

RAPPORT DE STAGE TECHNICIEN 2007



IMPLANTATION D'UN MODULE BLUETOOTH

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon tuteur M. Giraud Pierre, responsable du service électronique, qui m'a proposé ce sujet de stage, et également pour la confiance qu'il a bien voulu m'accorder tout au long de ces deux mois.

Je souhaite remercier M. Magagnini Alain, ingénieur développement du service Electronique, pour sa disponibilité, ses conseils et son aide, notamment dans la réalisation de la carte.

D'autre part, je remercie Messieurs Cegarra José et Podkowa Stéphane, ingénieurs au sein de l'équipe Electronique qui ont pris le temps de répondre à mes interrogations. Ces deux personnes ont facilité mon intégration au sein de l'équipe.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	2
TABLE DES MATIERES	3
TABLE DES ILLUSTRATIONS ET ANNEXES.....	4
INTRODUCTION.....	5
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	6
1. Historique de SLE	6
2. Les domaines d'activités de SLE.....	8
3. Les produits SLE	11
CHAPITRE 2 : PRESENTATION DU PROJET DE TRAVAIL	12
1. L'équipe	12
2. L'environnement.....	12
3. La mission	13
CHAPITRE 3 : RAPPORT DE L'ACTIVITE	14
1. Choix technologique	14
2. Choix du composant	16
3. Développement	17
4. Tests de fonctionnement.....	23
CONCLUSION.....	26
ANNEXES	27

TABLE DES ILLUSTRATIONS ET ANNEXES

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : ORGANIGRAMME DU GROUPE MARK IV.....	6
FIGURE 2 : ORGANISATION DE SLE.....	7
FIGURE 3 : LES PRINCIPAUX PRODUITS SLE	11
FIGURE 4 : ORGANIGRAMME DE L'EQUIPE DE TRAVAIL.....	12
FIGURE 5 : LIAISON AVEC PC.....	16
FIGURE 6 : LIAISON AVEC LE MICROCONTROLEUR DU PANNEAU D'AFFICHAGE	17
FIGURE 7 : LPC2104 CONÇUE PAR EMBEDDED ARTISTS	18
FIGURE 8 : CONNECTEUR SUB - D9	19
FIGURE 9 : CARTE NXP	19
FIGURE 10 : BGB203	21
FIGURE 11: ADAPTATEURS HABITUELS.....	22
FIGURE 12 : CONVERTISSEUR USB-SERIE.....	24
FIGURE 13 : LOGICIEL DE PILOTAGE DU CONVERTISSEUR USB-RS232.....	25
FIGURE 14 : COMPORTEMENT AVANT DECOUPLAGE	32
FIGURE 15 : COMPORTEMENT APRES DECOUPLAGE	32
FIGURE 16 : CARTE PC	33
FIGURE 17 : CARTE MICROCONTROLEUR	34
FIGURE 18 : CONVERTISSEUR USB – RS232	35

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : COMPARAISON DE TECHNOLOGIES	27
TABLEAU 2 : EBAUCHE DE L'ETUDE DU MARCHE DES COMPOSANTS BLUETOOTH	28
TABLEAU 3 : EBAUCHE DE L'ETUDE DE MARCHE DES ANTENNES BLUETOOTH	28

INTRODUCTION

L'orientation de mon stage me destinait tout d'abord dans la maintenance de réseaux. Mais peu de temps avant ma prise de fonction, j'ai eu l'opportunité de travailler dans le service électronique de SLE. Ma mission chez SLE me semblait plus intéressante, car elle correspondait à ma spécialisation dans les systèmes embarqués. De cette façon, j'ai pu mettre en pratique certaines de mes connaissances, acquises lors de ma formation, mais aussi me familiariser avec une technologie en devenir.

Mon choix s'est alors orienté vers cette entreprise de taille humaine. Ce stage nécessite une bonne faculté d'intégration, à la fois dans une équipe, mais surtout dans un projet.

Le travail demandé requiert autonomie et confiance en soi. Une grande liberté m'est offerte dans les prises de décisions et l'organisation de mon temps de travail. Il correspond au futur emploi d'ingénieur auquel je me destine.

J'ai donc sept semaines pour mener une étude sur l'implémentation d'un module de communication sans fil, de courte portée, dans un panneau d'affichage lumineux. Ce futur produit sera utilisé par la RATP.

Dans un premier temps, il faudra choisir une technologie, puis un produit, en tenant compte des habitudes de la société. Ensuite, mon travail sera de faciliter la mise en service de cette communication. Chaque choix devra en outre être expliqué et justifié à mon tuteur.

Chapitre 1 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

SLE (Serel Luminator Europa) est une PME qui compte environ 70 personnes qui sont pour la plupart ingénieurs. Mais on y trouve également des techniciens et des commerciaux.

Parmi les clients de SLE, on trouve la RATP, ou des sociétés de gestion de réseaux de tramway. Les solutions SLE ont été installées et mises en service en France, en Angleterre, en Suisse, en Finlande, ainsi qu'aux Etats Unis.

L'activité peut se résumer en la conception de systèmes dits de « transports intelligents ». Ils peuvent être de trois types :

- systèmes d'aide à l'exploitation : SLE va permettre à la société qui exploite le transport, d'utiliser des technologies nouvelles. Par exemple, des transmissions de données Wi-Fi, ou une localisation GPS des tramways ;
- systèmes d'Informations Voyageurs : ce développement va aider l'utilisateur durant son trajet. On peut citer des panneaux d'affichage, des bornes d'informations, des services SMS ;
- systèmes d'Aide à l'Intervention : qui permettent de suivre les passagers en temps réel à l'aide de caméras de vidéosurveillance notamment.

1. Historique de SLE

La société d'origine, SEREL, a été achetée par Mark IV Industries en 1993, leader mondial dans les produits industriels des marchés de l'automobile et des transports. Ce groupe compte près de 8000 employés dans le monde, et génère un chiffre d'affaires annuel d'environ 1,5 milliards d'euros.

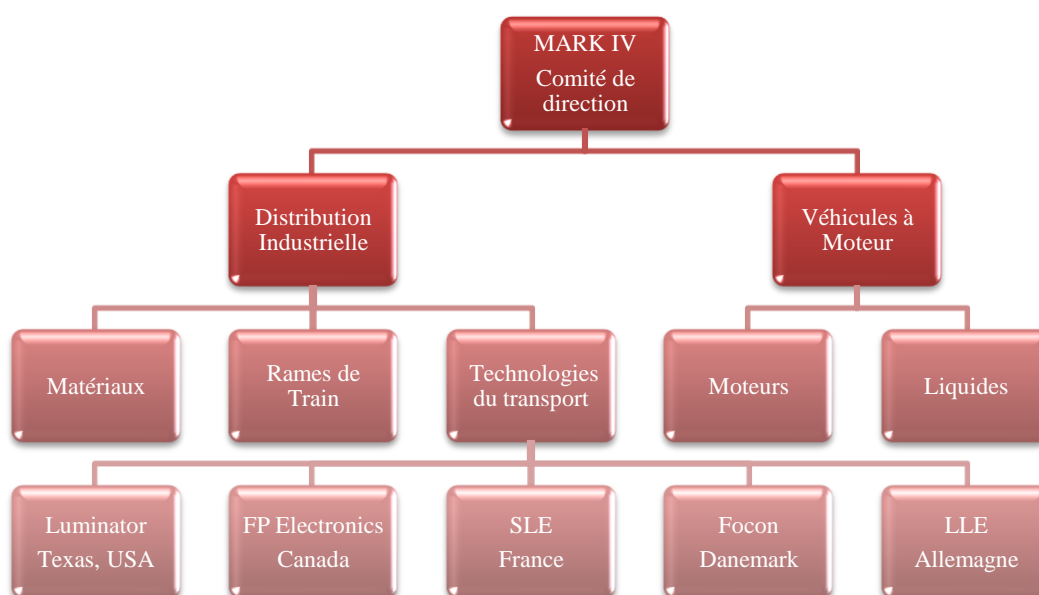


Figure 1 : Organigramme du groupe Mark IV

Pour SLE, la stratégie d'une affaire réussie est basée sur :

- une analyse précise, avec une étude des besoins ;
- un développement après validation par le client ;
- un essai en usine de tous les équipements ;
- une installation généralement effectuée avec l'assistance d'une société locale.

