸ Alimentation du « node » grâce à un accumulateur au Li-ion.
- ❹ Recharge de l'accumulateur Li-ion par l'intermédiaire d'une alimentation externe ainsi que par le port USB.
- ❺ Monitoring du courant de charge et de l'état de l'accumulateur.

On commence par présenter la carte sous la forme du premier prototype réalisé. Du fait que très peu de changements ont été effectués pour la réalisation du modèle finale, les améliorations se base principalement sur le changement de type d'alimentation qui a été discuté en note_3_1.

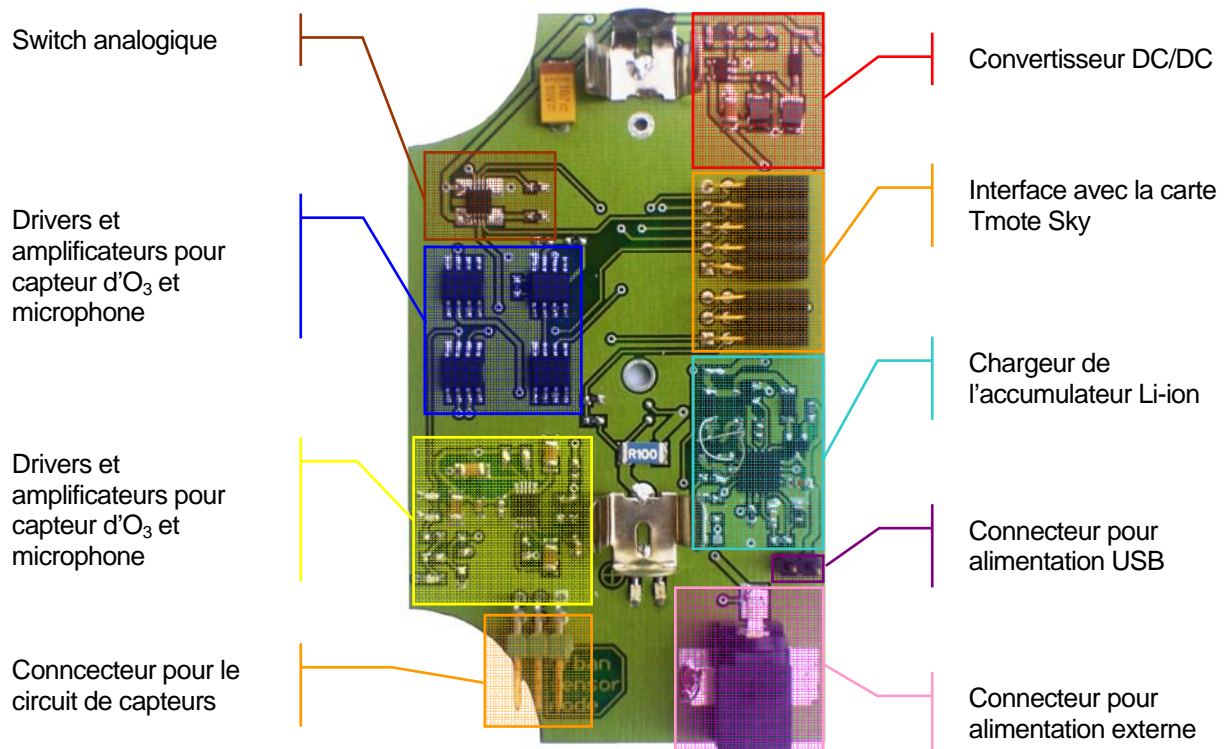


Figure n°4.1 :

Vue de dessus de la carte mère (Urban Sensing Node)

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

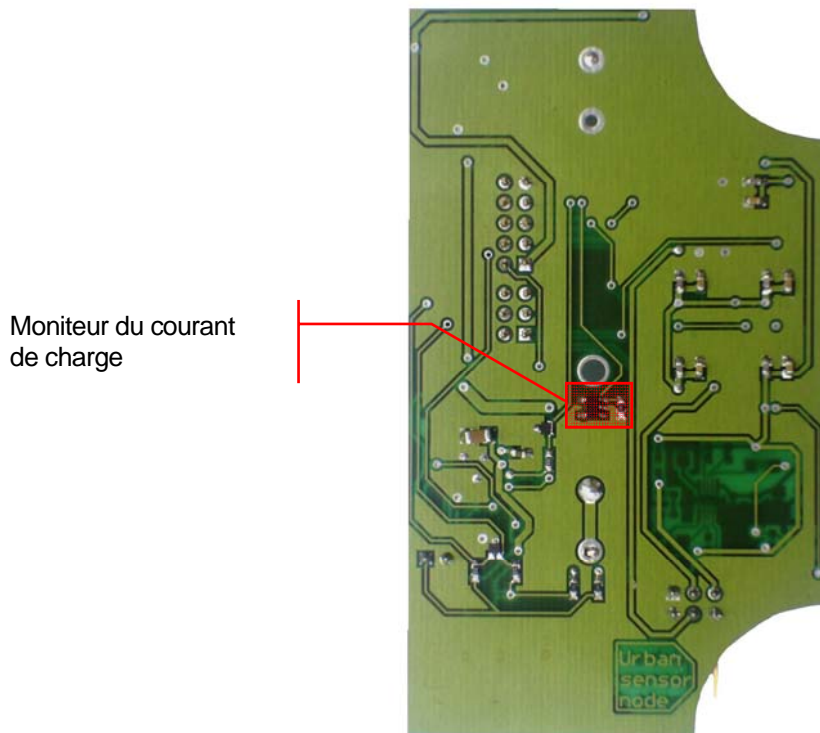


Figure n°4.2 : *Vue de dessous de la carte mère (Urban Sensing Node)*

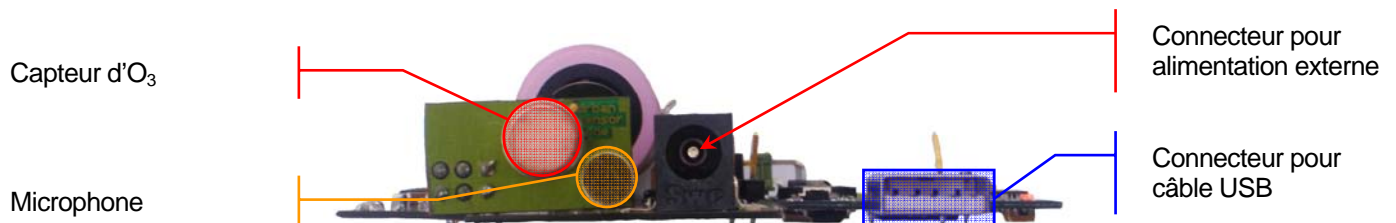


Figure n°4.3 : *Vue de côté de la carte mère (Urban Sensing Node) connectée au module Wireless (Tmote Sky)*

Avec cette réalisation, on a principalement essayé de poser les éléments sur la face supérieure du circuit imprimé. Même si la taille du circuit en est augmentée, ceci va permettre de pouvoir debugger le circuit facilement, une fois que ce dernier est installé dans son boîtier car c'est la face supérieure qui est visible.

4.1. Architecture générale

L'architecture générale est présentée à la figure n° 4.4. La fonction de la partie de droite du diagramme permet à la fois de charger l'accumulateur grâce aux alimentations externes et USB. Un contrôle digital permet de piloter le fonctionnement du chargeur ainsi que d'imposer un courant de charge de 100mA à 500mA pour l'alimentation USB et de 1000mA lorsque l'alimentation externe est connectée.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

L'interface du Tmote Sky permet de pouvoir mesurer le courant de charge de l'accumulateur, la tension à ces bornes ainsi que les grandeurs électriques issues du capteur d'O₃ et du microphone. A noter qu'une sortie analogique est utilisée pour chauffer le capteur d'O₃ afin de rendre le capteur actif et de limiter l'humidité à laquelle ce type de capteur est sensible. On utilise un switch analogique pour alimenter séparément les drivers liés au capteur d'O₃ et au microphone pour limiter au maximum la consommation du système.

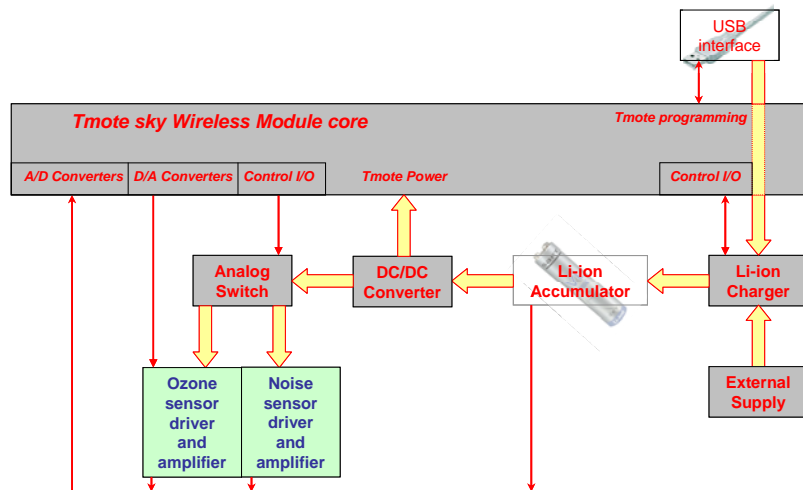


Figure n°4.4 : Architecture générale du circuit

4.2. Interface « Urban Sensing Node » et « Tmote Sky »

L'interface entre les 2 cartes s'effectue grâce aux connecteurs présentés à la figure n°3.2. La section qui suit spécifie les pins de chaque connecteur qui ont été utilisés ainsi que la fonction à laquelle chaque pin est voué. L'idée qui est proposée est de prendre les noms qui ont été défini dans le fichier sensorboard.h et de décrire les possibilités d'utilisation de ce dernier.

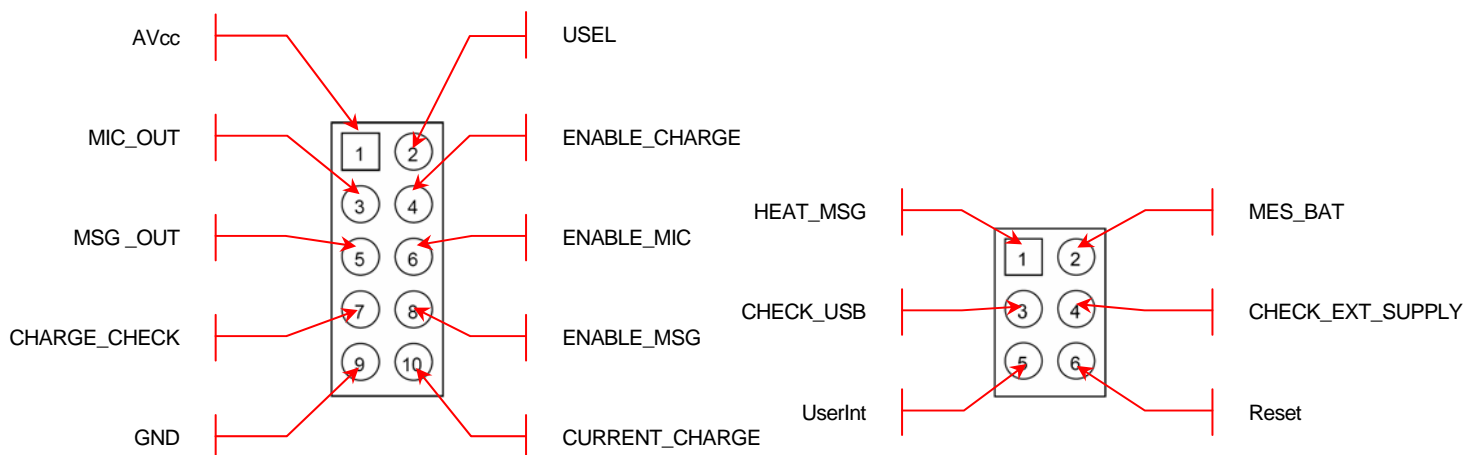


Figure n°4.5 : Interfaces utilisés pour connecté le TMOTE SKY au circuit de capteurs.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

➤ **USEL (sortie numérique)**

Le courant tiré de l'alimentation USB est défini par la valeur de ce pin. L'alimentation USB peut fournir un courant de 100mA ou de 500mA en fonction du type de port auquel on a affaire. Lorsque le pin USEL est en position haute, le chargeur va utiliser un courant maximum de 100mA alors que lorsque sa position est basse, le courant de charge ne dépassera pas 500mA. Lorsque l'accumulateur est complètement déchargé (tension à ses bornes inférieure à 2V) il est judicieux de la charger avec un courant faible pour limiter au maximum son échauffement. Si on charge la batterie dans des conditions normales, on préférera utiliser un courant supérieur pour réduire le temps de charge.

➤ **MIC_OUT (entrée analogique)**

Le signal de sortie audio a une valeur constante de 1.5V, permettant ainsi de mesurer un signal sinusoïdale d'une amplitude crête-à-crête de 2V (le signal doit être compris entre 0 et 2.5V). L'utilisation de ce signal est normalement vouée à un enregistrement DMA.

➤ **ENABLE_CHARGE (sortie numérique)**

Le fait de mettre la valeur du pin ENABLE_CHARGE en valeur haute enclenche le chargeur. Combiné avec la mesure de tension aux bornes de l'accumulateur Li-ion, il est possible d'arrêter manuellement la charge de l'accumulateur en adition avec le système automatique intégré au chargeur pour plus de sécurité.

➤ **MSG_OUT (entrée analogique)**

Le signal de sortie du block de mesure d'O₃ représente une conversion de la résistance de capteur d'ozone en tension. Les calculs de l'ensemble du block sont détaillés à la section 7.2.5. Une tension de l'ordre de 2.5V représente un taux d'O₃ relativement faible alors qu'une tension de l'ordre de 1V représente un taux d'O₃ élevé. La mesure de ce pin doit se faire après avoir chauffé le capteur grâce à la résistance d'échauffement et il faut alors attendre que le capteur ait retrouvé sa température normale. De par sa faible inertie, le capteur devrait avoir retrouvé la température ambiante après une dizaine de seconde.

➤ **ENABLE_MIC (sortie numérique)**

L'alimentation du block audio peut être éteinte grâce à la valeur de ce pin. ENABLE_MIC est connecté directement au switch analogique et alimente le block audio lorsqu'il est en position haute. Une fois que ce pin est en position basse, l'ensemble du bloc est alors mis à la masse pour que sa consommation soit nul.

➤ **CHECK_CHARGE (entrée numérique)**

CHECK_CHARGE est en bas lorsque l'accumulateur est en charge. Une fois que la logique interne du chargeur arrête la charge, CHECK_CHARGE passe en position haute. Les conditions d'arrêt de la charge sont données par les paramètres de la figure n°4.6. Le passage en mode source de tension nécessite une tension aux bornes de l'accumulateur de l'ordre de 4.2V.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

Type d'alimentation	Courant de charge	Conditions d'arrêt de la charge
Alimentation externe	1000mA	$I_{CHARGE}=125mA$ et chargeur en mode source de tension
Alimentation USB	100mA (USEL=0)	$I_{CHARGE}=125mA$ et chargeur en mode source de tension
Alimentation USB	500mA (USEL=1)	chargeur en mode source de tension

Figure n°4.6 : Conditions d'arrêt de la charge de l'accumulateur pour les différents types d'alimentation.

➤ **ENABLE_MSG (sortie numérique)**

L'alimentation du block de mesure d'O₃ peut être éteinte grâce à la valeur de ce pin. ENABLE_MSG est connecté directement au switch analogique et alimente le block de mesure d'O₃ lorsqu'il est en position haute. Une fois que ce pin est en position basse, l'ensemble du bloc est alors mis à la masse pour que sa consommation soit nul. En raison de la partie d'échauffement du capteur, il est primordial d'éteindre le bloc une fois que les mesures sont finies sous peines de limiter grandement l'autonomie du système.