C'est pourquoi la société est divisée en pôles, chaque pôle assurant une partie du travail, depuis le premier contact avec le client, et ce jusqu'à la livraison.

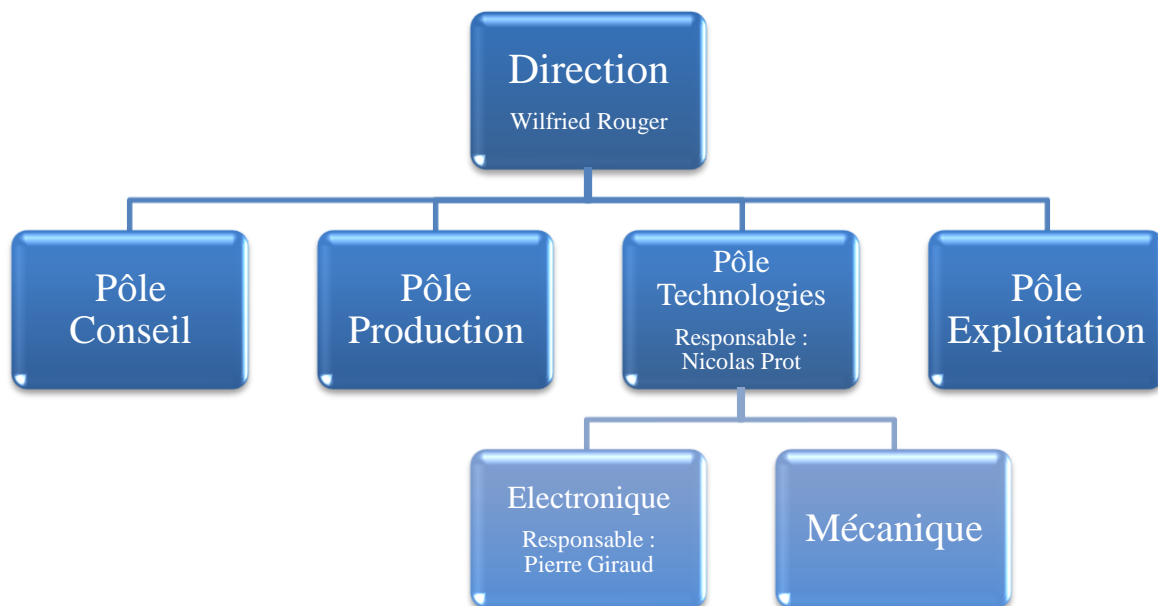


Figure 2 : Organisation de SLE

SLE assure également la maintenance de ses anciennes installations, en réalisant des mises à jour matérielles et logicielles.

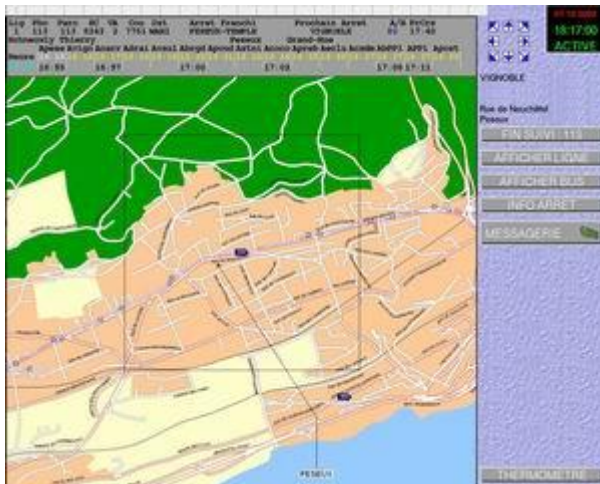
2. Les domaines d'activités de SLE

Pour gérer, informer et sécuriser, SLE propose aux gestionnaires de réseaux:

A. Des Systèmes d'Aide à l'Exploitation (S.A.E) :

Les réseaux de transports ont besoin de localiser les véhicules sur les lignes, de gérer le réseau, d'améliorer la sécurité des voyageurs et des conducteurs.

Ainsi, les systèmes d'aide à l'exploitation en temps réel de SLE permettent aux opérateurs et aux gestionnaires :



- ✓ de suivre et de localiser les véhicules par GPS ;
- ✓ de réguler le trafic à partir des horaires d'avance/retard en temps réel de chaque véhicule ;
- ✓ de gérer les messages d'alarmes, et ainsi d'intervenir rapidement ;
- ✓ d'effectuer des statistiques sur les données d'exploitation.

Les SAE sont basés sur une architecture ouverte et peuvent être personnalisés pour répondre aux besoins des clients.

Les échanges d'informations se font par :

- ✓ communication radio dédiée (2RP, 3RP TETRA), plus particulièrement destinées aux systèmes urbains ;
- ✓ communication GSM ou GPRS adaptée à la couverture et à la gestion de réseaux interurbains sans déploiement spécifique.



B. Des Systèmes Information Voyageur (S.I.V) :

Dans les gares routières ou maritimes, des bornes installées à différents endroits stratégiques affichent :



- ✓ les horaires des prochains départs ;
- ✓ les destinations ;
- ✓ les lieux de départ (quai) ;
- ✓ la date et l'heure courante.

Aux arrêts d'une ligne et dans les abribus, des bornes affichent :

- ✓ la destination, le numéro de la ligne ;
- ✓ le temps d'attente du prochain véhicule à l'arrêt où se situe la borne ;
- ✓ des messages défilant.



Dans les véhicules, des journaux lumineux de bord affichent :



- ✓ le nom du prochain arrêt ;
- ✓ la destination.

C. Des Systèmes d'Aide à l'Intervention (S.A.I) :

SLE propose un système de vidéosurveillance embarqué comprenant :

- ✓ des caméras miniatures permettant d'optimiser à tout instant les conditions de prise de vue ;
- ✓ un enregistreur performant et évolutif de dernière génération ;
- ✓ une station de lecture de type PC avec un logiciel sécurisé de dépouillement ;
- ✓ des équipements et des logiciels d'aide à l'installation et à la maintenance.



Les caméras sont disposées à l'avant, près du conducteur, aux portes centrales et arrières des véhicules. Elles permettent de visualiser les déplacements (ou mouvements) des passagers.

Un voyant placé dans le champ de vision du conducteur lui permet de contrôler le fonctionnement du système de vidéosurveillance.

L'enregistreur numérique permet le stockage des images sur disque dur extractible de grande capacité.

Il est protégé par un boîtier conçu pour résister aux conditions particulières rencontrées dans les véhicules (climatique, électrique, mécanique).

Le système peut être également équipé d'un microphone pour enregistrer les bruits ambiants dans les véhicules.

En cas d'appel d'urgence du conducteur, le véhicule peut être localisé automatiquement sur une carte géographique, des messages SMS et des emails peuvent être envoyés.



3. Les produits SLE

Equipement Embarqués d'annonces vocales NAVIGO :

NAVIGO est une solution complète, intégrée et entièrement autonome pour l'information visuelle et vocale destinée aux voyageurs :

- ✓ localisation du véhicule par GPS ;
- ✓ informations visuelles affichées sur le journal lumineux de bord (destination, prochain arrêt, date et heure) et sur les girouettes extérieures (destination, ligne) ;
- ✓ messages sonores diffusés à l'intérieur du véhicule (destination, prochain arrêt) ;
- ✓ données définies et enregistrées dans une application (base de données).

L'ordinateur de bord :

L'ordinateur est le cœur du système d'aide à l'exploitation et à l'information.

Il apporte l'intelligence et supervise les fonctions suivantes :

- ✓ localisation précise du véhicule ;
- ✓ informations pour les voyageurs ;
- ✓ aide à la conduite ;
- ✓ recueil des données d'exploitation ;
- ✓ communication avec le poste central ;
- ✓ transfert de données haut débit.

Le pupitre de commande :

Ce pupitre permet au conducteur de superviser un grand nombre de fonctions embarquées :

- ✓ afficheurs électroniques (girouettes, journaux lumineux de bord)
- ✓ système d'annonces vocales (NAVIGO) ;
- ✓ des menus d'aide à la maintenance.

Le Journal de Bord Lumineux (JBL ou JLB)

C'est un afficheur lumineux composé de LED permettant d'afficher le nom du prochain arrêt et de la destination, cela de jour comme de nuit. On peut choisir de faire défiler le texte avec ou sans pause, de le faire clignoter ou de la maintenir fixe.

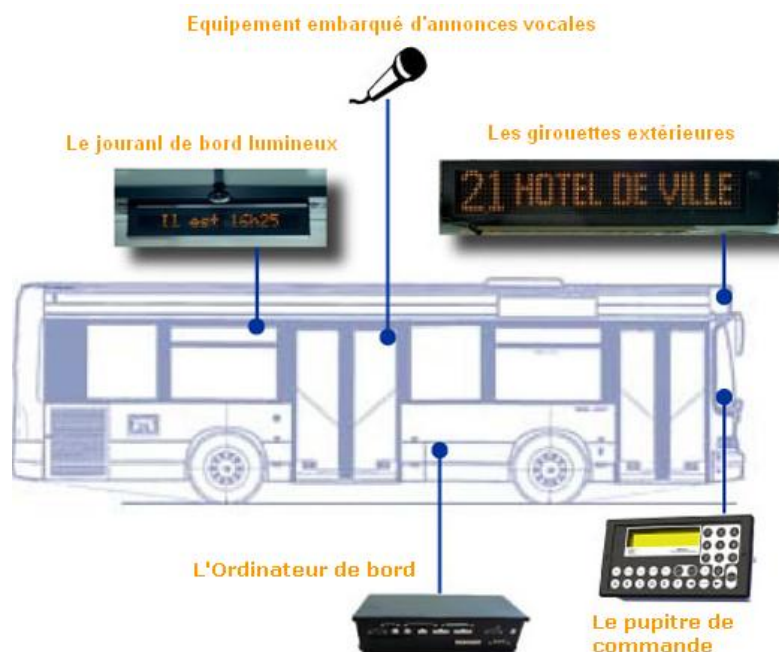


Figure 3 : Les principaux produits SLE

Chapitre 2 : PRESENTATION DU PROJET DE TRAVAIL

Cette partie présente dans un premier temps l'ensemble de l'équipe dont je fais partie. Le rôle de chacun est décrit succinctement. Après une rapide présentation de l'environnement, le sujet du stage est décrit dans ses grandes lignes.

1. L'équipe

L'équipe de travail est composée de :

- ❖ Pierre Giraud, mon tuteur, et responsable de cette équipe. Il doit faire face directement à la hiérarchie, et apporte une vision financière à toutes les actions menées ;
- ❖ Fabrice Mignon, son adjoint, en charge de la programmation de microcontrôleurs. Son rôle est essentiel, car il conditionne le fonctionnement de chaque projet ;
- ❖ José Cegarra, s'occupe de l'ensemble des annonceurs sonores ;
- ❖ Stéphane Podkowa, conçoit l'intégralité des afficheurs ;
- ❖ Alain Magagnini, a une mission propre : inhiber les effets du rayonnement électromagnétique sur les cartes. J'ai pu mesurer l'importance de cette tâche dans le milieu industriel.

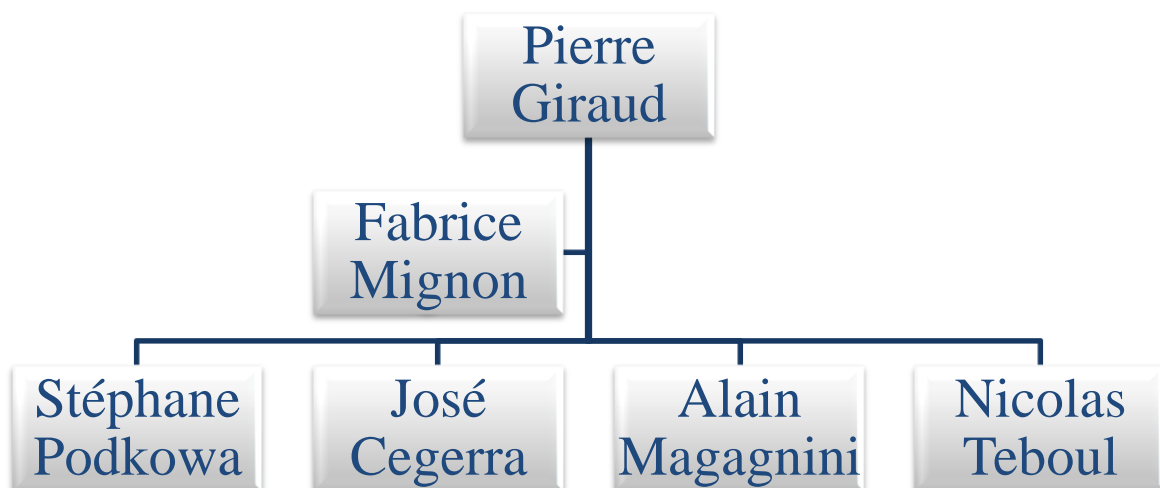


Figure 4 : Organigramme de l'équipe de travail

2. L'environnement

Le siège de SLE se trouve à Sophia-Antipolis, dans un centre de bureaux appelé «Les Espaces de Sophia ».

Les bureaux sont spacieux et lumineux. Ils permettent de communiquer aisément avec les autres membres de l'équipe. Cela a facilité non seulement la bonne intégration sociale, mais aussi l'avancée de mon étude et de mes tests.

L'ambiance dans l'entreprise est remarquable. Cela est essentiel pour faire avancer SLE, gagner de nouveaux marchés, et conserver les anciens clients.

3. La mission

Le but de mon stage est de mener une étude sur un module de communication sans fil de courte portée, pour un futur produit que va développer SLE : un panneau d'affichage pour la RATP.

Si cette communication n'est pas implantée dans ce produit, l'étude sera utilisée par la suite. Etant donné l'avènement de ces nouvelles technologies, SLE se doit de fournir aussi une solution à cette demande grandissante.

Cette communication doit permettre de mettre à jour le programme contenu dans le panneau d'affichage. Autrement dit, en plus de pouvoir afficher un nouveau message sur le panneau, la communication doit permettre des mises à jour logicielles.

Les contraintes fixées sont les suivantes :

- un objectif de prix assez réduit : 10€ maximum ;
- contrainte de place minimale ;
- consommation minimale.

Ce sujet de stage permet une très grande liberté, dans la mesure où rien n'est vraiment défini. Par contre, chacun de mes choix doit être exposé et justifié, pour en tirer profit au maximum.

Malheureusement dans l'entreprise, personne n'est spécialisé dans la communication de courte portée, et ne possède les bases de son fonctionnement. Mon tuteur peut seulement m'aider pour des questions méthodologiques et financières.



Chapitre 3 : RAPPORT DE L'ACTIVITE

Dans ce chapitre, l'ensemble de l'activité est décrite. Dans un premier temps, le choix de la technologie, puis du composant. Ensuite, les étapes menant à la réalisation de prototypes seront détaillées, de la réception de la première carte de développement aux tests de fonctionnement.

1. Choix technologique

L'étude a débuté par la recherche d'informations sur les moyens de communications sans fil, courte portée. Je n'avais pas les connaissances pour déterminer quelles caractéristiques étaient nécessaires pour notre produit, c'est pourquoi avant même le début de mon stage, une pré-étude a été nécessaire.