➤ **CURRENT_CHARGE (entrée analogique)**

Il est possible de mesurer le courant de charge de la batterie grâce à un moniteur de courant. L'utilité de cette mesure permet de savoir l'état dans lequel se trouve l'accumulateur pour connaître le temps nécessaire à la charge. Le moniteur de courant n'étant pas indispensable, il est tout à fait possible de ne pas le souder et de laisser ainsi le circuit tel quel.

➤ **HEAT_MSG (sortie analogique)**

Le capteur d'O₃ comporte une résistance de chauffe permettant à la fois de rendre le circuit actif et de limiter l'humidité à l'intérieur de son boîtier. La sortie HEAT_MSG est alors amplifiée en courant à l'aide d'un suiveur de tension et appliquée aux bornes de la résistance. Il est possible d'utiliser une sortie PWM pour augmenter le rendement du système sans avoir à utiliser le convertisseur D/A intégré au port. Le paramètre définissant la tension moyenne aux bornes de la résistance est alors le duty cycle.

➤ **MES_BAT (entrée analogique)**

La tension aux bornes de la batterie est un moyen simple de connaître son état de charge. L'acquisition de cette tension se fait à l'aide d'un diviseur de tension permettant ainsi de connaître la moitié de la tension de l'accumulateur Li-ion à l'aide d'un convertisseur A/D. Ce diviseur de tension est nécessaire vu que la référence de tension interne la plus élevée est de 2.5V.

➤ **CHECK_USB et CHECK_EXT_SUPPLY (entrée numérique)**

Il est possible de savoir si une alimentation est connectée au circuit à l'aide de CHECK_USB et CHECK_EXT_SUPPLY. Le fait de brancher une alimentation va initier le pin respectif de chaque alimentation à une valeur haute.

➤ **User_Int et Reset (entrée numérique)**

Ces pins sont déjà soumis à des interrupteurs sur le circuit du Tmote Sky. Il n'y avait donc pas d'intérêt d'ajouter l'une ou l'autre fonction supplémentaire sachant que ces 2 interrupteurs peuvent être utiles lors d'une quelconque manipulation.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

5. Capteurs

5.1. Microphone [5.1]

Le microphone qui est utilisé pour réaliser les mesures de nuisances sonores est de type WM-61. Ces paramètres caractéristiques sont repris dans le tableau de la figure n°5.1.

Caractéristiques	Microphone panasonic - WM61
Sensibilité	1V/pa
Impédance	~ 2.2k Ω
Directivité	Omnidirectionnel
Plage de fréquences	20 - 20'000 Hz
Tension maximum d'utilisation	10V
Consommation	0.5mA
Rapport signal/bruit	> 62dB

Figure n°5.1 : Caractéristiques du microphone WM-61

Il est important de signaler que ce microphone est conçu avec un sens de polarisation, comme le montre la figure n°5.2. Cette polarisation est principalement due au fait que le boîtier du microphone est relié au pin de terre.

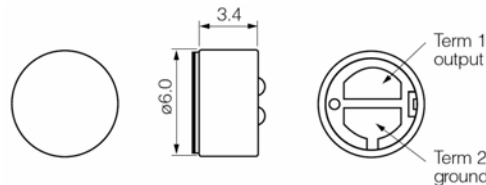


Figure n°5.2 : Microphone WM-61

5.2. Capteur d'ozone [5.2]

Le capteur d'ozone MSGS 3003 est composé d'un film de SnO_2 déposé par épitaxie sur un film résistif utilisé comme corps de chauffe. La résistance de chauffe est nécessaire dans le sens où elle contrôle la température du film réactif en créant un transfert de charge entre le contact et la bande de conduction. L'effet obtenu en chauffant le film de SnO_2 permet aussi d'évacuer tout substitut d'humidité auquel le capteur est très sensible. Le boîtier du capteur comporte 2 biportes. Le premier est utilisé pour mesurer l'impédance du circuit de mesure et le second est utilisé comme résistance de chauffe.

La mesure du taux d'ozone passe par la mesure de l'impédance de la partie active du circuit. Même si en soit, la mesure d'une impédance n'est pas un déficit, la variation de celle-ci dépasse 2 ordre de grandeurs et n'est pas linéaire. En effet, l'impédance varie entre une valeur de l'ordre de quelques dizaines de k Ω à 8700k Ω . Il est donc nécessaire de réaliser une calibration mais celle-ci n'a pas été réalisée pendant le travail de semestre.

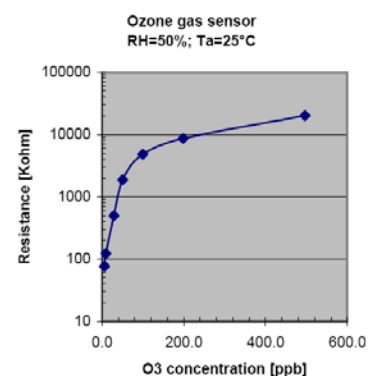


Figure n°5.3 : Variation de l'impédance de la partie active du capteur avec l'augmentation du taux d'ozone

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

6. Boîtier [6.1]

Pour protéger le circuit d'éventuelles projections d'eau il a été nécessaire de choisir un boîtier capable de recevoir l'ensemble des circuits :

- ❶ La carte « Tmote Sky »
- ❷ La carte « Urban Sensing Node »
- ❸ La carte sur laquelle sont montés les capteurs

Le boîtier a été choisi pour sa petite taille ainsi que pour son couvercle transparent permettant aussi bien de pouvoir visualiser d'éventuelles informations fournies par les LED mais aussi pour pouvoir utiliser les capteurs de luminosité montés sur le Tmote Sky.

Pour concevoir au mieux le système, les circuits ont été conçus après le choix du boîtier. Le but étant de pouvoir aussi utiliser les capteurs montés sur le Tmote Sky, il a fallu penser à un circuit pour lequel les 2 cartes venaient monter l'une à côté de l'autre. L'utilisation d'un logiciel de dessin 3D s'est avérée très utile pour visualiser la position des éléments et éviter une éventuelle surprise une fois le premier prototype réalisé.

Comme présenté sur la figure n°6.1, le positionnement des cartes a été conçu de la manière suivante :

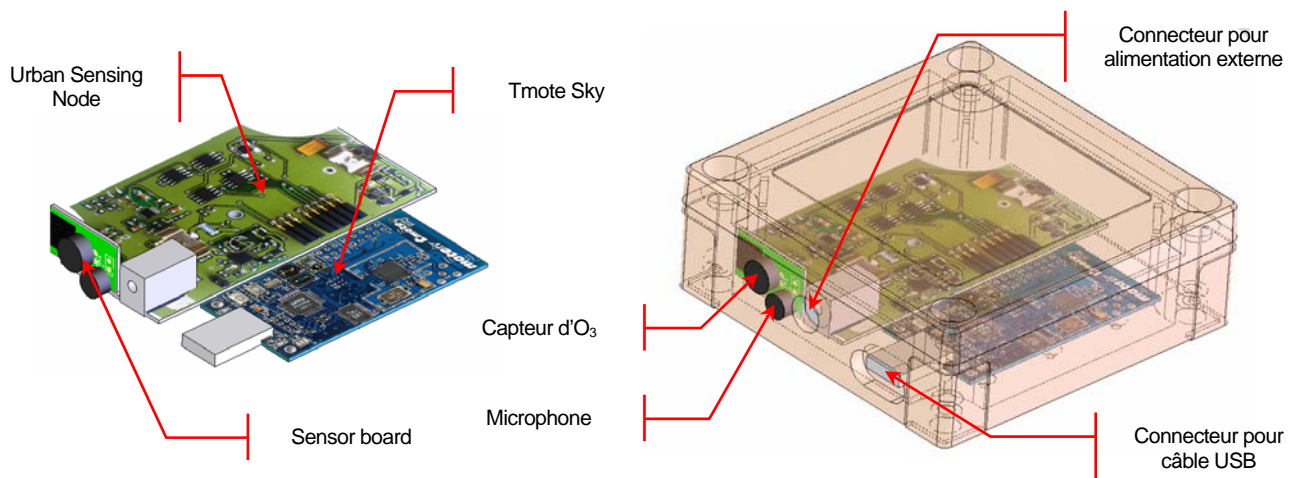


Figure n°6.1 : Système monté à l'extérieur du boîtier et monté dans le boîtier

Les connexions qui s'effectuent entre les connecteurs et fiches des câbles USB et alimentation externe, ainsi que les logements des capteurs, nécessitent un usinage sur la face du boîtier. Le plan de perçage du boîtier se trouve en annexe.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

7. Descriptions des blocks électroniques

7.1. Chargeur d'accumulateur Li-ion

Le cahier de charge du projet spécifie la possibilité de charger l'accumulateur à l'aide d'une alimentation externe de l'ordre de 5V, mais aussi à l'aide de l'alimentation USB, très pratique lors du développement du software, intégré à l'*Urban Sensing Node*.

Malgré ces dimensions très réduites, le choix s'est porté vers le circuit de charge MAX1874 qui répond aux caractéristiques décrites ci-dessus. Le problème de la taille ainsi que du packaging étant uniquement pénalisant pour le « prototype »

Le chargeur qui a été choisi (MAX1874) a la capacité de pouvoir charger l'accumulateur Li-ion par l'alimentation externe mais aussi par l'interface USB, normalement dévolue à l'alimentation du *Tmote Sky*. Pour des raisons de fiabilité (temps de vie de la batterie), l'alimentation est effectuée directement par des diodes Schottky (D1 et D2) dès l'instant où l'une des deux sources est connectée au circuit.

L'application qui a été utilisée est complète, dans le sens où elle intègre une protection contre une surtension de l'alimentation externe si cette dernière dépasse 6.2V et qui reste effective jusqu'à 18V. Deplus, le circuit gère automatiquement les transistors de choix de la source (accumulateur Li-ion, alimentation externe et alimentation USB). Le schéma qui a été réalisé est présenté ci-dessous :

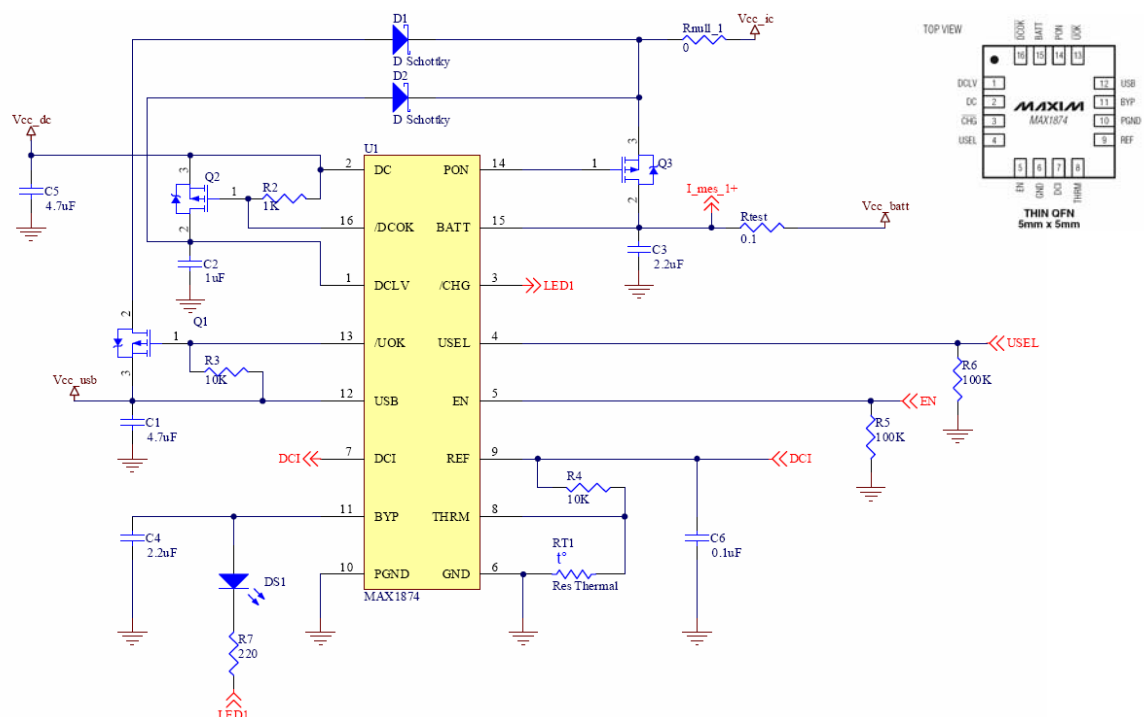


Figure n°7.1 : Schéma du chargeur de batterie Li-ion (MAX1874)

Globalement, le circuit va chercher à charger l'accumulateur quand le circuit est en configuration active (pin EN > 1.6V). Le chargeur privilégie néanmoins l'alimentation externe sur l'alimentation USB vu que le courant de charge est supérieur lorsque l'alimentation externe est connectée au système. En effet, le courant est limité à 1000mA dans le premier cas (alimentation externe) alors qu'il est compris entre 100mA et 500mA dans le second cas, la valeur de ce courant de charge étant définie par la position du pin USEL.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

Par défaut, le chargeur Li-ion utilise une charge de type « CCCV » (Courant constant-Tension constante), ce qui signifie que le courant de charge est progressivement diminué une fois que la tension de la batterie est suffisamment élevée. C'est la valeur de ce courant qui va permettre au circuit d'interrompre la charge, une fois que celui-ci est inférieur à 125mA. Le principe de « CCCV » est présenté à la figure n°7.2. Ce graphique tiré de [7.1], permet d'apprécier les étapes de charge de la batterie :

- ❶ Précharge de la batterie
- ❷ Charge de la batterie à courant constant
- ❸ Charge de la batterie à tension constante
- ❹ Arrête de la procédure de charge de la batterie

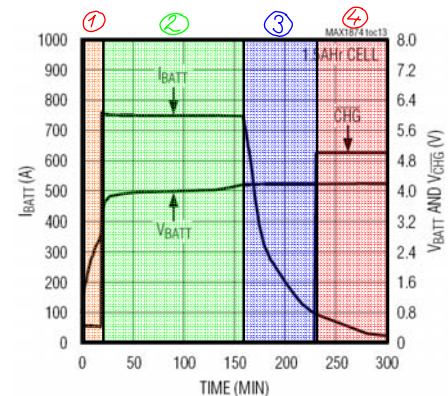


Figure n°7.2 : Courant de charge en fonction de la tension aux bornes de la batterie

Pour protéger la batterie d'une recharge à courant trop élevé quand cette dernière est état de décharge totale, le circuit va limiter ce courant jusqu'à ce que la tension de la batterie soit supérieur à une tension de l'ordre de 2.8V, cette procédure permet de limiter l'échauffement de la batterie est ainsi sa destruction. Le graphique de la figure n°7.3, tiré de [7.1] représente la valeur du courant de précharge pour des cas de décharge complète de la batterie.

Lorsque la batterie est déchargée complètement et que la tension à ses bornes est inférieure à 1V il est préférable de ne pas l'utiliser à nouveau. Ceci pour des raisons de fiabilité du système. En effet, lorsque la tension est faible le lithium peut se transformer localement en oxyde de lithium, un composé très réactif.

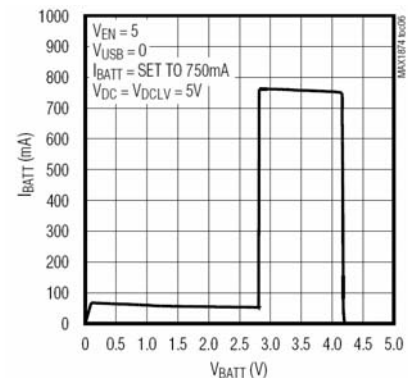


Figure n°7.3 : Courant de précharge

La description des pins est détaillée dans le tableau de la figure n°7.4. Ces fonction principale ont été tirée de [7.1] et présentée sous forme synthétique afin de ne pas entrer dans des détails inutiles.