Les technologies sans fil sont des systèmes de communication de courte portée, conçues pour remplacer à terme un ensemble de liaisons filaires.

Sur le marché, trois technologies sont développées : le Zigbee, le Wi-Fi, et le Bluetooth.

Le Zigbee ne bénéficie pas encore de la notoriété suffisante, ni du retour d'expérience, pour être considéré par notre entreprise. Son usage est pourtant bien plus simple et dépourvu d'autant de contraintes légales.



Le Wi-Fi est démocratisé lui, mais ses caractéristiques ne correspondent pas à notre utilisation, à savoir une très courte portée, donc une très faible puissance.

C'est pourquoi nous nous sommes naturellement tournés vers le Bluetooth.

Son coût, sa consommation, sa robustesse sont les principaux avantages de son utilisation.

C'est la technologie la plus utilisée pour relier entre eux des périphériques. Imprimantes, souris, claviers, lecteurs MP3, récepteurs GPS, télécommandes, appareils photo numériques, manettes de consoles de jeux, téléphones portables. De cette manière, on crée des réseaux personnels sans fils (WPAN pour Wireless Personal Area Network)



Une communication Bluetooth s'appuie sur un émetteur-récepteur, une bande de base et un ensemble de protocoles agencés en une pile. Ces protocoles permettent d'assurer la compatibilité entre tous les périphériques.

La bande de fréquences utilisée par le Bluetooth est l'ISM (Industrial, Scientific & Medical) réservée pour l'industrie, la science et la médecine. Au niveau mondial, la bande de fréquences s'étend sur 83,5 MHz (de 2,4 à 2,4835 GHz). L'émission à cette fréquence est libre : il n'est pas nécessaire d'acheter une licence, contrairement à la plupart des canaux.

Ericsson, société suédoise, a lancé les prémices de la technologie en 1994. Elle décida de la nommer Bluetooth, en l'honneur du roi danois Harald II, qui unifia le Danemark, la Suède et

la Norvège. Il était surnommé « Blåtand », en français, « dent bleue ». Le logo représente les initiales en alphabet runique de « Blåtand ».

Puis en 1998, c'est un consortium de sociétés dont Intel, IBM, Nokia et Motorola, qui poursuit le développement de la technologie. Ces sociétés forment le SIG¹.

Depuis, on a vu apparaître plusieurs versions de la technologie :

- IEEE 802.15.1 : le standard Bluetooth 1.x permettant d'obtenir un débit de 1 Mbit/sec ;
- IEEE 802.15.2 propose des recommandations pour l'utilisation de la bande de fréquence 2.4 GHz (car cette fréquence est également utilisée par le WiFi). Le débit peut atteindre 2 Mbit/sec. La version 2.1 est la commercialisation la plus récente ;
- IEEE 802.15.3 est un standard en cours de développement visant à proposer du haut débit (20 Mbit/s) avec la technologie Bluetooth.

Pour chaque composant Bluetooth, il existe 2 types de certifications :

- End Product². L'ensemble des protocoles est validé, le produit bénéficie des droits de commercialisation Bluetooth. Utiliser un tel composant associé avec d'autres, ne nécessite pas une nouvelle certification, le produit peut être commercialisé Bluetooth ;
- Comp-HW-Integrated³. Pour utiliser un composant certifié Comp-HW-Integrated associé à d'autres composants, il est nécessaire de faire certifier ensuite l'ensemble, pour le commercialiser en utilisant la norme Bluetooth. De cette manière, l'ensemble des composants devient un End Product ;

Pour qu'un produit soit certifié Bluetooth, il faut satisfaire les conditions suivantes :

- 1) le produit doit être conforme avec les impératifs techniques du programme de qualification ;
- 2) les honoraires de liste doivent être payés au Bluetooth SIG ;

Voici la description des coûts liés à la commercialisation d'un produit Bluetooth :

- redevance annuelle : de 5000 \$ à 45 000 \$, suivant sa position de membre ;
- coût des tests par le BQB4 : de 0 à 20.000 \$;
- coût du listage BQBL5 : 5000 à 10.000 \$;
- coût de constitution du dossier par le BQB : 2300 \$.



Le coût total minimal est donc de 12 300 \$ pour le lancement, plus 5 000 \$ par an.

Une société qui commercialise un produit sans payer les honoraires de liste correspondants, peut être poursuivie pour l'infraction de la propriété intellectuelle (IP). La technologie de Bluetooth est une technologie brevetée : les propriétaires (Bluetooth SIG) donnent le permis d'utiliser leur brevet seulement si les honoraires correspondants sont payés.

¹ SIG : Special Interest Group : les membres de ce groupe participent au développement du Bluetooth.

² Produit fini

³ Comp-HW-Integrated : seule une partie de la pile protocolaire est validée.

⁴ Bluetooth Qualification Body : personne physique, reconnue par le SIG, en charge des certifications Bluetooth™.

⁵ Bluetooth Qualification Product Listing : Liste des produits certifiés et reconnus par le Bluetooth™ SIG.

Une nouvelle technologie, le Wibree, initialement développée par Nokia pour concurrencer le Bluetooth, a été intégrée à la norme Bluetooth, c'est dire le lobbying exercé par ce SIG. Cette technologie avec des débits plus faibles a l'avantage de consommer jusqu'à 10 moins que Bluetooth. Cette future version de la norme Bluetooth est prévue pour des appareils connectés en permanence (une montre par exemple) qui nécessitent très peu de débit. La consommation est tellement faible que les appareils peuvent rester plus d'un an connectés sans devoir être rechargés.



D'autres normes vont voir le jour prochainement, pour des débits allant jusqu'à 3 Mbits/s, comme l'UBW (Near Field Contact) ou le NFC (Near Field Contact) pour des transmissions rapprochées.

Le Bluetooth est une technologie très bien implantée, et les nouvelles versions de la norme vont rendre cette interface incontournable.

A noter tout le même que sur le site Internet Bluetooth.com, le SIG est décrit comme une association privée, à but non lucratif.

2. Choix du composant

Nous devons décider quelle famille de composants nous allons utiliser. Les End Product les moins chers se négocient à partir de 15€, soit deux fois plus chers que les Comp-HW-Integrated. Mais ces derniers produits, nécessitent la mise en place d'une certification, procédure longue et coûteuse, que SLE n'a pas envie de supporter. Pour une production de 1000 pièces seulement, cela induit un coût unitaire trop élevé.

Le client nous a demandé une communication courte portée, sans nous spécifier de norme. C'est pourquoi nous commercialiserons notre produit sans utiliser le logo ni la marque Bluetooth. Dans ce cas, nous pouvons utiliser les Comp-HW-Integrated, en restant dans une sphère privée.

Nous allons donc développer deux cartes.

La première, que nous appelleront carte PC, permettra de transmettre des données du PC vers le panneau d'affichage.

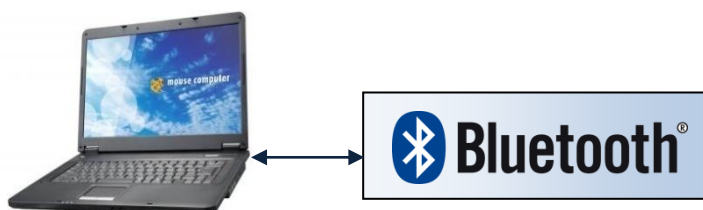


Figure 5 : Liaison avec PC

La seconde carte, en liaison avec le microcontrôleur permettra le traitement de ces données.



Figure 6 : Liaison avec le microcontrôleur du panneau d'affichage

Des accès sécurisés devront être mis en place, pour inhiber la transmission avec des utilisateurs Bluetooth non désirés.

La solution la plus économique se révèle être une puce fonctionnant dans la bande de fréquences ISM. Chez Texas Instruments (Chipcon), on trouve des puces à 4€ l'unité. Cependant, elles n'intègrent pas les protocoles Bluetooth. Cette solution est valable dans le cas d'une production en série de plus d'une dizaine de milliers de pièces. L'étude, le développement, et le coût aussi bien en temps qu'en argent, nous ont orientés vers d'autres solutions.

La recherche a débuté par le site bluetooth.org, qui référence l'ensemble des produits certifiés. Cependant, SLE travaille en étroite collaboration avec deux fournisseurs seulement (Silica et EBV), donc le choix s'est très vite restreint. Nous allons utiliser un composant Bluetooth de classe III, la classe qui présente la puissance d'émission la plus faible : 0 dBm (1 mW).



Le meilleur prix pour les caractéristiques demandées était obtenu pour le BGB203 de chez Philips (NXP), c'est pourquoi nous avons décidé d'utiliser ce composant.

Dès lors, une charte de confidentialité nous est parvenue. C'est un contrat passé entre le fabricant et son client, qui garanti au fabricant que son produit restera dans un domaine confidentiel. Le client s'engage à ne pas divulguer d'informations sous peine de poursuites.

3. Développement

A. Carte Embedded Artists

Silica, le fournisseur choisi, nous a ainsi proposé une carte de développement, la LPC2104 (Figure 7), d'abord conçue pour élaborer des jeux avec interface graphique, mais qui possède ce composant : le BGB203.



Le fournisseur nous a gracieusement prêté cette carte pour une durée de 2 mois. En fait, ce geste commercial lui permet de garantir une future commande pour sa société.



Figure 7 : LPC2104 conçue par Embedded Artists

Cette carte est composée de deux microcontrôleurs :

- un ARM 32 bits, que le testeur programme ;
- l'autre, utilisé en esclave, pilote l'écran LCD.

Le microcontrôleur maître a une architecture RISC et peut se programmer en C/C++.

Pour cela, j'ai utilisé IAR, que je connaissais déjà grâce à mon projet TAG Actif. ARM a développé des bibliothèques spécifiques pour son utilisation. Pour comprendre les exemples et ensuite programmer son application, un temps d'adaptation a été nécessaire. Par exemple, un tu8 dans ce langage peut s'assimiler à un entier.



Pour installer la carte, et la relier au PC, il a fallu trouver les pilotes sur Internet, qui permettent de reprogrammer le microcontrôleur via le JTAG⁶.

Le développement sur la carte est fastidieux : il faut la reprogrammer chaque fois pour pouvoir la tester.

Avec une clé USB7-Bluetooth branchée sur l'ordinateur, je n'ai pu réaliser que de la détection de cette puce Bluetooth avec la carte. En effet, aucune donnée n'a pu être transmise par ce biais.

Cette carte ne convenait pas à notre utilisation, du fait son interface graphique finalement inutile, et des difficultés rencontrées lors de la transmission de données. A l'origine, cette carte a été conçue pour s'exercer à la programmation de jeux de type Tetris, et pour valider le fonctionnement du BQB203 avec ce microcontrôleur, dicit Sylvère Mochet, responsable de ce prêt au niveau de notre fournisseur.

Entre temps, fort heureusement, le fournisseur nous avait informés qu'une autre carte venait d'être réalisée. Cette nouvelle carte est conçue uniquement pour le développement de notre composant. Elle m'a servi de support dans l'étude.

⁶ **JTAG** : Norme IEEE 1149 conçue pour faciliter au automatiser le test des cartes électroniques numériques.

⁷ L'**Universal Serial Bus** est une connexion à haute vitesse qui permet de relier des périphériques externes à un ordinateur.

B. Carte NXP

Cette carte (Figure 9), est très simple d'utilisation.

J'ai seulement dû concevoir un fil de liaison série (5 fils : RXD, TXD, RTS ; CTS ; GND). Voici la procédure suivie pour l'élaboration de ce câble. (Voir Annexes)

Cette carte se pilote directement avec la voie série de l'ordinateur. Un connecteur de type SUB-D9, situé sur la face arrière de nos unités centrales d'ordinateurs, fait généralement office de voie série. Sur les anciens ordinateurs portables, il n'est pas rare d'en trouver.

Cependant, la voie série est de moins en moins utilisée, c'est pourquoi sur les PC portables récents, ces communications disparaissent peu à peu.



Figure 8 : Connecteur SUB - D9

Le client souhaite un produit simple d'utilisation, nous avons alors décidé que la liaison jusqu'au Bluetooth s'effectuerait par USB.

L'alimentation de cette carte se fait par USB, et le pilotage par la voie série (avec les Hyper Terminaux sous Windows).

Il est à noter que les composants Bluetooth présents sur la carte ont été préprogrammés : ils fonctionnent uniquement pour un débit (115 200 kb/s) et un type de données précis (1 bit de stop, pas de bit de parité). Voir en Annexes pour la procédure d'établissement d'une connexion Bluetooth avec ce kit.

Avant la livraison au client, les BGB203 devront donc être préprogrammés eux aussi par JTAG, afin de pouvoir être utilisés.

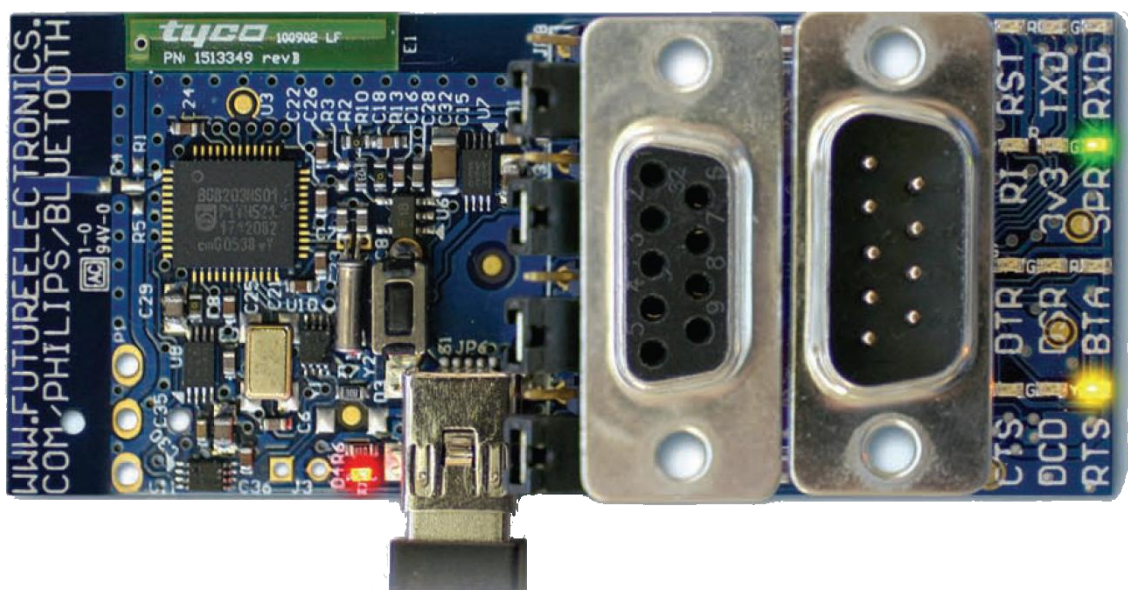





Figure 9 : Carte NXP

En branchant deux cartes identiques, une première transmission de données par Bluetooth a pu être réalisée. Cette connexion présente néanmoins un défaut entrevu plus tard, la transmission ne se fait que caractère par caractère, mais c'est le principe même de la voie série.

Cette carte permet même de tester plusieurs types d'antennes :

Imprimée en faisant un cuivre de cette forme, avec les bonnes dimensions.	
CMS	
Avec connecteur de type SMA	

Des essais de portée montrent que l'antenne imprimée permet une portée avec des transferts fiables jusqu'à 15 mètres en champ libre. L'antenne CMS⁸ réalise des connexions fiables jusqu'à 20 mètres.

Pour les cartes finales, nous allons donc réaliser des antennes imprimées, d'un coût négligeable par rapport aux antennes CMS.

C. Elaboration des schémas

Les schémas des 2 cartes ont ainsi été réalisés (*Voir Annexes*).