Numéro de la pin	Nom	Fonction de la pin	
1	DCLV	Entrée de l'alimentation externe derrière le circuit de protection	entrée
2	DC	Entrée de l'alimentation externe devant le circuit de protection	entrée
3	/CHG	Actif lorsque le circuit ne charge pas la batterie	sortie
4	USEL	Actif => courant USB=500mA sinon 100mA	entrée
5	EN	Activation du chargeur lorsque ce pin est actif	entrée
6	GND	Masse du circuit (signal)	
7	DCI	Courant de charge en mode "courant constant" est fixé par la tension de ce pin. Dans notre cas DCI est connecté à REF, ce qui impose un courant nominal de 1000mA	entrée
8	THRM	Mesure de la thermistance. La charge est interrompue pour une température inférieure à 0°C et supérieure à 50°C.	entrée
9	REF	Référence de tension de 3V. Permet de fixer le courant de charge nominal à l'aide d'un diviseur de tension connecté sur DCI	sortie
10	PGND	Masse du circuit (puissance)	
11	BYP	Alimentation des circuits internes	entrée/sortie
12	USB	Entrée de l'alimentation USB	
13	/UOK	Pilotage du transistor PMOS Q1 (actif à 0). Sélection de l'alimentation USB	sortie
14	PON	Pilotage du transistor PMOS Q3 qui découple la batterie lorsqu'une des alimentation est branchée	sortie
15	BATT	Sortie du chargeur su la batterie	sortie
16	/DCOK	Pilotage du transistor PMOS Q2 (actif à 0). Sélection de l'alimentation externe	sortie

Figure n°7.4 : Description des pins du circuit de charge

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

7.2. Préamplificateur audio pour microphone à compression variable

Le but du projet étant de pouvoir mesurer la nuisance sonore, il était nécessaire d'intégrer un préamplificateur audio au dispositif. Pour des raisons pratiques, il s'avère plus judicieux d'utiliser un préamplificateur du commerce plutôt que de le concevoir soi-même. De ce fait, il a été choisi un préamplificateur typique du monde du téléphone mobile permettant de régler facilement la compression à l'aide de 2 résistances.

Le préamplificateur SSM2167, choisi principalement pour la raison que les concepteurs du Tmote Invent l'intègre déjà à leur circuit, correspond à ce qui est discuté ci-dessus.

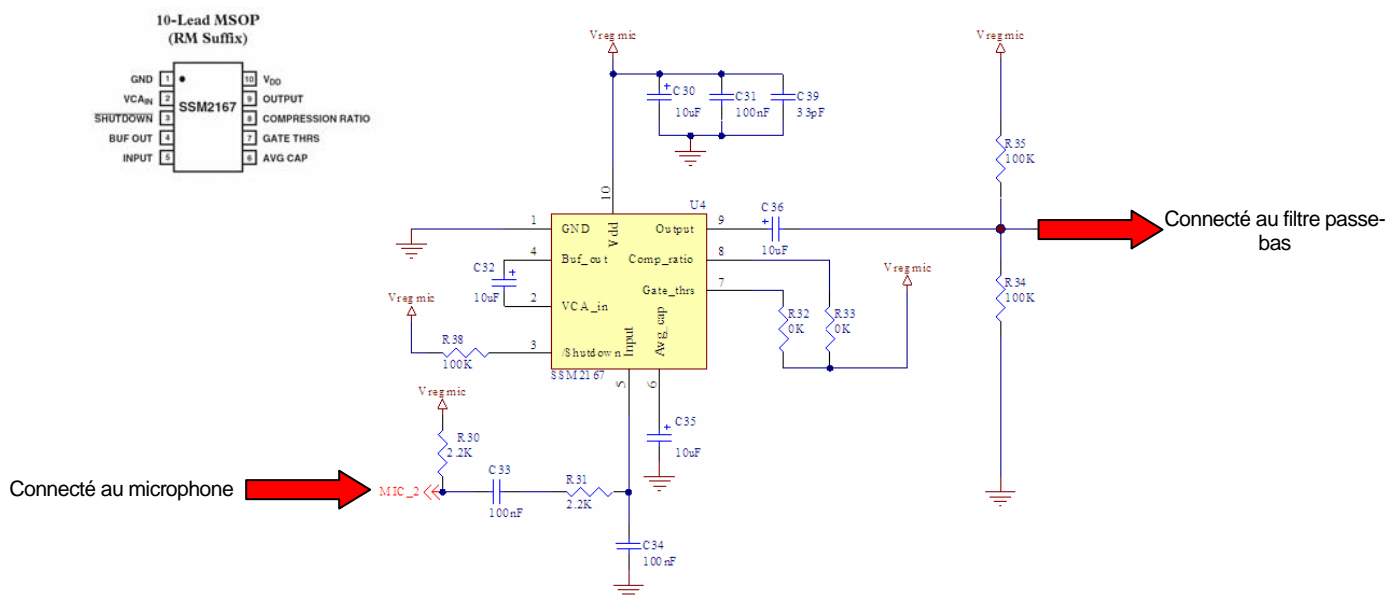


Figure n°7.5 : Schéma du préamplificateur audio

Les résistances R34 et R35 ajoutent une composante continue au signal ce qui permet au circuit de ne pas être alimenté par une tension négative. Ceci sera surtout utile pour le filtrage qui suit le préamplificateur. Les résistances R32 et R33 sont respectivement les résistances de réglage du niveau minimum à amplifier et du niveau de compression du signal. On entend par niveau minimum à amplifier, la limite de la puissance du signal à partir de laquelle le préamplificateur commence à amplifier.

7.2.2. Réglage du niveau de compression (Compression Ratio)

La compression du signal est directement liée à la valeur de la résistance R33, pour des raisons pratiques, la valeur de cette résistance est considérée comme nulle dans le schéma de la figure n°7.5. La valeur de R33 doit être ajustée par l'essai alors que les caractéristiques et comportements du préamplificateur sont présentés dans les figures n°7.6 et figure n°7.7.

On notera aussi le fait qu'il est préférable de ne pas utiliser un niveau de compression trop élevé en raison du manque de différence d'amplitude à la sortie, pour des signaux à l'entrée d'amplitudes différentes. Les caractéristiques des figures n°7.6 et figure n°7.7 sont tirées de [7.3] et [7.4].

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

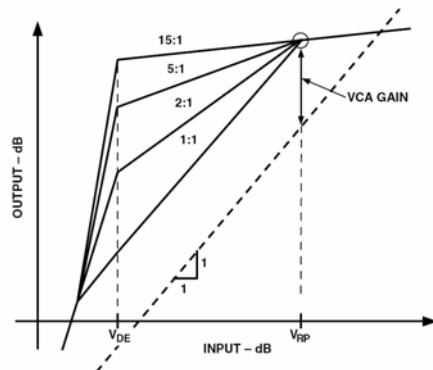


Figure n°7.6 : Réglage du niveau de compression pour des valeurs de résistance R33

Niveau de compression	Valeur de R33 [kΩ]
1:1	0
2:1	15
3:1	35
5:1	75
10:1	175

Figure n°7.7 : Valeur du niveau de compression pour des valeurs de résistance R33

7.2.3. Réglage du niveau du signal minimum amplifié (Noise Gate Threshold)

De la même manière, la valeur de la résistance R32 influence directement le niveau du signal minimum à amplifier. De ce fait, il est encore nécessaire de fixer la valeur de R32 par l'essai afin d'obtenir des résultats utiles à l'acquisition. Le graphique de la figure n°7.8 et le tableau de la figure n°7.9 sont tiré de [7.3] et [7.4].

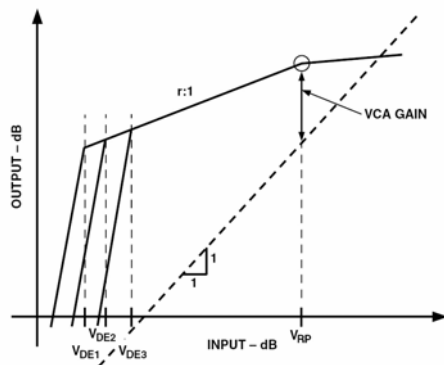


Figure n°7.8 : Réglage du niveau de bruit minimum à amplifier pour des valeurs de résistance R32

Niveau minimum amplifié[dBV]	Valeur de R32 [kΩ]
-40	0
-48	1
-54	2
-55	5

Figure n°7.9 : Valeur du niveau de bruit minimum à amplifier pour des valeurs de résistance R32

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

7.2.4. Filtre passe-bas et sortie faible impédance

Afin de pouvoir mesurer le signal auditif, il est nécessaire de réaliser un filtrage passe-bas, permettant d'acquérir un signal compris entre 20-10000Hz. On a donc réalisé le circuit présenté à la figure n°7.10, tiré directement de la documentation fournie par le constructeur du préamplificateur [7.4].

Ne sachant pas exactement quel est le timbre de la pollution sonore à laquelle nous allons être confrontés, il a été nécessaire de connaître la fonction de transfert d'un tel circuit, afin de pouvoir la modifier si les caractéristiques ne conviennent pas, une fois les premières mesures effectuées.

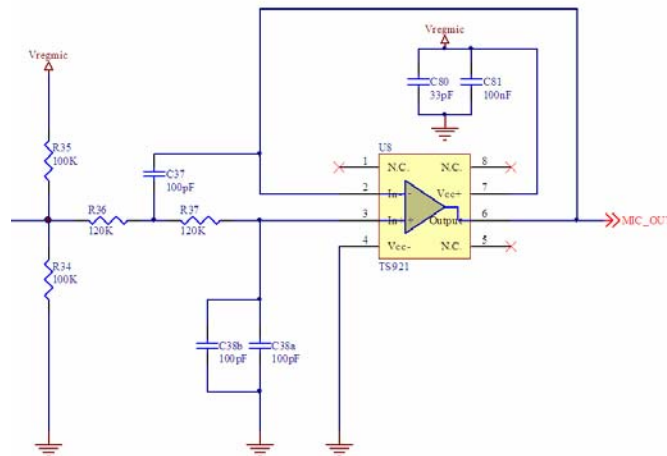


Figure n°7.10 : Schéma du filtre passe-bas et amplificateur de courant

Pour calculer la fonction de transfert, on commence par dessiner le filtre sous sa forme habituelle, de telle manière à pouvoir identifier le type de filtre. On s'intéresse principalement au nœud compris entre les 2 résistances de 120kΩ pour établir les équations de Kirchhoff.

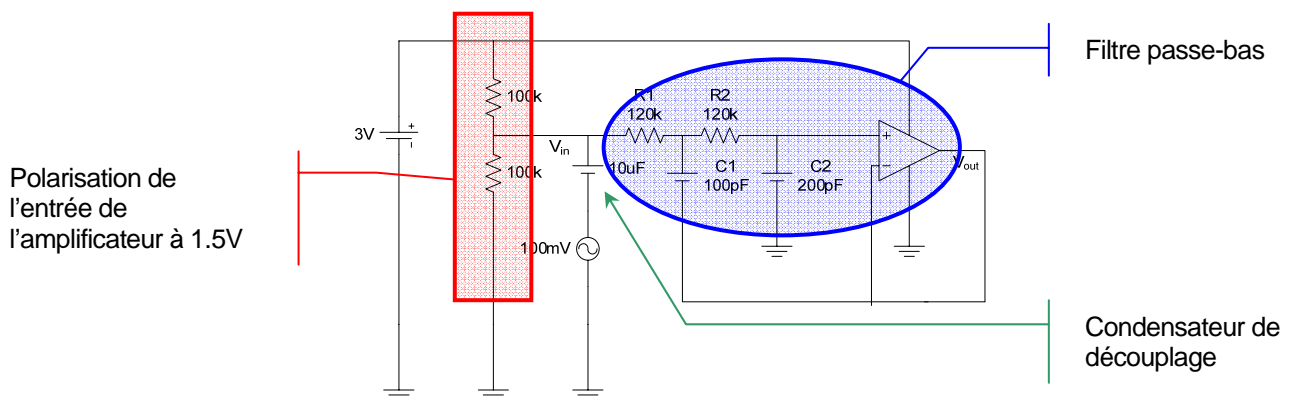


Figure n°7.11 : Schéma du filtre passe-bas simplifié pour calculer la fonction de transfert du filtre

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

On commence par définir les résistances telles que : $R = R_1 = R_2$ (i)

On définit le courant i_{C2} de 2 manières différentes :
$$i_{C2} = \frac{V_{in} - V_b}{R_1} + \frac{V_{out} - V_b}{\frac{1}{j\omega C_1}} = V_{out} \cdot j\omega C_2$$
 (ii)

En remaniant cette expression, on tire V_{in} en fonction de V_{out} et V_b :

$$V_{in} = V_{out} \cdot R \cdot j\omega (C_2 - C_1) + V_b \cdot (1 + j\omega RC_1) \text{ (iii)}$$

On peut alors définir V_b en fonction de V_{out} :

$$V_b = V_{out} + R_2 \cdot V_{out} \cdot j\omega C_2 = V_{out} \cdot (1 + j\omega RC_2) \text{ (iv)}$$

On peut donc récrire l'équation iii en insérant iv afin d'en tirer la fonction de transfert :

$$V_{in} = V_{out} \cdot R \cdot j\omega (C_2 - C_1) + V_{out} \cdot (1 + j\omega RC_2) \cdot (1 + j\omega RC_1) \text{ (v)}$$

La fonction de transfert est donc définie comme :

$$H(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{j\omega R (C_2 - C_1) + (1 + j\omega RC_2) \cdot (1 + j\omega RC_1)} \text{ (vi)}$$

On peut alors définir les pôles de la fonction tels que :

$$\begin{aligned} j\omega R (C_2 - C_1) + (1 + j\omega RC_2) \cdot (1 + j\omega RC_1) &= 0 \\ -\omega^2 R^2 C_1 C_2 + j\omega R (C_2 - C_1) + j\omega RC_2 + j\omega RC_1 + 1 &= 0 \text{ (vii)} \\ -\omega^2 R^2 C_1 C_2 + 2 \cdot j\omega RC_2 + 1 &= 0 \end{aligned}$$

Finalement, on peut définir la valeur des pôles pour établir la fonction de transfert $H(j\omega)$:

$$p_{1,2}(j\omega) = \frac{-j2RC_2 \pm \sqrt{-(2RC_2)^2 + 4R^2 C_1 C_2}}{2R^2 C_1 C_2} \text{ (viii)}$$

On se retrouve avec une fonction du second ordre, sachant maintenant que la fonction a la forme suivante :

$$H(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{\left(1 + j\frac{\omega}{\omega_1}\right) \cdot \left(1 + j\frac{\omega}{\omega_2}\right)}$$

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

En utilisant les valeurs contenues dans la figure n°7.11, on peut finalement connaître les fréquences de coupures du filtre.

$$\begin{aligned} f_1 &= 22.641\text{kHz} \\ f_2 &= 3.884\text{kHz} \end{aligned}$$

Pour contrôler le résultat, on a aussi simulé le circuit, de telle manière à pouvoir tester ce dernier rapidement le filtre avec d'autres valeurs des éléments si besoin est. La simulation nous permet de trouver les valeurs des pôles dominant et secondaire en visualisant la phase en -45° et -135° .

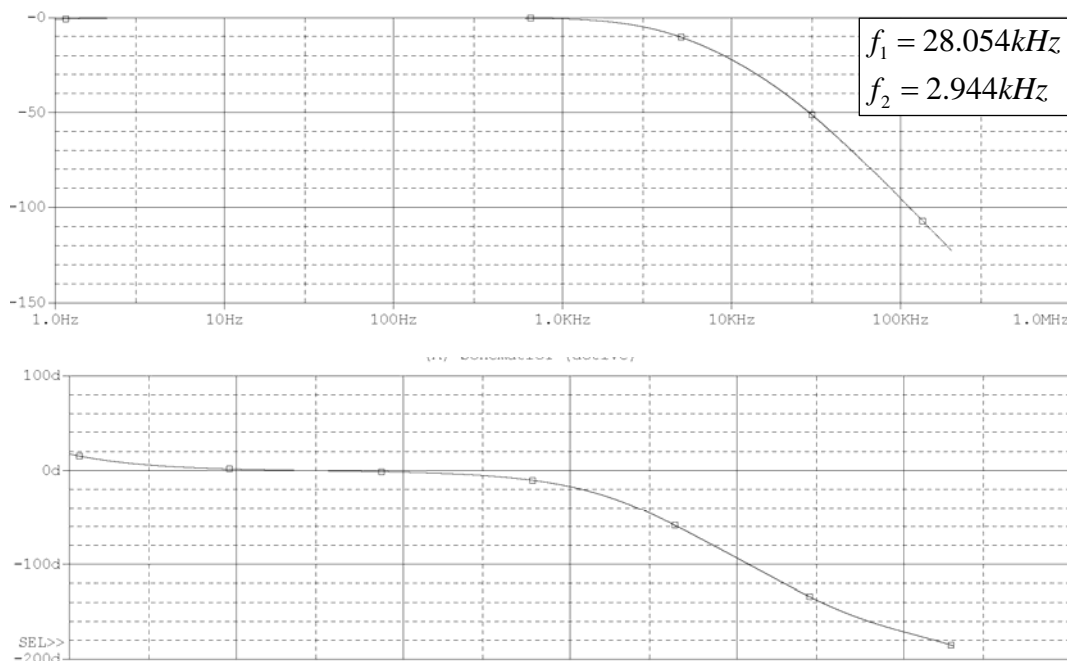


Figure n°7.12.a : Simulation du filtre appliqué à la sortie du préamplificateur. En haut, le gain du filtre. En bas la phase du filtre.

Les valeurs obtenues grâce à la simulation se distinguent des valeurs théoriques en raison de la capacité de découplage dont on n'a pas tenu compte dans les calculs. Néanmoins, le pôle dominant et le pôle secondaire sont placés à des fréquences proches de ce qui a été calculé.

Pour modifier le filtre, il suffit alors de jouer avec la taille de la résistance R et celle des condensateurs C_1 et C_2 . En remaniant l'expression donnée en (viii), on peut alors tirer une expression plus pratique à analyser.

$$p_{1,2}(j\omega) = -j \frac{1}{R} \left[\frac{1}{C_1} \pm \frac{\sqrt{C_2^2 - C_1 C_2}}{C_1 C_2} \right]$$

Les dépendances sont les suivantes :

- Les fréquences de coupures sont inversement proportionnelles à la résistance R .
- Les fréquences de coupures sont symétriques par rapport à la valeur $1/RC_1$.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

- L'écart entre les fréquences de coupures est donné par la différence qu'il existe entre C_1 et C_2 . La relation qui lie la valeur des capacités est non linéaire et il est primordial que la valeur de C_2 soit supérieure à C_1 .

Un exemple de modification peut être, par exemple, la recherche d'un filtre du second ordre avec une fréquence de coupure à 10kHz. Dans ce cas, on pose $C_1 = C_2$ pour avoir un pôle double. Les fréquences de coupures sont alors données par :

$$f_{1,2}(j\omega) = \frac{1}{2\pi R} \left[\frac{1}{C_1} \pm \frac{\sqrt{C_2^2 - C_1 C_2}}{C_1 C_2} \right]^{C_1=C_2} = \frac{1}{2\pi R} \frac{1}{C_1}$$

Selon le schéma qu'on a proposé, C_2 est composé de 2 capacités en parallèle de 100pF chacune. Le fait d'en enlever une permet de remplir le critère $C_1=C_2$. Il ne reste alors plus qu'à calculer la valeur de R, de façon à ce que :

$$R = \frac{1}{2\pi f_{1,2}} \frac{1}{C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-12}} = 160k\Omega$$

On obtient ainsi, par simulation, les caractéristiques voulues :

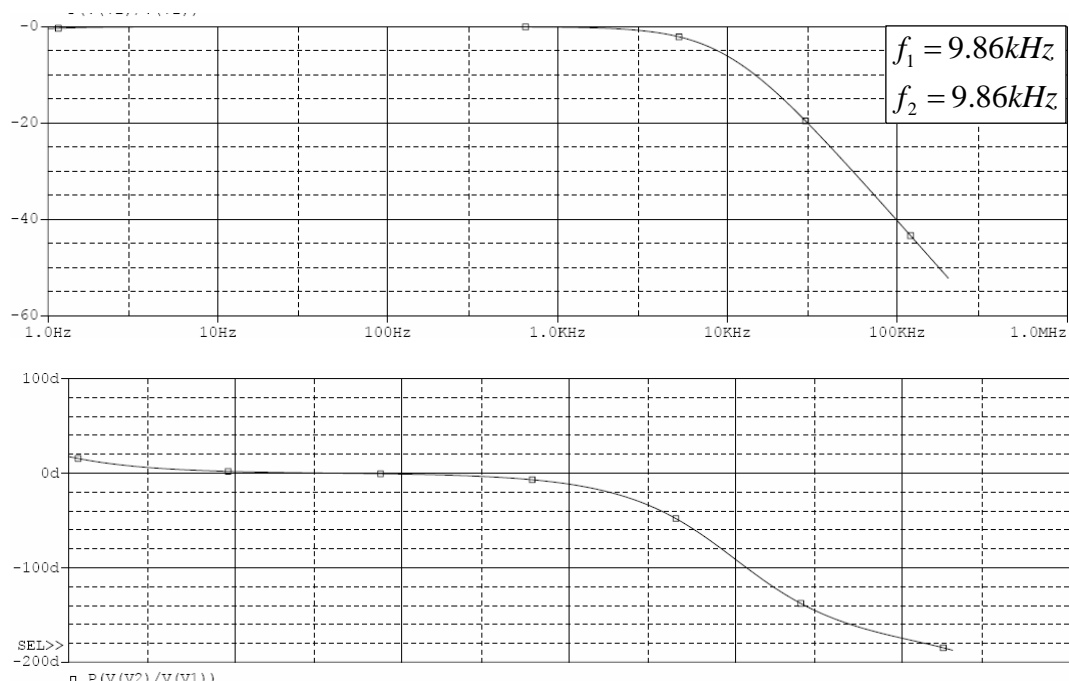


Figure n°7.12.b : Simulation du filtre appliqué à la sortie du préamplificateur pour une fréquence de coupure de 10kHz. En haut, le gain du filtre. En bas la phase du filtre.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

7.3. Driver et mesure du capteur d'ozone

Le capteur MSGS 3003 présenté à la section n°5.2 nécessite un driver capable d'échauffer la surface sensible du capteur afin de limiter l'humidité et un circuit amplificateur permettant d'ajuster la sortie du signal issu du capteur piézo résistif.

Le circuit d'échauffement agit sur une résistance de l'ordre d'une centaine d'ohm. Pour cette raison il est nécessaire de ne pas imposer une tension trop élevée aux bornes de celle-ci. Le fabricant recommande donc d'utiliser les grandeurs électriques suivantes afin de ne pas soumettre le capteur à un échauffement trop élevé.

Caractéristiques	Valeur	Unité
Tension maximum aux bornes de R_h	2.2	[V]
Courant maximum à travers R_h	25	[mA]
Puissance maximum dissipée par R_h	55	[mW]
Dérivée maximum de la tension aux bornes de R_h	0.2	[V/ms]
Tension maximum aux bornes de R_s	5	[V]
Courant maximum à travers R_s	5	[mA]
Puissance maximum dissipée par R_s	1	[mW]

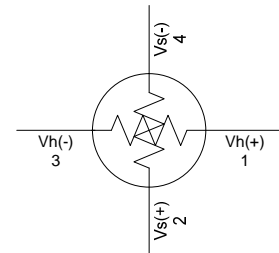


Figure n°7.13 : Caractéristiques des grandeurs électriques imposées au capteur d'ozone MSGS 3003

Le circuit réalisé comporte une entrée analogique qui permet d'ajuster la tension aux bornes de la résistance R_h à l'aide d'un amplificateur suiveur et une sortie analogique, à travers un amplificateur à transrésistance permettant de représenter les variations de conductances sous forme de tension.

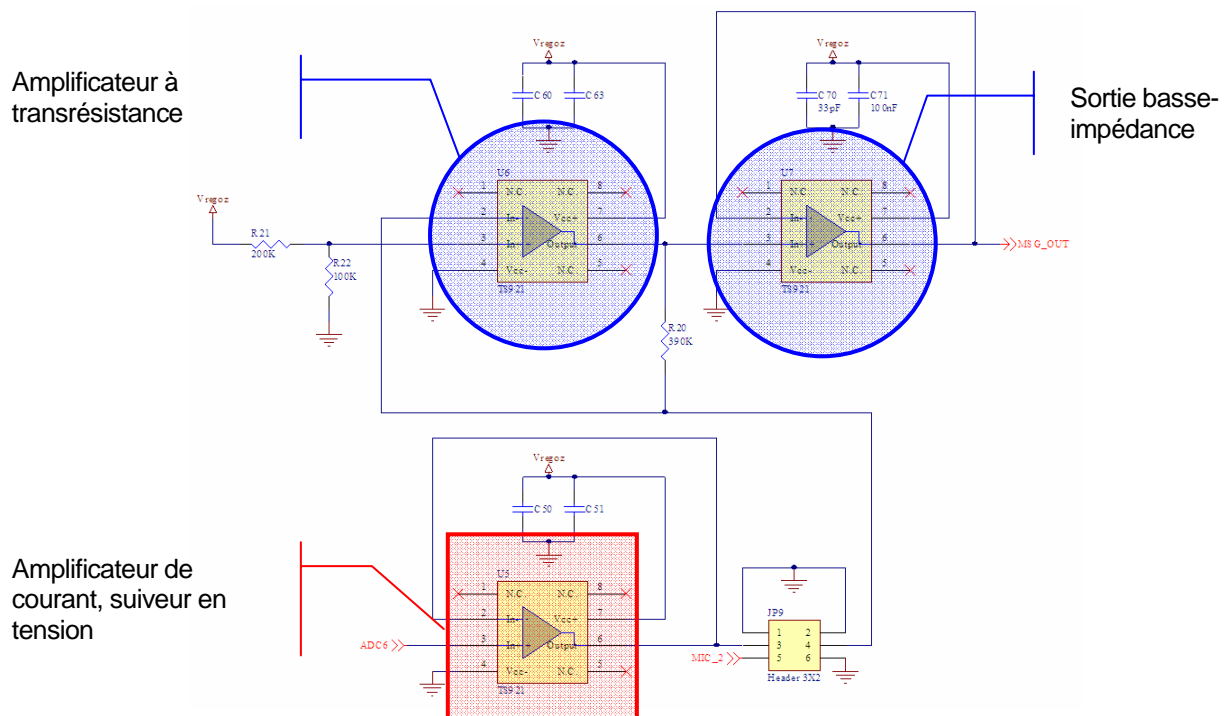


Figure n°7.14 : Schéma du driver de préchauffage du capteur d'ozone MSGS 3003 et amplificateur à transrésistance

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

Le circuit ci-dessus a nécessité une certaine attention pour dimensionner les éléments. En effet, au vu des caractéristiques de la résistance de chauffe, il est nécessaire de ne pas infliger une tension trop élevée aux bornes de la résistance de chauffe.

L'amplificateur qui a été choisi pour notre application est un amplificateur Rail-to-rail TS921. Sa sortie est limitée à 80mA ce qui signifie qu'il ne limite pas le courant suffisamment pour protéger la résistance de chauffe. Dans un premier temps, l'ensemble des amplificateurs visibles sur la figure n°7.14 sont séparé pour pouvoir tester le circuit prototype. Dans cadre du circuit final, il peut paraître plus simple d'utiliser un circuit à 4 amplificateurs intégrés, pour autant qu'on s'autorise à alimenter tout les circuits de mesure en même temps.

La mesure de la résistance de mesure d'ozone s'effectue à l'aide du circuit présenté à la figure n°7.15.

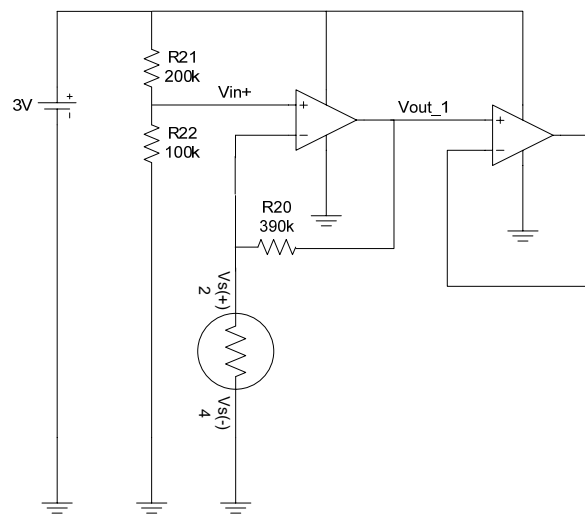


Figure n°7.15 : Schéma de mesure de la résistance du capteur d'ozone

En tirant les informations nécessaires des caractéristiques du capteur d'ozone analysé au chapitre n°5, on a vu que l'impédance de mesure est comprises entre une valeur de quelques dizaines de kΩ à 8700kΩ. Les calculs qui sont effectués ci-dessous ont pour hypothèse une résistance minimum de 50kΩ. De ce fait on choisi la valeur de la résistance R_{20} en fonction de cette valeurs (d'environ 50KΩ) qui n'est pas véritablement précise. Il serait donc nécessaire de faire une investigation plus approfondie pour fixer la valeur minimum de l'impédance de mesure d'ozone.

La tension d'entrée de la borne de réaction positive de l'amplificateur d'entrée est considérée comme constante :

$$V_{in_1+} = V_{cc} \cdot \frac{R_{22}}{R_{21} + R_{22}}$$

On définit maintenant la tension de sortie de l'amplificateur d'entrée telle que :

$$V_{out_1} = V_{in_1+} \cdot \frac{R_{ozone} + R_{20}}{R_{ozone}}$$

On essaie d'avoir dans tout les cas une sortie inférieure à la tension d'alimentation pour ne pas faire saturer l'amplificateur, ce dernier étant un amplificateur Rail-to-rail. Deplus, on cherche à avoir une tension de sortie maximum inférieure à 2.5V, tension pour laquelle le convertisseur A/D a tout ses bits en position haute. Cette deuxième condition est plus restrictive que la première.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

On dimensionne R_{20} de façon à ce que :

$$V_{out_1} = V_{in_1+} \cdot \frac{R_{ozone} + R_{20}}{R_{ozone}} \bigg|_{R_{ozone}=50k\Omega} \leq 2.5V$$

On calcul donc la valeur de la résistance R_{20} pour remplir la condition ci-dessus. :

$$R_{20} = \left[\frac{V_{out_1}}{V_{in_1+}} - 1 \right] \cdot R_{ozone} \bigg|_{\substack{V_{out_1}=2.5V \\ R_{ozone}=50k\Omega}} = 63.6k\Omega$$

La résistance R_{20} doit donc être inférieure à cette valeur théorique.

7.4. Alimentation stabilisée [7.5] [7.6]

L'alimentation qui a été utilisée est une alimentation DC/DC buck/boost à plage d'entrée élevée. En effet, les tensions d'alimentation sont diverses et le convertisseur nécessite à la fois de pouvoir convertir une tension d'entrée jusqu'à 6.5V (alimentation externe), de 5V (alimentation USB) et peut être comprise entre 3V et 4.2V lorsque seul l'accumulateur est branché au circuit.

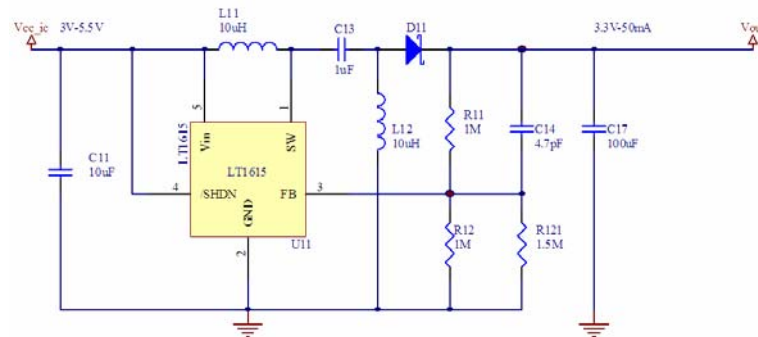


Figure n°7.16 : Schéma de l'alimentation stabilisée

Le circuit utilise une contre-réaction sur le pin FB. Le diviseur de tension formé par les résistances R_{11} , R_{12} et R_{121} . La tension mesurée par le pin FB est comparée à une référence de tension interne d'environ 1.23V.