Carte PC :

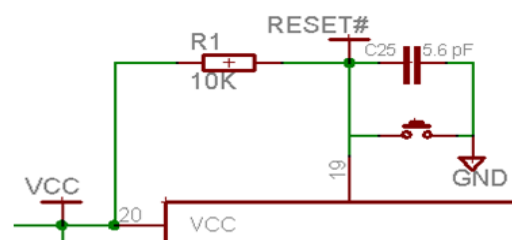
Elle permet à l'utilisateur de piloter le composant Bluetooth utilisé pour l'envoi de données vers le panneau d'affichage. Cette carte se branche par USB (connexion plus répandue sur les ordinateurs portables). Cette carte sera alimentée par USB.

L'étude de la carte fournie par NXP m'a permis de constater que son fonctionnement n'est pas vraiment éloigné de celui attendu par notre application. Les composants que je devais garder étaient les régulateurs, l'alimentation, et éléments importants : les capacités de découplage (*Voir Annexes*).

La difficulté majeure était de pouvoir piloter la carte par USB. Le même convertisseur USB/UART, que sur la carte Embedded Artist a été utilisé. En effet, son fonctionnement est connu, et les schémas fonctionnels étaient réalisés.

Des connecteurs JTAG peuvent être utilisés pour reprogrammer la puce Bluetooth.

Un circuit de reset avec un bouton poussoir a été ajouté pour initialiser les composants.



⁸ CMS : Composants Monté en Surface

Carte microcontrôleur :

Elle permet la réception de données et le lien UART avec le microcontrôleur. L'alimentation provient du reste du circuit : on dispose de 3.3V régulé et de 1.8V régulé par ailleurs sur le panneau d'affichage.

Le fonctionnement du Bluetooth reste le même.

Il n'apparaît qu'un seul régulateur à 2.85V. En effet, le composant choisi permet de réguler une tension de 2.85V avec une tension d'entrée de 3.3V.

Voici la liste des composants utilisés, en dehors des résistances et condensateurs habituels :

- ✓ **FT232RL** : réalise la conversion USB-UART. Un schéma fonctionnel est disponible dans sa documentation ;
- ✓ **LD1117** : régulateurs à tension de sortie fixe. Le schéma du fonctionnement est lui aussi fourni dans la documentation. A noter que pour le régulateur 2.85V, il faut utiliser des capacités tantales⁹ ;
- ✓ **Ferrite** : est une bobine utilisée pour bloquer les hautes fréquences et laisser passer le continu. On retrouve des ferrites sur la plupart des câbles pour ordinateurs portables.



Les documentations de chaque composant ont permis de ne pas laisser d'état indéterminé sur une broche libre. Ainsi, les états (Pull-up ou Pull-down, respectivement état haut et état bas) qui inhibaient les broches libres ont été fixés.

Eagle a été choisi pour la réalisation des schémas. Ce logiciel qui comporte une bibliothèque diversifiée de composants, mais pas ceux utilisés. C'est pourquoi tous les composants et connecteurs ont été dessinés avec l'éditeur de composants Eagle.

D. Implantation du module

La Figure 10 nous permet de remarquer que le BGB203 est de type HLLGA, c'est-à-dire qu'il n'a pas des broches extérieures, permettant de le relier au reste du circuit, comme une majorité de composants du marché. La difficulté allait donc être de l'implanter sur un circuit de tests.

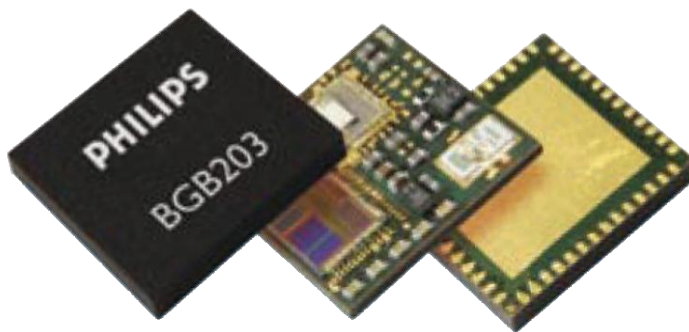


Figure 10 : BGB203

⁹ Condensateur polarisé fabriqué par oxydation. De cette manière, sa durée de vie est augmentée.

Pour des composants de si petite taille (5,5 mm x 5,5 mm), il existe habituellement des adaptateurs, comme le montre la Figure 11, qui permettent de réaliser des circuits de tests.



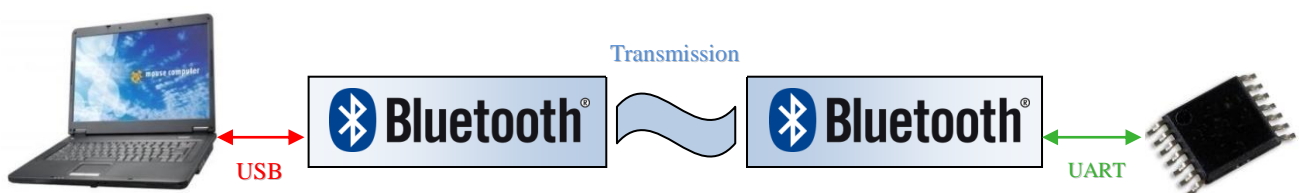
Figure 11: Adaptateurs habituels

Devant nos recherches infructueuses, nous nous sommes adressés à Studiel, qui réalise habituellement les circuits imprimés pour SLE. Un spécialiste nous a alors affirmé que la seule solution était de réaliser un circuit imprimé spécialement dédié au BGB203 avec des broches externes. En effet, lorsque l'on regarde de plus près les cartes prêtées ; on remarque que le composant est posé directement sur le PCB, et des fils de cuivre permettent de le relier au reste du circuit.

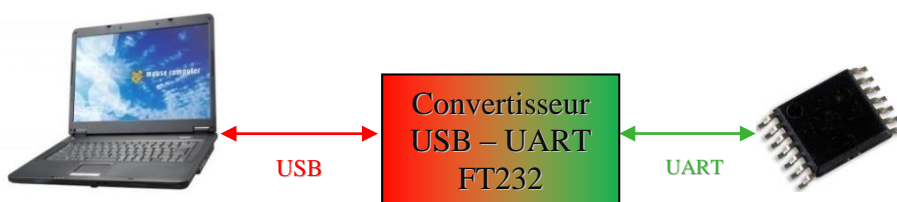
Une rapide étude puis une conception de PCB, devait permettre d'obtenir un circuit de tests en peu de temps. Seulement cette opération a un coût, et SLE n'a pas voulu supporter ce coût. En fait, mon stage est simplement une pré-étude. La commande de ce produit n'est pas encore ferme. Durant l'étude, il n'a pas été possible de faire fonctionner notre propre BGB203.

Ainsi, pour faciliter la mise en œuvre, si elle a lieu un jour, de ce composant par SLE, j'ai décidé de réaliser un circuit de conversions. Sachant comment la liaison Bluetooth fonctionne avec le BGB203, j'ai court-circuité le Bluetooth sur le circuit final.

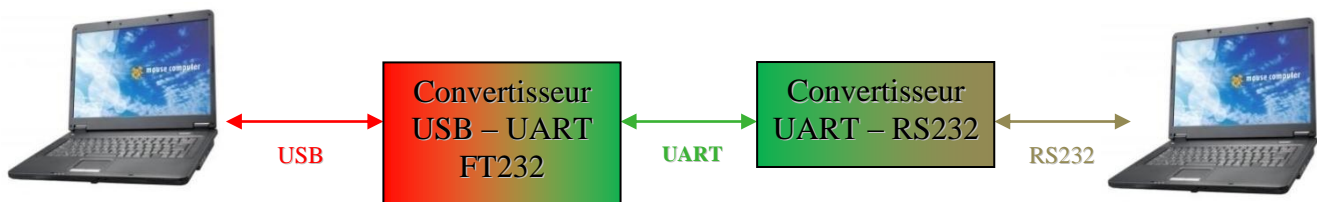
1^{ère} étape : point de départ de mon schéma



2^{ème} étape : le Bluetooth est court-circuité, il sera implémenté un convertisseur USB – UART.