Le module Wireless nécessite une tension minimum de 2.7V pour être programmé. Pour éviter de partir en saturation lorsque le circuit consomme du courant on a choisi une tension d'alimentation de 3.3V pour avoir une certaine marge.

Le dimensionnement des résistances R_{11} , R_{12} et R_{121} s'effectue de la manière suivante, tirée de [7.5] :

$$R_{11} = [R_{11} // R_{121}] \cdot \left[\frac{V_{out}}{1.23} - 1 \right]$$

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

On peut donc aisément calculer le rapport qui unit entre R_{11} et $R_{12} // R_{121}$.

$$\frac{R_{11}}{R_{11} // R_{121}} = \frac{3.3}{1.23} - 1 = 1.68$$

On a donc choisi les valeurs de résistances suivantes :

$$R_{11} = 1M\Omega \quad R_{21} = 1M\Omega \quad R_{121} = 1.5M\Omega$$

On connaît alors la tension de sortie de l'alimentation stabilisée :

$$1.23 \cdot \left[\frac{R_{11}}{R_{11} // R_{121}} + 1 \right] = 3.28V$$

Note_7_1 :

Un point important sur lequel il faut être conscient lors de la réalisation software est le courant consommé par le circuit à tout instant. En effet, l'alimentation a été conçue pour des courants ne dépassant pas les 50 à 60mA. Or, le circuit est équipé de LEDs, capables de consommer un courant généreux de l'ordre de 43mA quand celle-ci sont toutes allumées. Il est donc évident qu'il est nécessaire de les éteindre au moment des mesures pour limiter aux maximums les perturbations dues à des transitoires qui peuvent fausser les mesures.

7.3. Moniteur de courant de charge

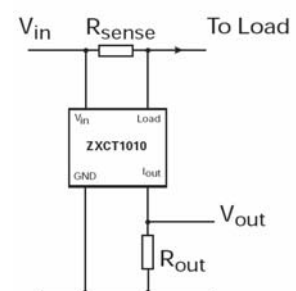
Le moniteur de courant utilisé est une ZXCT1010. Il utilise une résistance de faible valeur qui convertit le courant de charge en tension. La tension obtenue est alors amplifiée et référencée à la terre. Le schéma proposé est celui de la figure n°7.17.

Le dimensionnement des résistances R_{sense} et R_{out} s'effectue grâce au formule tirée de [7.7].

On nous donne :

$$V_{sense} = V_{in} - V_{load}$$

$$V_{out} = 0.01 \cdot V_{sense} \cdot R_{out}$$



En pleine charge, on cherche à avoir une tension aux bornes de R_{sense} de 100mV au maximum, ceci pour ne pas perturber le circuit de charge. Connaissant le courant maximum de l'ordre de 1000mA, il est donc possible de calculer cette valeur comme le montre l'équation ci-dessous.

Figure n°7.17 : Moniteur de courant de charge

$$R_{sense} = \frac{U_{sense} | I_{max}}{I_{max}} = 100m\Omega$$

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

On cherche maintenant à avoir une valeur légèrement inférieure à la pleine échelle du convertisseur A/D lorsque le courant est à son maximum.

$$R_{out} = \frac{V_{out}}{0.01 \cdot V_{sense}} = \frac{2}{0.01 \cdot 100 \cdot 10^{-3}} = 2k\Omega$$

On a donc réalisé le circuit présenté à la figure n°7.18. Il est possible de ne pas insérer le moniteur de courant dans le montage. Si c'est le cas, il est néanmoins nécessaire d'ajouter un court circuit à la place de la résistance R_{test} dans le schéma (équivalent à la résistance R_{sense} dans les calculs ci-dessus).

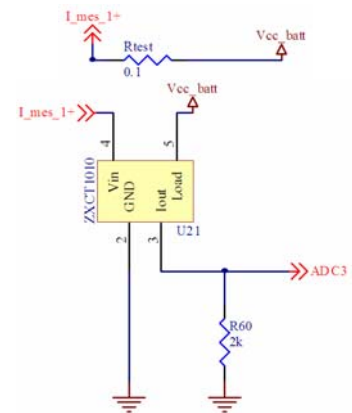


Figure n°7.18 : Moniteur de courant de charge

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

8. Traitement des données émise le module Wireless

Pour pouvoir contrôler les paquets de données envoyés depuis l'Urban Sensing Node jusqu'à un autre module wireless, on utilise un port série virtuel qui est fourni par les librairies offertes avec Boomerang. Boomerang est le software all-in-one qui est fourni pour le Tmote Sky dans sa version windows. Une fois le logiciel installé, il est possible d'utiliser un lecteur universelle de port série en choisissant les paramètres adéquats du port. La configuration requise est la suivante :

Paramètres	Valeur
Débit	57600
Bits de données	8
Parité	Aucun
Bits de stop	1
Contrôle du flux de donnée	Aucun

Figure n°8.1 : Configuration requise du port série

Une fois les données reçues et converties en fichier texte, on peut déterminer la forme des paquets en tirant les informations de l'exemple proposé ci-dessous :

1a	01	08	9d	ff	ff	ff	ff	0a	7d	01	00	44	02	00	00	e0	03	e0	03	e0	03	e0	03	e0	03	e0	03	e0	03	e1	03	e1	03		
1a	01	08	9e	ff	ff	ff	ff	0a	7d	01	00	44	02	01	00	eb	1c	ec	1c	eb	1c	ec	1c	eb	1c	ec	1c	eb	1c	ec	1c	ea	1c		
1a	01	08	9f	ff	ff	ff	ff	0a	7d	01	00	44	02	02	00	1f	02	24	02	23	02	23	02	1f	02	1f	02	1c	02	1b	02	20	02		
1a	01	08	a0	ff	ff	ff	ff	0a	7d	01	00	44	02	03	00	69	01	69	01	6e	01	6a	01	69	01	68	01	6e	01	68	01	6e	01	1c	01
1a	01	08	a1	ff	ff	ff	ff	0a	7d	01	00	44	02	04	00	07	0c	fb	0b	f9	0b	08	0c	fb	0b	f9	0b	fb	0b	08	0c	0e	0c	07	0c
1a	01	08	a2	ff	ff	ff	ff	0a	7d	01	00	44	02	05	00	10	0b	11	0b	15	0b	24	0b	11	0b	18	0b	12	0b	15	0b	11	0b	11	0b
1a	01	08	a3	ff	ff	ff	ff	0a	7d	01	00	4e	02	00	00	e1	03	e1	03	e1	03	e2	03	e1	03	e2	03	e1	03	e2	03	e2	03	e2	03
1a	01	08	a4	ff	ff	ff	ff	0a	7d	01	00	4e	02	01	00	ea	1c	ea	1c	ea	1c	e9	1c	e9	1c	ea	1c	ea	1c	ea	1c	ea	1c	e9	1c
1a	01	08	a5	ff	ff	ff	ff	0a	7d	01	00	4e	02	02	00	1e	02	09	02	0a	02	10	10	11	02	0e	02	1e	02	27	02	26	02	24	02
1a	01	08	a6	ff	ff	ff	ff	0a	7d	01	00	4e	02	03	00	69	01	70	01	69	01	6c	01	6e	01	69	01	69	01	72	01	69	01	32	01
1a	01	08	a7	ff	ff	ff	ff	0a	7d	01	00	4e	02	04	00	fb	0b	26	0c	f9	0b	08	0c	24	0c	f9	0b	fb	0b	0c	0c	f9	0b	27	0c
1a	01	08	a8	ff	ff	ff	ff	0a	7d	01	00	4e	02	05	00	18	0b	16	0b	1e	0b	15	0b	21	0b	f9	0b	fb	0b	18	0b	16	0b	06	0b

Compteur

Canal de mesure

Mesures codées sous 16 bits en Little Indian

Figure n°8.2 : *Format des données envoyées pas le port série*

Le but du travail n'étant pas de fournir une solution software à l'enregistrement des ces données, on a principalement utilisé les outils fournit par Boomerang afin d'afficher les résultats des mesures sous leur forme.

On ajoutera qu'un programme réalisé sous Labview a été réaliser pour afficher les données, le but de ce programme étant de pouvoir calculer facilement la transformée de Fourier du signal mesuré grâce au microphone.

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre Superviseur: Henri Dubois-Ferrière

8. Validation du circuit

On a utilisé 2 types de programmes sous TinyOs afin de valider le circuit. Le premier programme [8.1] permet de faire bouger facilement les pins initialisés comme des ports numériques. En affichant les résultats avec un oscilloscope on a ainsi pu contrôler le bon fonctionnement de la partie numérique du circuit. On entend par là les pins et leurs fonctions respectives, définies à la section 4.2 et présentés dans le tableau ci-dessous :

Nom du pin	Fonction du pin	Type de pin	Validation
USEL	Réglage de l'intensité du courant de charge	sortie	oui
ENABLE_CHARGE	Activation/Arrêt du chargeur de courant	sortie	oui
ENABLE_MIC	Activation/Arrêt du bloc de mesure audio	sortie	oui
ENABLE_MSG	Activation/Arrêt du bloc de mesure d'ozone	sortie	oui
CHARGE_CHECK	Monitoring de charge de l'accumulateur	entrée	oui
HEAT_MSG	Chauffage du capteur d'ozone (sous forme PWM)	sortie	oui
CHECK_USB	Test de la présence de l'alimentation USB	entrée	oui
CHECK_EXT_SUPPLY	Test de la présence de l'alimentation externe	entrée	oui

Figure n°8.1 : Pin numérique et leur fonction, validé avec [8.1]

Le second programme permet de transmettre et d'afficher les grandeurs analogiques d'entrée, sous forme d'oscilloscope, codées sous 12 bits. Cette fois-ci, on a pu faire qu'une validation partielle des entrées analogiques. En effet, le circuit de mesure du taux d'ozone nécessite des investigations supplémentaire quand au choix de la résistance R_{20} . Cette résistance détermine l'amplitude maximum de sortie du circuit de mesure d'ozone. Vu qu'il paraît nécessaire de réaliser des tests à des taux d'ozone variés, le circuit n'est pas considéré comme validé vu que ce n'a pas été fait.

Note_8_1 : *Une idée pour modifier le taux d'ozone aux abords du circuit serait de le tester près d'une imprimante laser car ce type d'imprimante dégage de l'ozone. A essayer...*

La sortie du block audio a, quand à elle, été validée à très basse fréquence mais n'a pas encore été validée en enregistrement DMA. Finalement, on peut présenter le tableau ci-dessous, témoin de la validation de la partie analogique du système :

Nom du pin	Fonction du pin	Type de pin	Validation
MIC_OUT	Sortie du block audio	entrée	oui, sauf dma
MSG_OUT	Sortie du block de mesure d'ozone	entrée	non
CURRENT_CHARGE	Mesure du courant de charge	entrée	oui
MES_BAT	Mesure de la tension aux bornes de la batterie	entrée	oui

Figure n°8.2 : Pin analogique et leur fonction, validé avec [8.2]

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

9. Remarques et conclusion

L'intérêt de ce projet est tout d'abord le côté pluridisciplinaire des tâches qu'il intègre. La partie électronique comprend du dimensionnement du circuit, du routage, ainsi que la soudure des composants qui a été réalisé pour le premier prototype. La partie mécanique avec l'utilisation d'un CAD 3D a permis le placement des éléments sur le circuit, des capteurs dans le boîtier ainsi que de l'interface avec la carte Tmote Sky. Finalement la partie software a permis de valider la majeure partie du circuit.

A la fin de ce projet de semestre, l'ensemble des fichiers permettant la réalisation d'une petite série de circuit a été fournie. Il comporte les fichiers suivants:

- Fichiers Gerber généré par Protel, permettant la réalisation des circuits imprimés ;
- Fichiers de placement des composants ;
- « Bill of Material » généré par Protel;
- Plan de perçage du boîtier;

Ces éléments sont d'ailleurs disponibles dans la partie Annexe de ce rapport.

Il reste encore une partie de validation à effectuer sur le circuit. C'est principalement la partie de la mesure d'ozone qui reste à finaliser, comme décrit au chapitre n°8.

Finalement, je tiens à remercier M.Henri Ferriere-Dubois pour sa participation active tout au long du projet et pour sa disponibilité.



Laurent Fabre

Date : 30 juin 2006

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur : Henri Dubois-Ferrière

10. Bibliographie

- [1.1] **Corinne Schadkowski.** *Mesure d'ozone en air intérieur.*
<http://www.appanpc-asso.org/Etudes/O3boitesacopies.asp>, 2006.
- [2.1] **Kévin Drapel et Cyril Jaquier.** *Using bluetooth to control a yamor modular robot.*
<http://birg.epfl.ch/page56602.html>, 2005.
- [2.2] **Laurent Fabre et Grégoire Chablotz.** *Wireless sensor interface using Bluetooth® technology*, rapport de semestre été 2005.
- [2.3] **Evans-Pughe, C.** *Bzzzz zzz [ZigBee wireless standard]*, IEE Review, Volume 49, Issue 3, March 2003. Page(s):28 – 31
- [2.4] **Egan, D.** *The emergence of ZigBee in building automation and industrial control*, Computing & Control Engineering Journal, Volume 16, Issue 2, April-May 2005. Page(s):14 – 19.
- [2.5] **RFDESIGN.** http://rfdesign.com/issue_200603012/ avril 2006.
- [3.1] **Tmote Sky.** <http://www.moteiv.com/products/docs/tmote-sky-datasheet.pdf>, 2006.
- [3.2] **D. Grini.** *CC2420 with external PA.*
http://www.chipcon.com/files/AN_037_CC2420%20with%20external%20%20PA.pdf, 2006.
- [5.1] **Panasonic.** *WM-61.*
http://www.panasonic.com/industrial/components/pdf/em06_wm61_a_b_dne.pdf, 2006.
- [5.2.] **Silsens.** *MSG3 3003 Ozon Gas Sensor*, 2006.
- [6.1] **Fibox.** *PC 95/35 LT.* http://catalogs.fibox.com/catalogs/images/datasheet/6012931_ENG1.pdf, 2006.
- [7.1] **MAXIM.** *MAX1874.* <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/MAX1874.pdf>, 2006.
- [7.2] **MAXIM.** *MAX1874 Evaluation Kit.* <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/MAX1874EVKIT.pdf>, 2006.
- [7.3] **Analog Device.** *SSM2167.*
http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/35641221898805SSM2167_b.pdf, 2006.
- [7.4] **Analog Device.** *AN-583.*
http://www.analog.com/UploadedFiles/Evaluation_Boards/Tools/81037287AN583.pdf, 2006.
- [7.5] **Linear technology.** *LT1615.*
<http://www.linear.com/pc/downloadDocument.do;jsessionid=Egn1uBDsFeyB8ueDNIISDFWDiR1TS5NIYTbEUq7JIWWACKqckBBd!1288348035?navId=H0,C1,C1003,C1042,C1035,P1775,D3577>, 2006.
- [7.6] **Linear technology.** *Power Management and Wireless Solutions for Handheld Applications.*
<http://www.linear.com/pc/downloadDocument.do;jsessionid=Egn1uBDsFeyB8ueDNIISDFWDiR1TS5NIYTbEUq7JIWWACKqckBBd!1288348035?navId=H0,C1,C1003,C1042,C1035,P1775,D4708>, 2006.
- [7.7] **ZETEX.** *Zetex1010.* <http://www.zetex.com/3.0/pdf/ZXCT1010.pdf>, 2006
- [8.1] `C:\cygwin\svn\mote\apps\TestPins`