3^{ème} étape : ne disposant pas d'un microcontrôleur pour vérifier la conversion, un convertisseur UART – RS232¹⁰ sera rajouté pour valider le fonctionnement de l'ensemble avec un PC.



Un convertisseur USB – RS232 doit donc être réalisé. Cela existe déjà sur le marché. Mais ici, la partie intéressante reste cependant l'implémentation du convertisseur USB-UART, utilisé dans la carte PC.

L'UART est aussi une liaison série dont la tension varie de 0V à 3.3V. Le convertisseur UART-Série ne réalise donc qu'une conversion de tension, puisque la voie Série voit sa tension varier de -12V à +12V.

4. Tests de fonctionnement

A. Convertisseur USB-RS232

A défaut de réaliser les deux cartes précédentes, celle-ci pourra valider le fonctionnement du convertisseur USB-UART, comme expliqué dans le paragraphe précédent.

En plus du FT232, un **MAX232** a été utilisé. Il réalise la conversion UART-RS232. Ce composant est couramment utilisé, son schéma fonctionnel est d'ailleurs disponible dans sa documentation.

Ces composants sont des SSOP¹¹, il est donc délicat de les souder directement sur un circuit de prototype. C'est pourquoi nous avons eu recours à une carte prototype, qui permet d'utiliser ces petits composants.

Le composant se soude directement sur cette carte, en utilisant la technique du flux au gel. Une fois le composant correctement positionné, on dépose le flux sur les broches. Lorsque l'on chauffe, des contacts sont établis entre les parties métalliques (de la carte et du composant). Si des contacts entre broches existent ensuite, il suffit de chauffer à nouveau ce contact pour l'enlever avec la panne du fer à souder.



Cette technique permet de souder rapidement un grand nombre de broches.

¹⁰ **RS-232** est une norme standardisant un port de communication de type série. Elle est communément appelé le « **port série** »

¹¹ **SSOP** : Type de boîtier rectangulaire extra-plat pour composants électroniques dont les broches de connexion sont placées sur les côtés latéraux les plus longs.

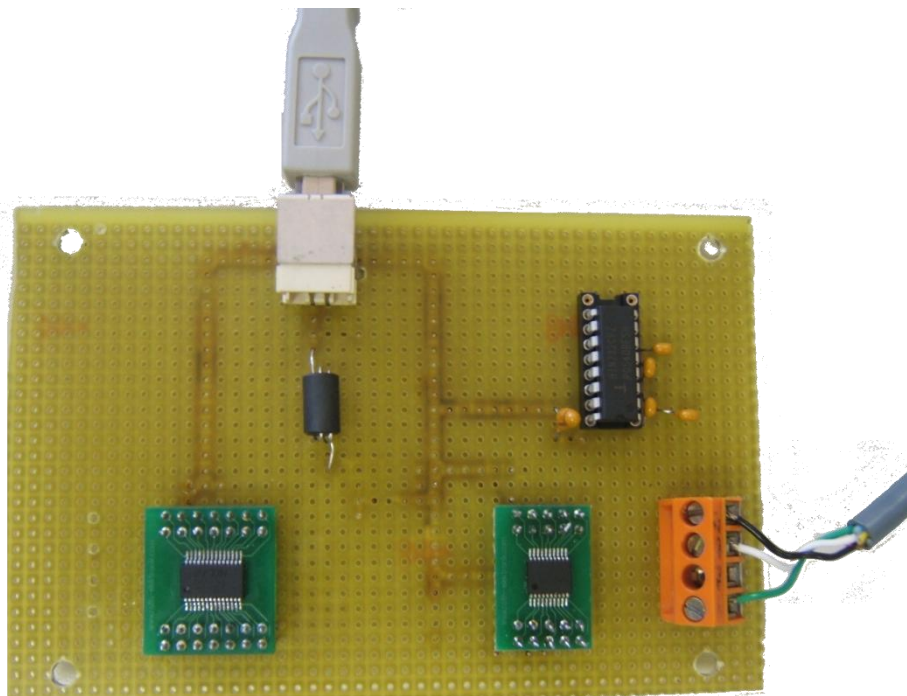


Figure 12 : Convertisseur USB-Série

On distingue 3 composants sur support ici. De gauche à droite :

- ✓ FT232RL ;
- ✓ MAX232 de boîtier de type SSOP, ce composant n'a pas fonctionné d'emblée. Il a sûrement été soumis à une trop forte température lors de la phase de soudure au flux ;
- ✓ MAX232 de type DIP, plus facilement interchangeable.

B. Création de l'application de gestion

Pour piloter cette carte, il fallait en fait reprogrammer un Hyper Terminal. Je souhaitais un programme simple d'utilisation (que l'on utilise sous Windows sans installation supplémentaire), comme un .exe, alors j'ai choisi de programmer en C.

Mais il fallait en plus rajouter des fonctions de buffer, pour ne pas transmettre caractère par caractère, comme le fait la liaison série. En effet, le BGB203 ne reconnaît que les mots clefs suivis d'un retour chariot. Ce sont ces commandes AT¹² qui permettent de piloter la puce Bluetooth.

Il faut donc envoyer des caractères ASCII suivis d'un retour chariot.

Sur Internet, il existe un ensemble de programmes similaires, mais aucun ne fonctionnait parfaitement. Alors, en utilisant des parties de codes, j'ai pu réaliser un programme qui correspondait à notre fonctionnement.

¹² Liste de mots-clefs permettant de spécifier un nouvel état d'un composant ou d'un matériel, la plupart du temps un modem.

La Figure 13 montre un aperçu de l'exécution. Ne disposant plus de la carte, c'est la seule étape que l'on peut voir sans avoir généré de port série virtuel.



Figure 13 : Logiciel de pilotage du convertisseur USB-RS232

Les derniers jours du stage ont été consacrés à la rédaction de comptes-rendus, expliquant le travail réalisé, afin d'optimiser le temps de développement de ce composant par SLE.

CONCLUSION

Ce stage constitue un pas de plus dans mon apprentissage de la vie professionnelle et des relations, que ce soit avec des collègues de travail ou des fournisseurs. J'ai appris à parler au nom d'une société et à assumer mes choix devant des personnes jusqu'alors inconnues.

Cette approche du milieu professionnel et cette fonction dans un bureau d'études m'auront apporté une autre vision du travail, différente de celle entrevue dans le milieu scolaire.

Mon séjour à S.L.E s'est déroulé dans une très bonne ambiance avec un personnel très compétent, toujours disponible et m'aura permis de rencontrer de nombreuses personnes expérimentées. Ainsi, les membres de l'équipe ont su m'orienter vers des travaux de recherche et de développement très intéressants.

Ce fut pour moi une grande réussite dans la mesure où j'ai pu surmonter de nombreuses difficultés, dans les prises de décisions ou l'élaboration d'un planning de travail performant.

L'étude n'est pas terminée, mais je ne ressens pas un goût d'inachevé. En effet, mon tuteur s'est montré honnête et respectueux envers moi, en m'expliquant et justifiant ses décisions et celles de la société vis-à-vis de l'étude menée. J'ai pu comprendre de cette manière qu'il est parfois difficile de faire des choix, lorsque l'aspect humain entre en compte. Cette expérience sera à coup sûr profitable à l'avenir.

Ce stage a constitué pour moi le meilleur moyen de devenir autonome, et de développer mes connaissances techniques et méthodologiques.

ANNEXES

Evolution des technologies sans fil :

Alors que le Wifi est de plus en plus populaire, une étude d'IC Insights révèle que les livraisons de modules Bluetooth devraient croître pour atteindre 1,6 milliard d'unités en 2010. Le marché devrait augmenter de 117,6 % entre 2006 et 2010 pour passer de 1,47 à 3,2 milliards de dollars. En moyenne, on attend une hausse de 33 % par an pendant cette période. À titre de comparaison, les livraisons de modules Bluetooth pour cette année totalisent 515 millions d'unités.