Wireless Urban Sensing Node

Etudiant : Laurent Fabre Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

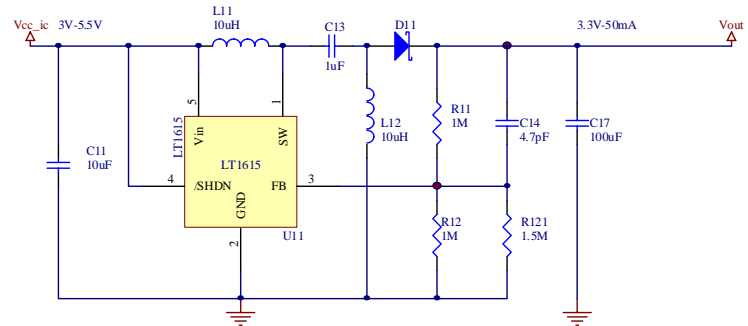
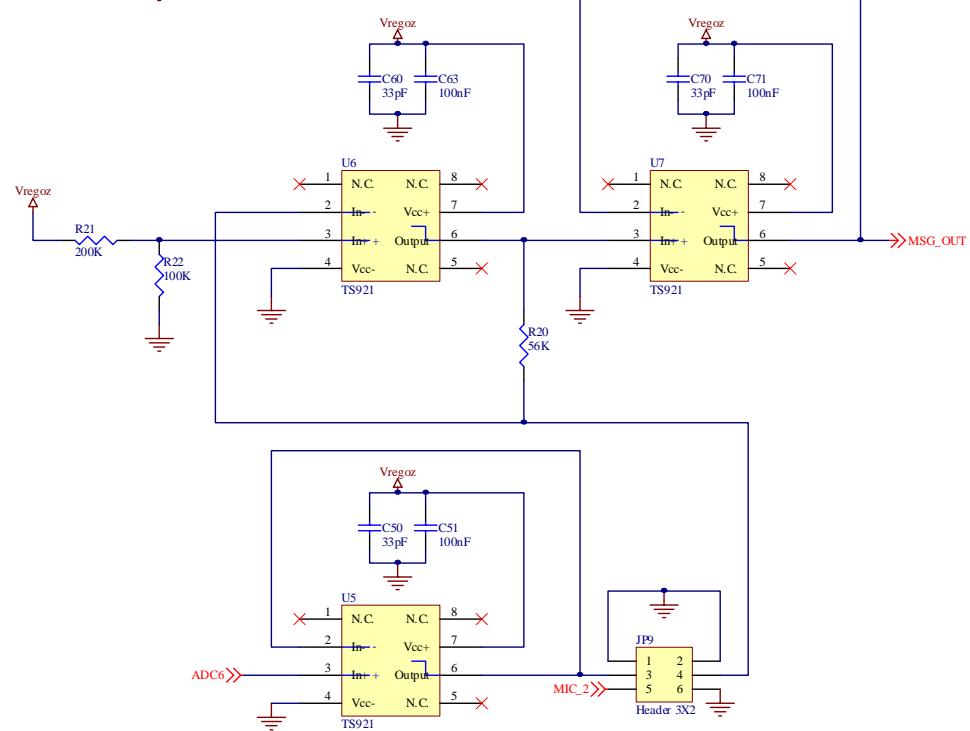
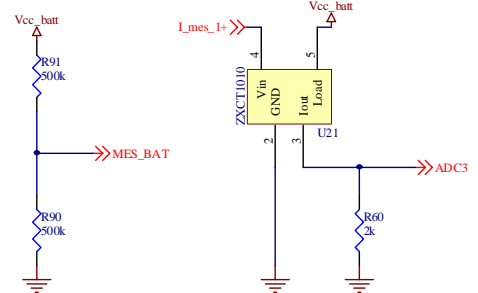
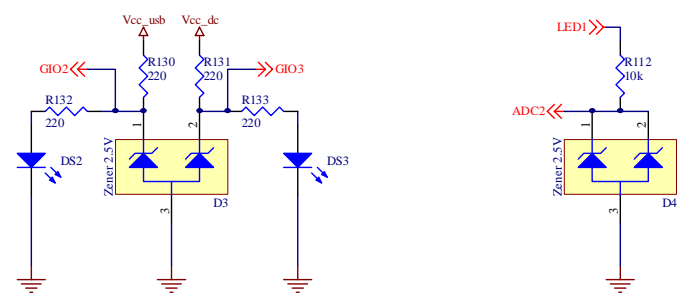
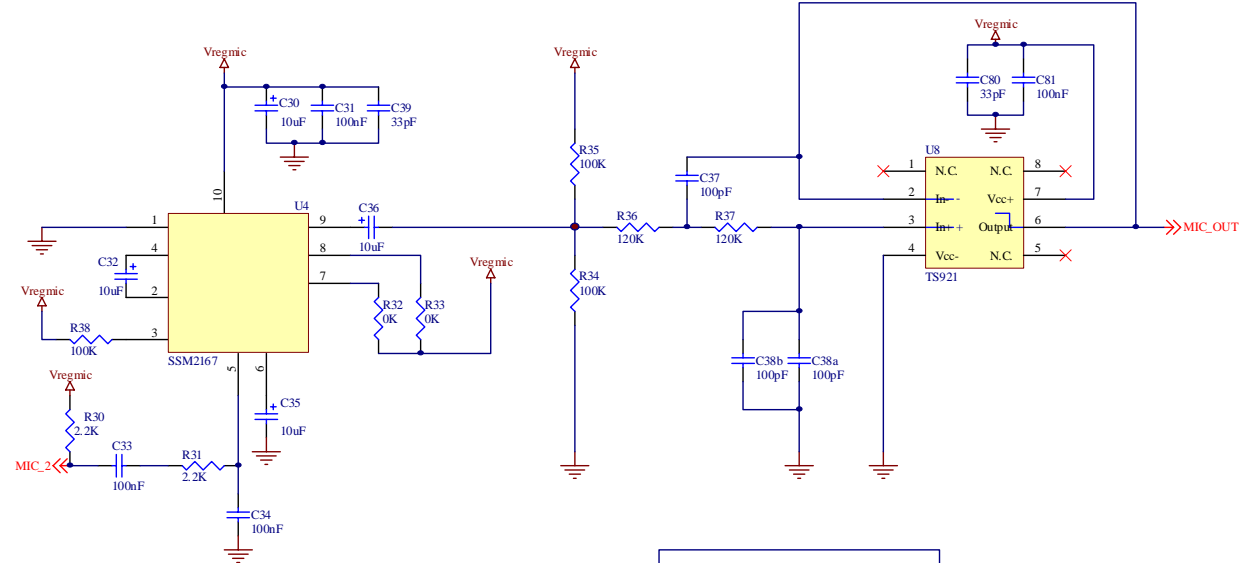
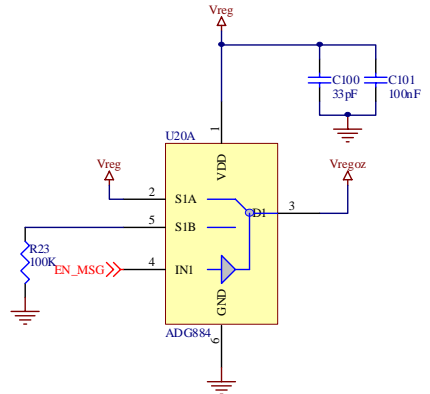
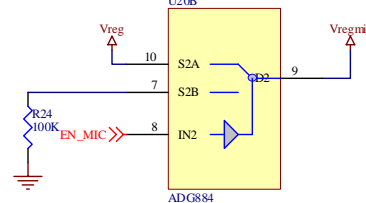
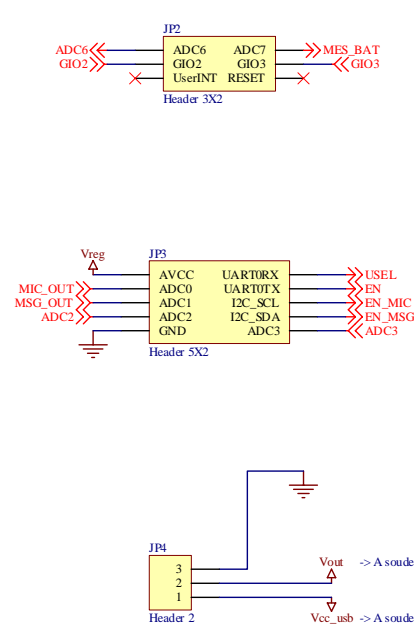
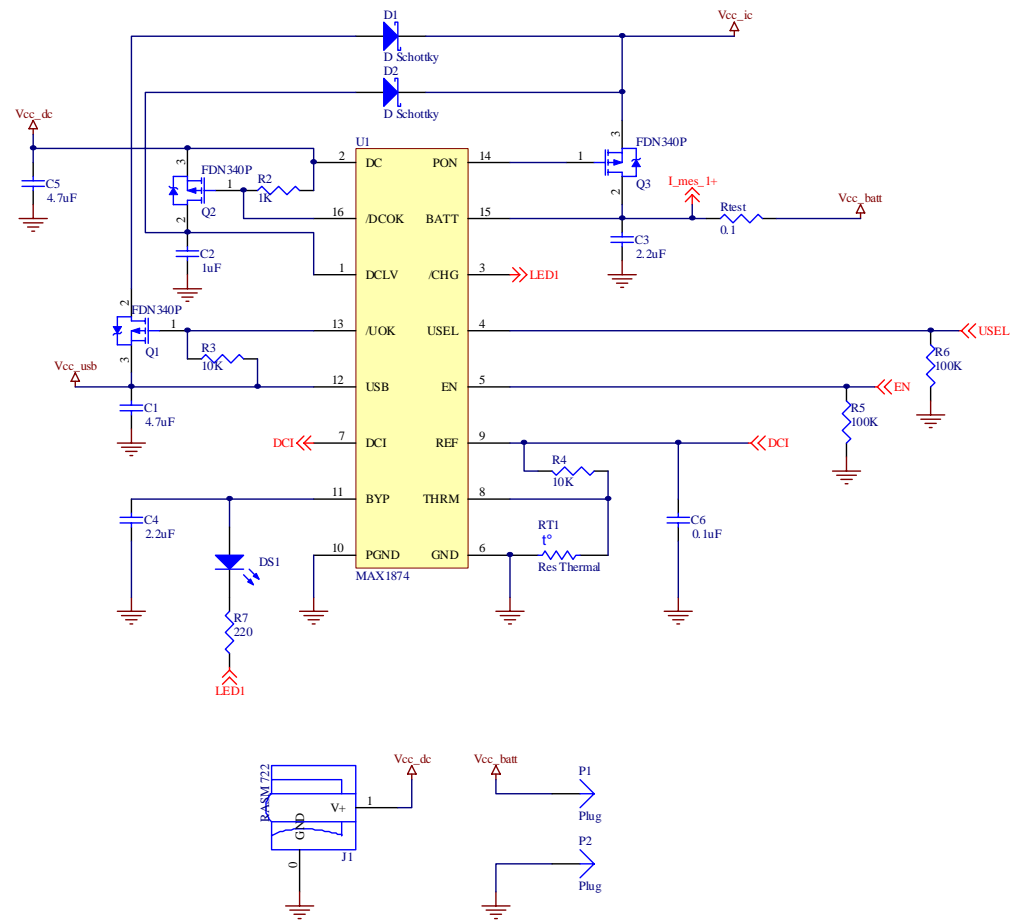
[8.2] C:\cygwin\opt\moteiv\apps\Oscilloscope

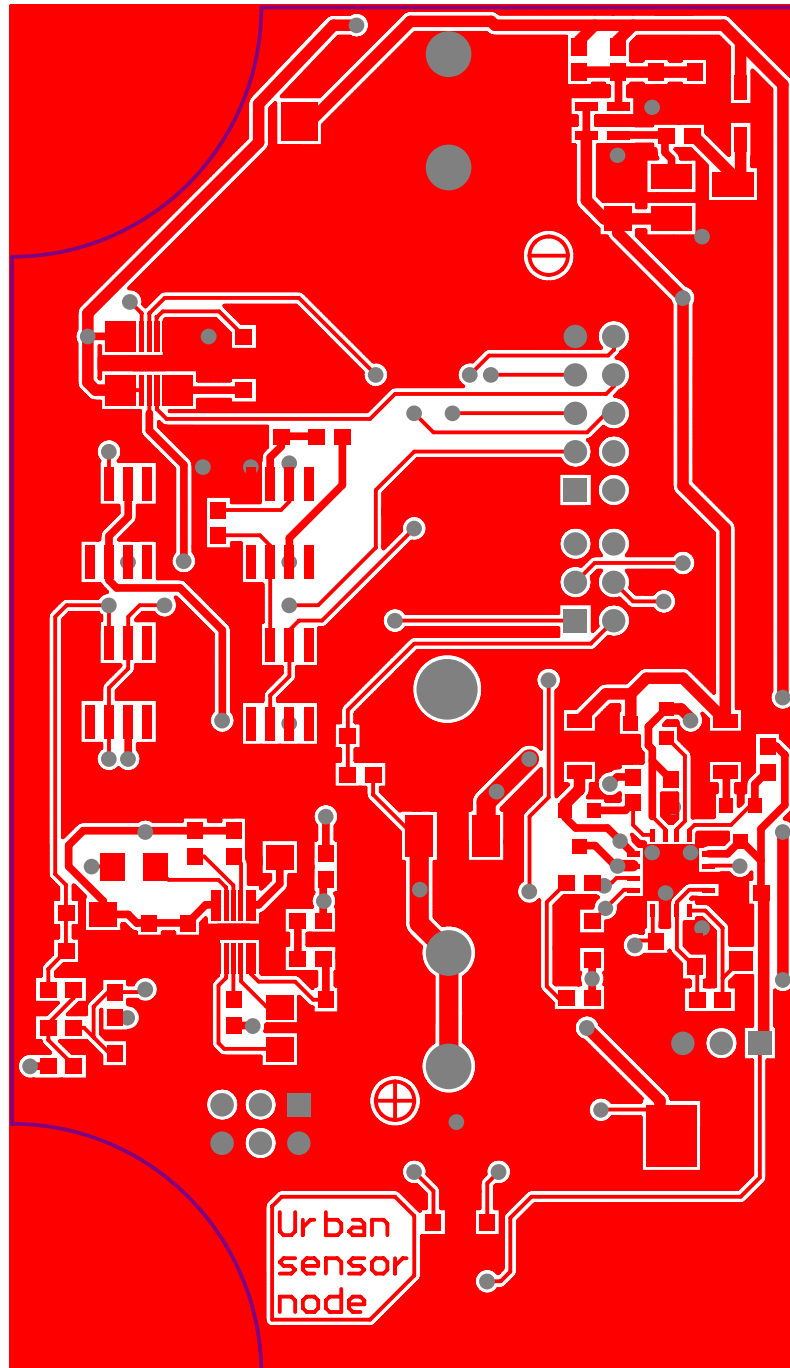
Wireless Urban Sensing Node

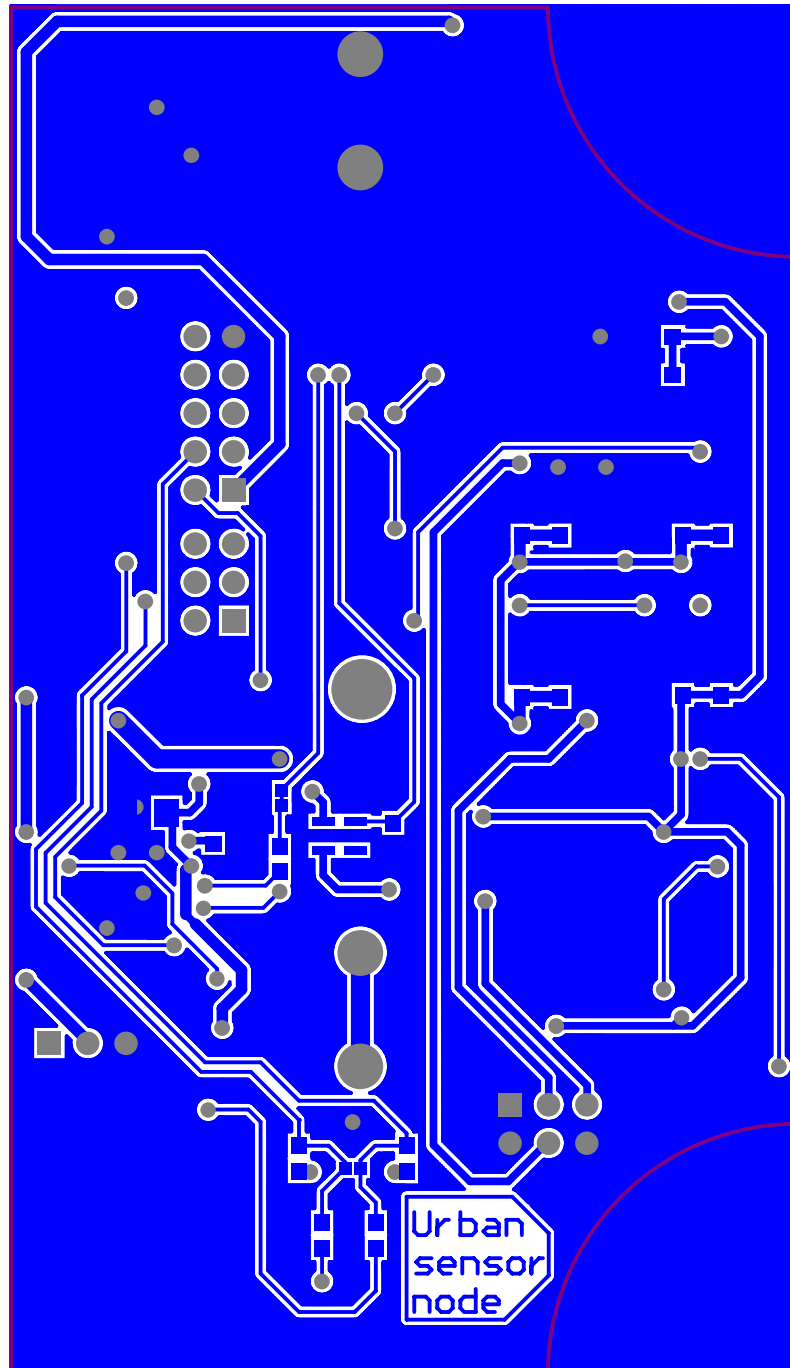
Etudiant : Laurent Fabre Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

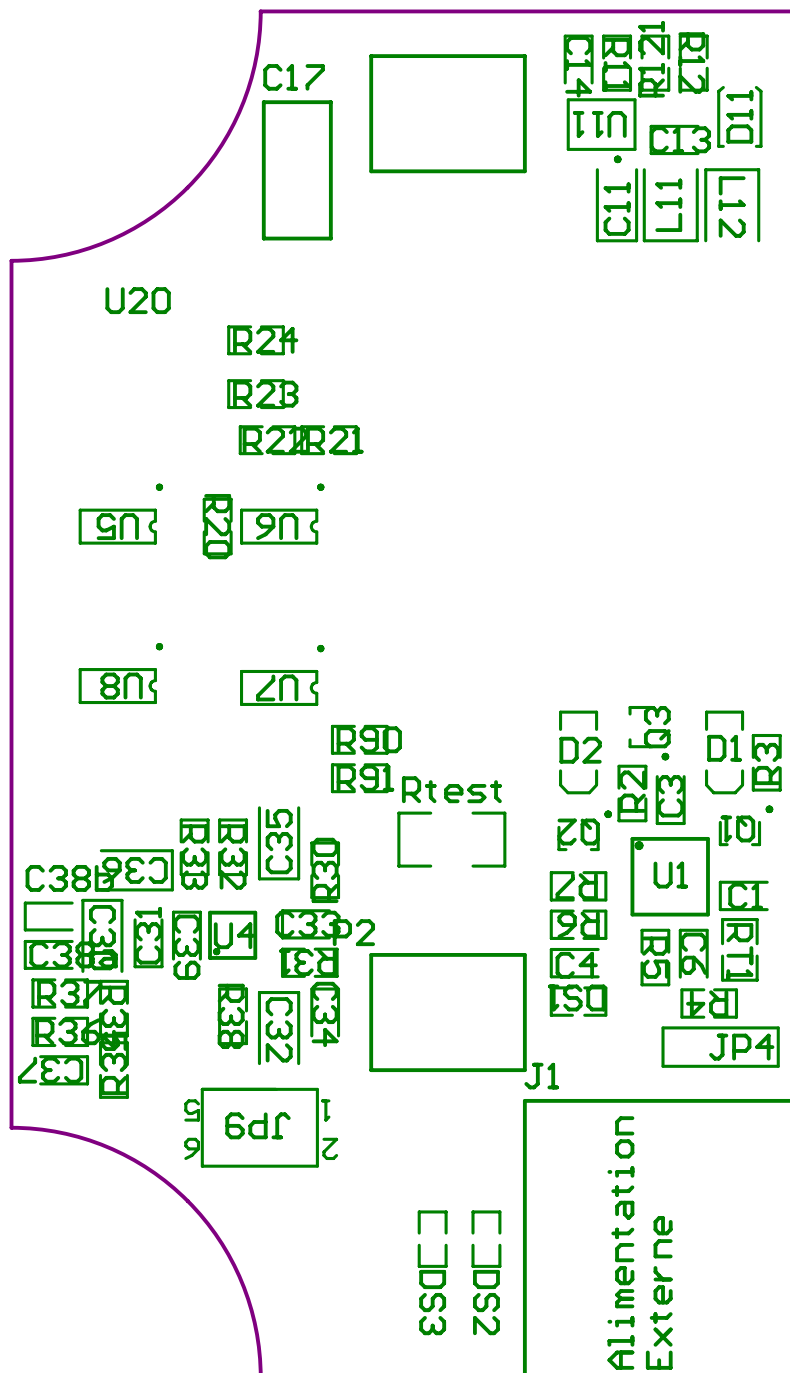
11. Annexes

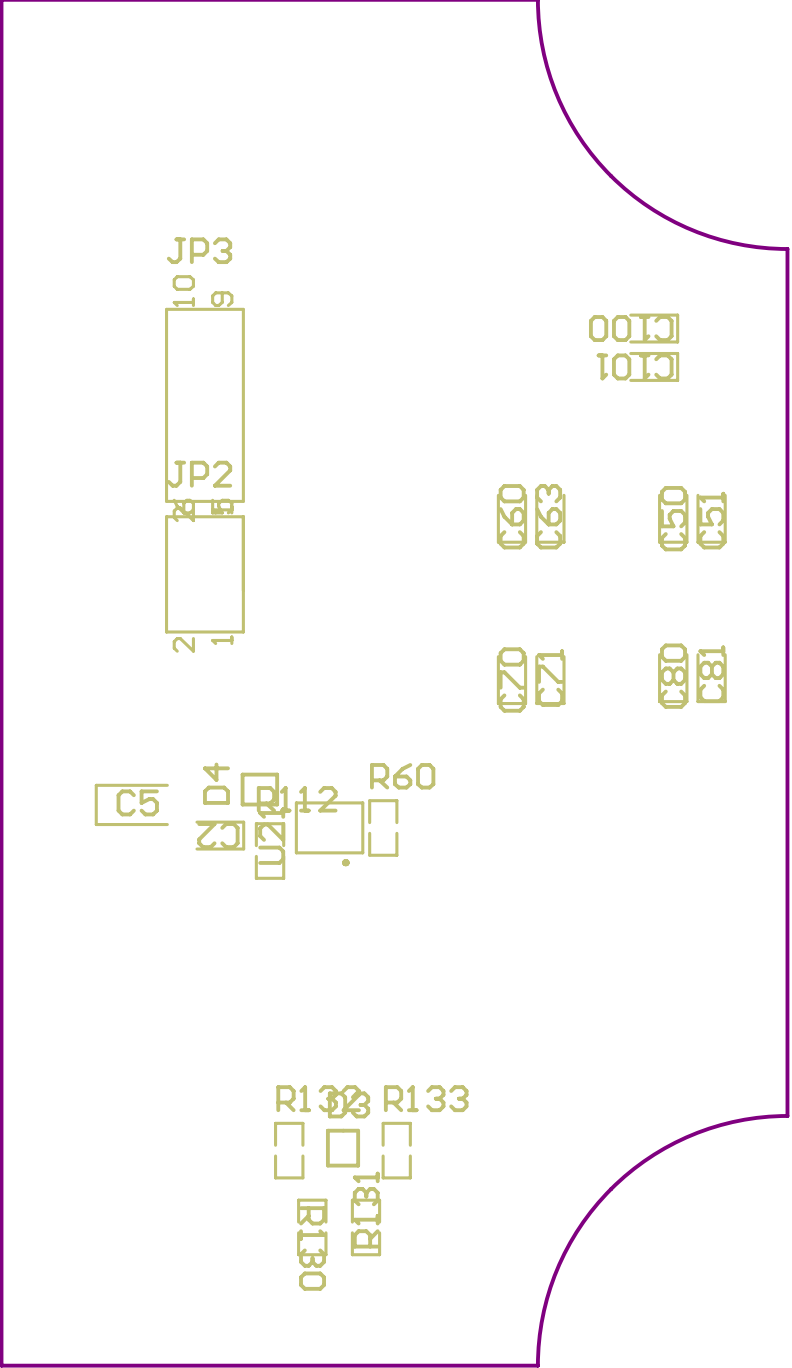
- 11.1. Schéma et plan d'implantation de l' « Urban Sensing Node »
- 11.2. Schéma et plan d'implantation du « Sensor Board »
- 11.3. Plan de perçage du boîtier
- 11.4. Images et cotations hors tout
- 11.5. Schéma de câblage entre l' « Urban Sensing Node » et le « Tmote Sky »

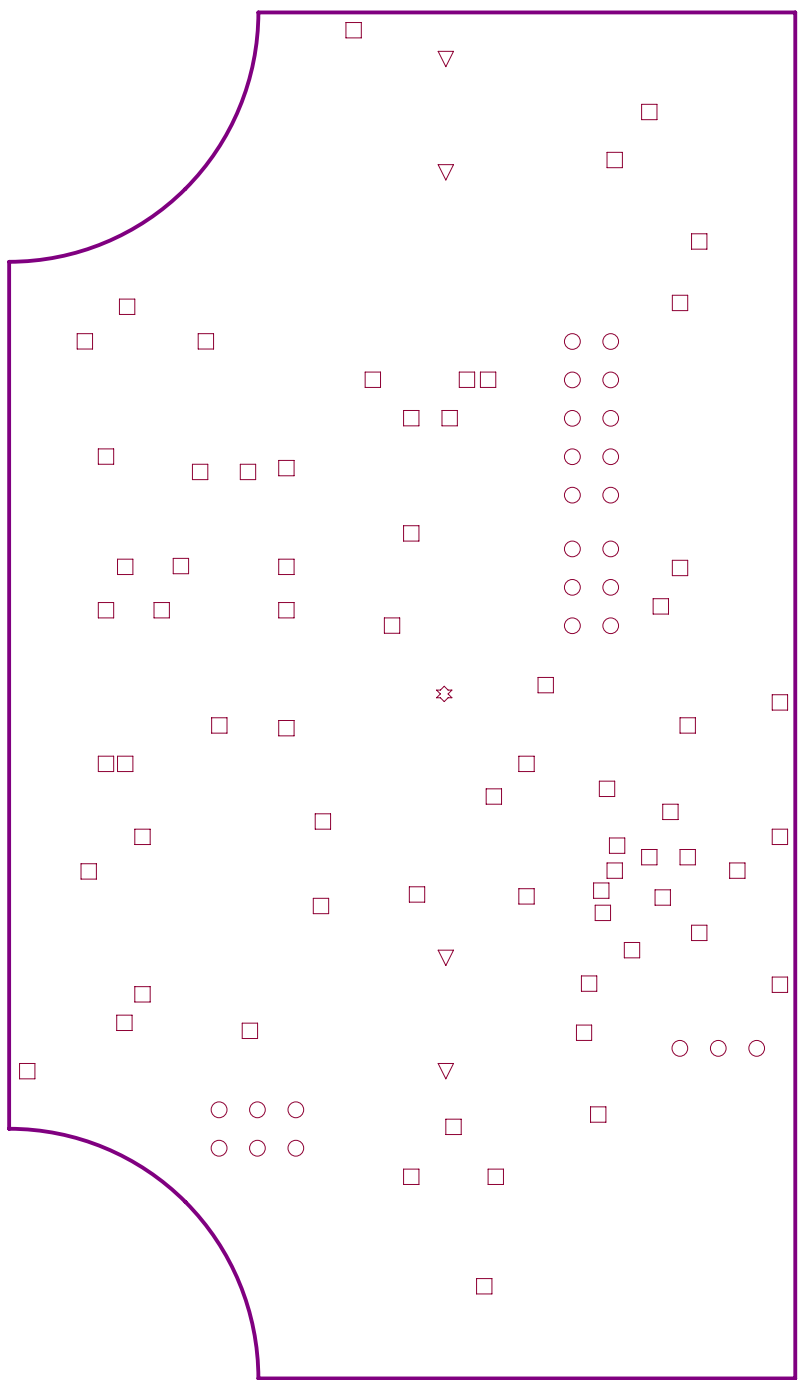


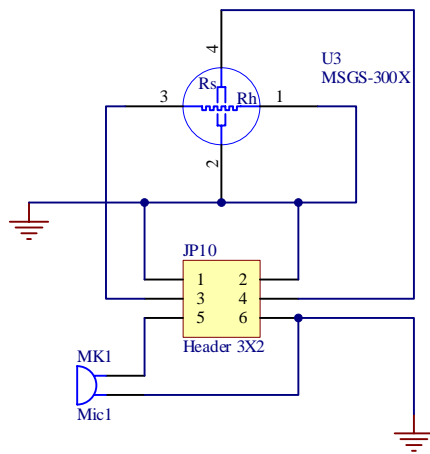




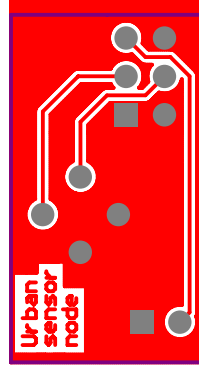


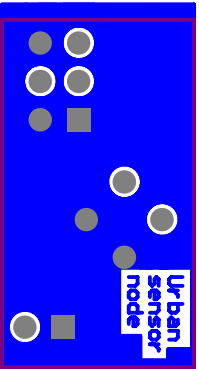


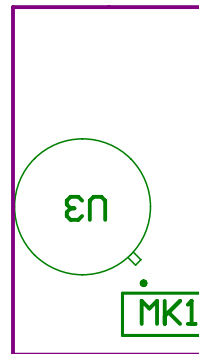


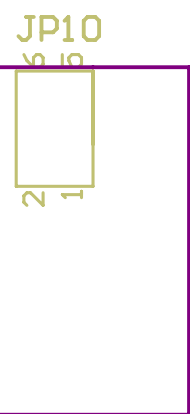


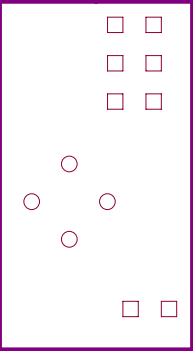
Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	30.06.2006	Sheet of
File:	C:\Laurent\.\Sheet1.SCHDOC	Drawn By:











1

2

3

4

A

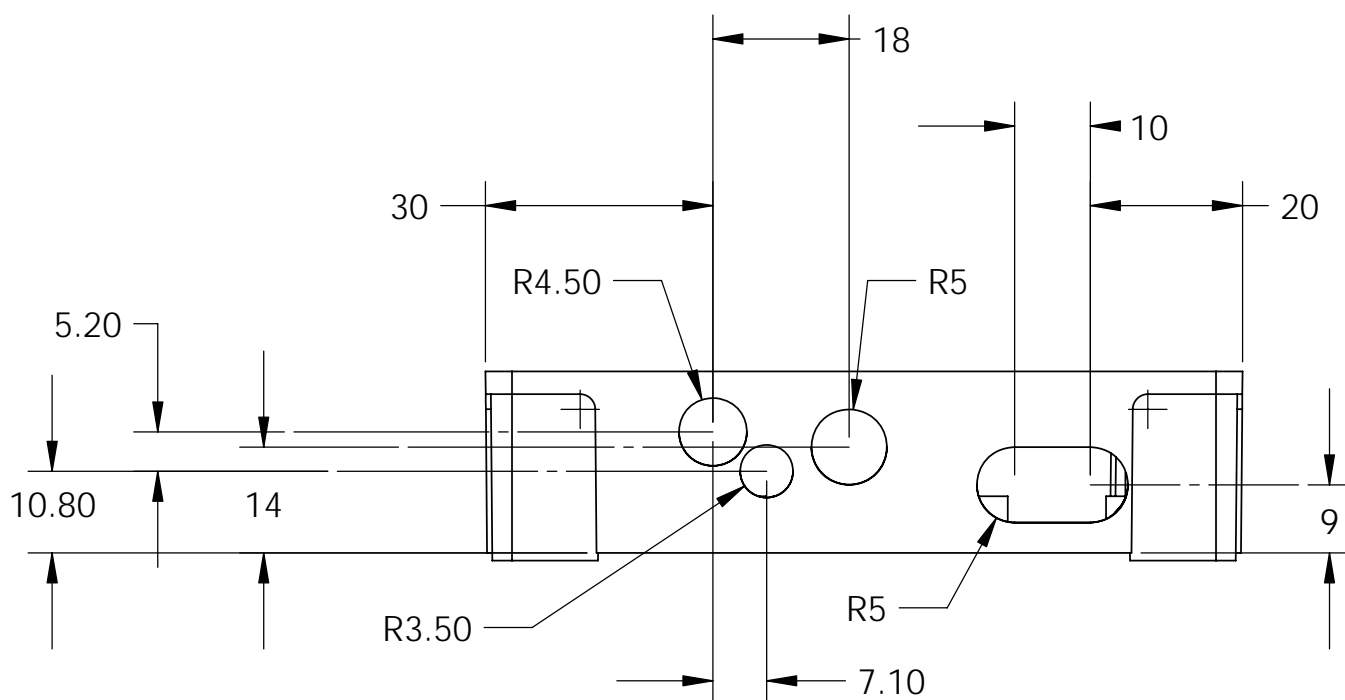
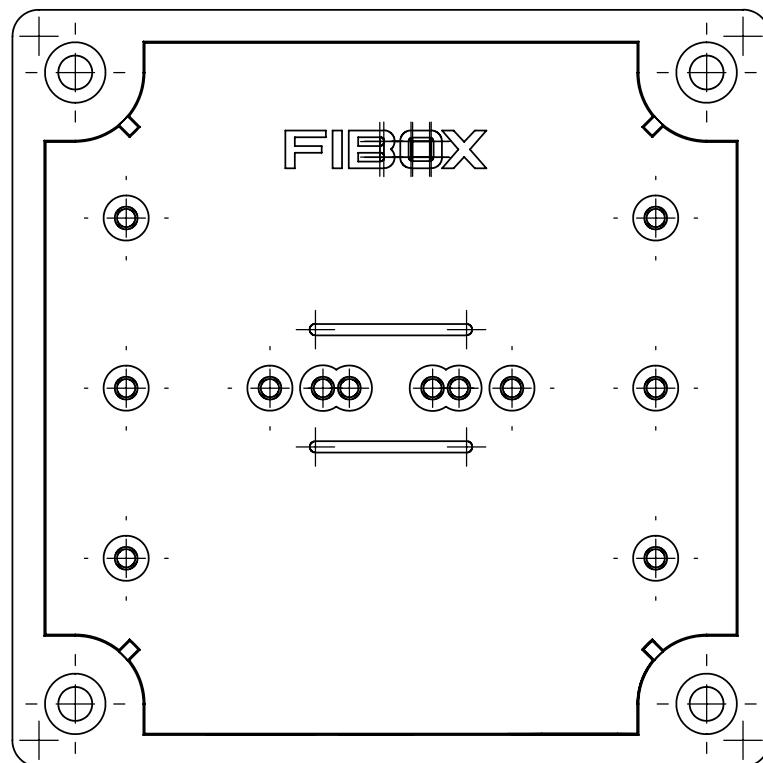
B

C

D

E

F



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

DWG NO:

FIBOX_MNX95LB

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

Annexes

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

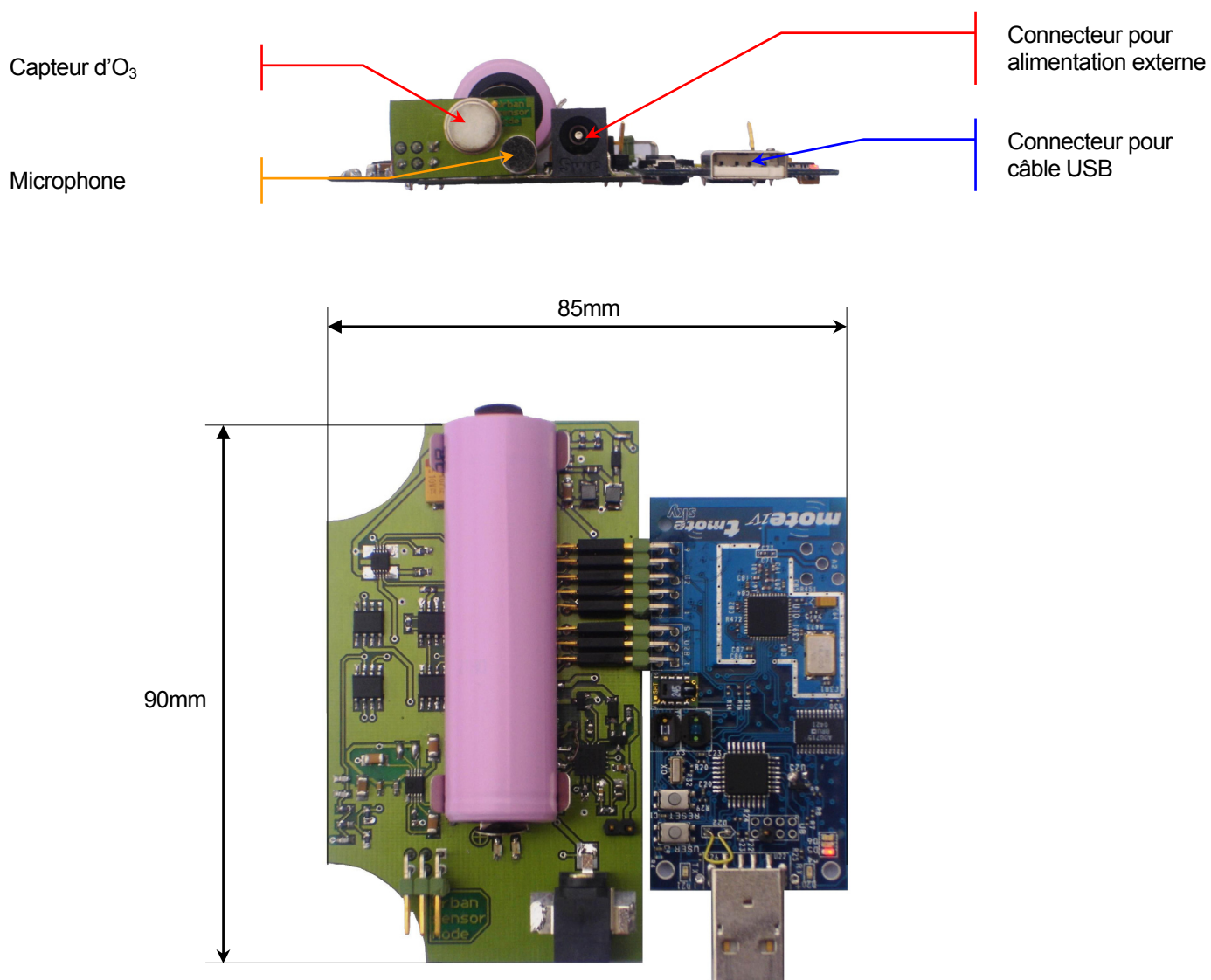


Figure n°A_1 : Dimensions et disposition des circuits connectés

Annexes

Etudiant : Laurent Fabre Superviseur : Henri Dubois-Ferriere

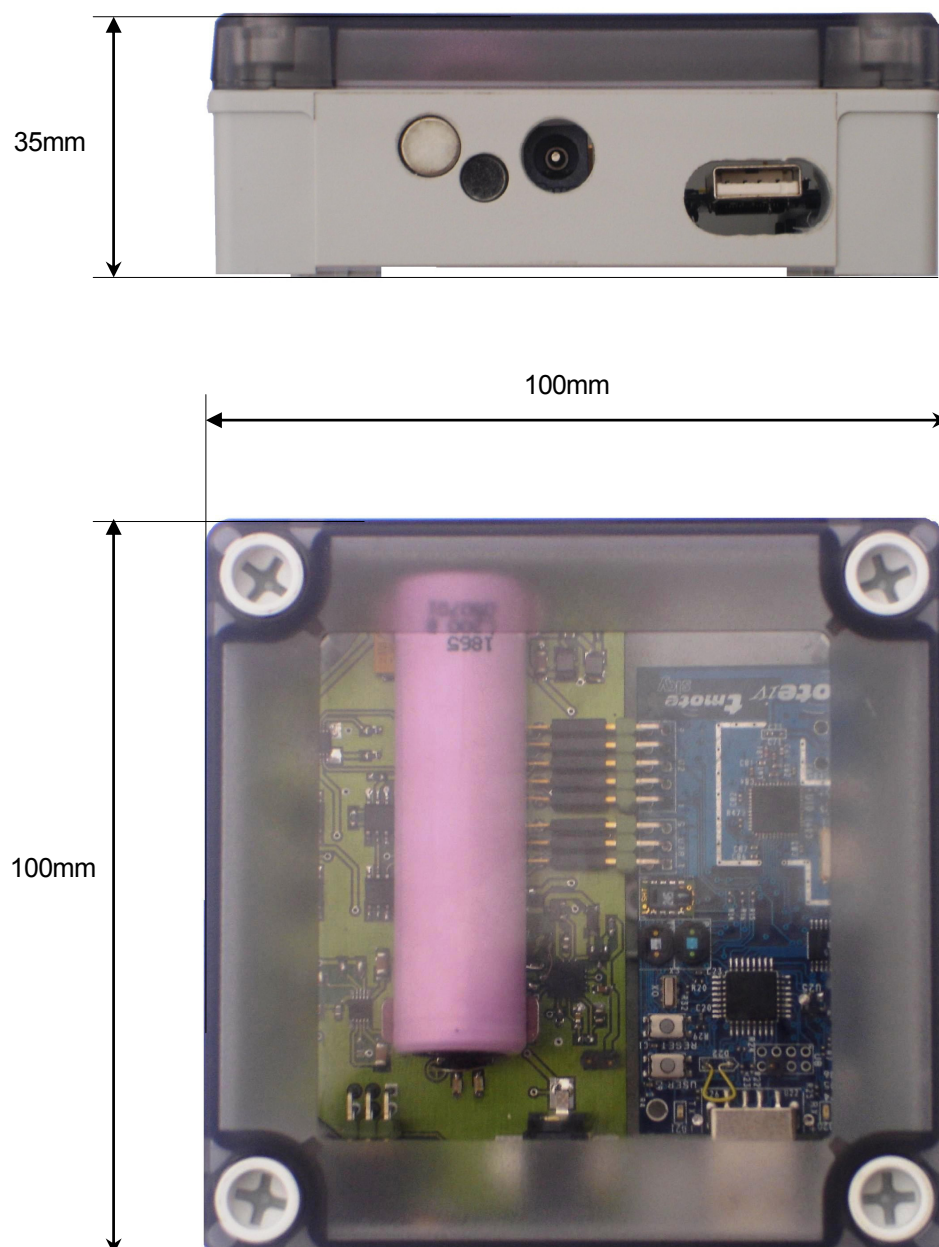


Figure n°A_2 : Dimensions et disposition du boîtier

Annexes

Etudiant : Laurent Fabre

Superviseur: Henri Dubois-Ferriere

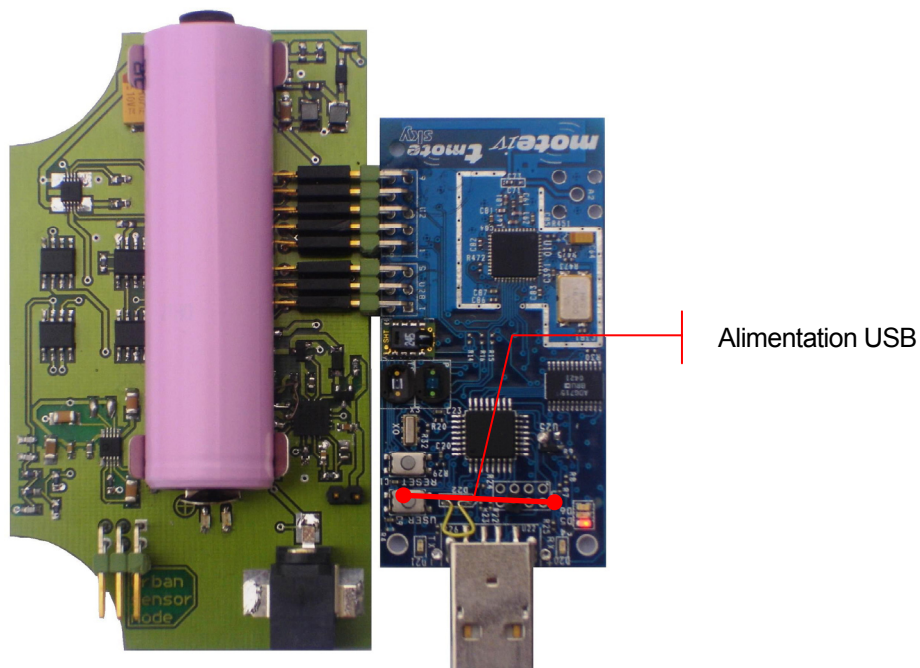


Figure n°A_3 : Connectique du premier prototype

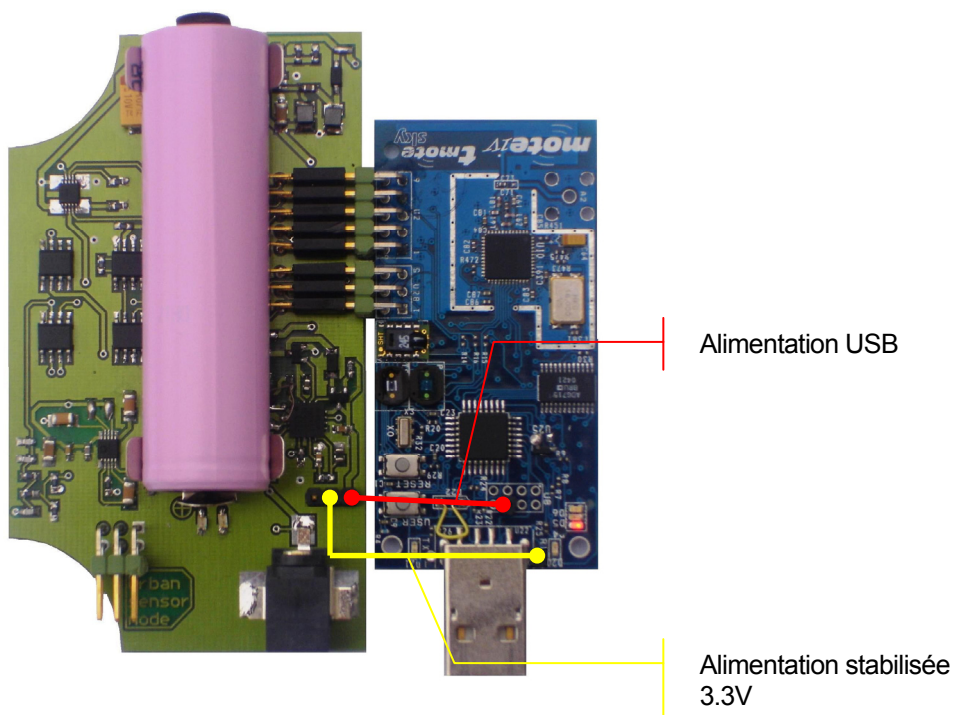


Figure n°A_4 : Connectique du modèle final