Ce protocole sans fil a donc fait un long chemin depuis l'an 2000 où ses parts de marchés étaient insignifiantes. Les analystes expliquent que la raison de ce succès est liée au prix des chipsets Bluetooth qui a fortement baissé et continue de dégringoler. En 2010, on estime que le prix d'une puce Bluetooth sera équivalent au quart du prix d'une puce produite en 2002. Alors que les téléphones portables, les oreillettes et plus tard les PDA, ont grandement contribué au succès de la dent bleue, l'invasion de ce protocole dans d'autres domaines, comme celui de l'automobile, des consoles de jeux vidéo, ou des casques sans fil pour baladeur numérique, expliquent aussi les raisons de cette popularité. On retrouve le Bluetooth dans de plus en plus d'application de tous les jours.

Source : [Presence-pc](#)

Comparatif Zigbee/Wi-Fi/Bluetooth

Protocole	Zigbee	Bluetooth	Wi-Fi
IEEE	802.15.4	802.15.1	802.11a/b/g
Besoins mémoire	4-32 Kb	250 Kb +	1 Mb +
Autonomie avec pile	Années	Jours	Heures
Nombre de nœuds	65 000+	7	32
Vitesse de transfert	250 Kb/s	1 Mb/s	11-54-108 Mb/s
Portée	100 m	10-100 m	300 m

Tableau 1 : Comparaison de technologies

Source : [Wikipedia](#)



Etudes de marché :

Entreprise	Modèle	Prix/1kU	Description
TI (puces)	CC2511	4,5	µC : 8051 jusqu'à 48Mhz, communication USB
	CC2510	4	µC : 8051 jusqu'à 48Mhz
	CC2430	de 3,6 à 5,45	µC interne à plus de 32Mhz
AboComSystem	BTM401		lien
AvantWave	BTR110B	x	lien
	BTR200	x	
Bluegiga Technologies Oy	WT12	15,7	lien
BluePacket	BC3-MM Module	x	lien
	2042 Module	x	
	BC2-Ext. Module	x	
Infineon Technologies AG	PMB8753 - BlueMoon UniCellular BT 2.0 + EDR		lien
	PBA31307 - SingleStone BT 1.2		
NXP	BGB203/H1/S06	8	
	BGB210S		
Samsung Electro-Mechanics	BTEM38B2SB, BTEM38B2SA		lien
STMicroelectronics	BT-STA2416 / GS-STA2416		
Wearnes Tech Solutions Pte. Ltd.	BTM02C2XX-X	x	lien
	BTME4C2XX-X	x	
CSR	BlueCore3	20	lien
	BlueCore4	25	

Tableau 2 : Ebauche de l'étude du marché des composants Bluetooth

Les croix signifient que les fournisseurs n'ont pas jugé utile de répondre à une demande de devis, avoisinant parfois les 10 000€.

Entreprise	Catégorie	Modèle	Prix
Aurel		A24	
RF Solutions		ANT-24G-PAOB	5
Antenna Factor	RH	ANT-2.4-CW-RH	2,15
	JJB 7x7x17	ANT-2.4-JJB-RA	0,8
		ANT-2.4-JJB-ST	0,8
	RAH	ANT-2.4-CW-RAH-SMA	2,2
		ANT-2.4-CW-RAH-RPS	2,2
	CHIP 6,5x2,2x1	ANT-2.45-CHP-B	0,85
		ANT-2.45-CHP-T	0,85
AEK-CHP-2.45-1		0,85	
Tyco		1513150-1	

Tableau 3 : Ebauche de l'étude de marché des antennes Bluetooth

Utilisation des Kits BGB203 :

Nous disposons de deux modules de communication BGB203 : l'un sera appelé le serveur, l'autre le client, pour l'établissement de la connexion, ensuite, l'échange pour être bidirectionnel.

La liaison qui relie PC au module de communication Bluetooth s'effectue par voie série. Elle n'est pas croisée.

On utilise le DB9 femelle de la carte, il est sélectionné par les cavaliers placés de cette façon :

Haut de la carte (vers l'antenne)

JP8

	1	1		2	2		3	3		4	4

(Les chiffres représentent les respectivement les cavaliers 1, 2, 3 et 4.)

P7

Pour chaque module, ouvrir un HyperTerminal (ou votre logiciel de communication préféré), et se connecter sur la voie série correspondant à la connexion (COM1, COM2....). Les paramètres de communication sont :

- bits par seconde : 115200 ;
- bits de données : 8 ;
- parité : aucun ;
- bits d'arrêt : 1 ;
- Contrôle de flux : aucun.

Lorsque l'on est connecté à chacun des modules, on effectue les commandes suivantes :

Pour le client :

Description de la commande	Commande	Réponse
Vérification de la connexion	AT	OK
Capture de l'adresse	AT+BTBDA	+BTBDA : <i>adresse_client</i> OK
Autorisation des connexions entrantes par SPP	AT+BTSRV=1	OK

Pour le serveur :

Description de la commande	Commande	Réponse
Vérification de la connexion	AT	OK
Recherche des périphériques Bluetooth à portée	AT+BTINQ=5	+BTINQ : <i>adresse_client</i> OK
Liste les services disponibles sur le client	AT+BTSDP= <i>adresse_client</i>	+BTSDP: 1, 1.0, "Serial Port", <i>num_service</i> +BTSDP: COMPLETE OK
Se connecte au <i>num_service</i>	AT+BTCLT= <i>adresse_client</i> , <i>num_service</i>	OK CONNECT <i>adresse_client</i>

Sur le client, on doit voir apparaître

```
OK
CONNECT 00000000558
```

Désormais, les modules sont connectés. La connexion est bidirectionnelle.

On peut transférer du texte, voire même des fichiers de texte.

Pour se déconnecter, entrer +++ dans n'importe quel terminal. Les modules sont déconnectés lorsque l'on voit apparaître

```
NO CARRIER
OK
```

sur chacun des terminaux

Câblage Série :

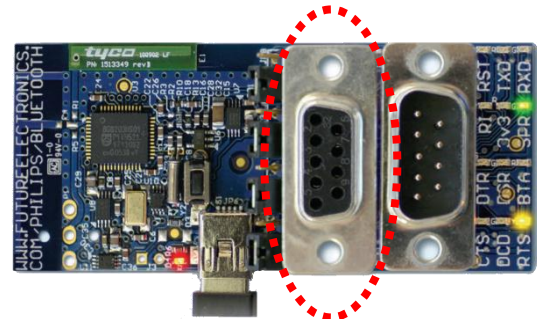
Sur un PC, on a pour une liaison série (mâle à l'arrière du PC).



Broche	Nom
1	Détection de porteuse (DCD = Data Carrier Detect)
2	Réception de données (RD = Receive Data)
3	Transmission de données (TD = Transmit Data)
4	Équipement prêt (DTR = Data Terminal Ready)
5	Masse du signal (SG = Signal Ground)
6	Prêt à recevoir (DSR = Data Set Ready)
7	Demande d'autorisation à émettre (RTS = Request To Send)
8	Autorisation d'émettre (CTS = Clear To Send)
9	Détection de sonnerie (RI = Ring Indicator)

Sur notre carte (connecteur femelle), on a :

Broche	Nom
1	DCD
2	RD
3	TD
4	DTR
5	SG
6	DSR
7	RTS
8	CTS
9	RI



Donc le câble sera le suivant :

PC (femelle)	Carte (mâle)
1	Non relié
2	2
3	3
4	Non relié
5	5
6	Non relié
7	7
8	8
9	Non relié

Il n'est pas nécessaire de relier DCD, DTR, DSR et RI.

Par ailleurs, on remarque ici que les liaisons ne sont pas croisées (Dans le cas de liaison croisées, on relie le 2 avec le 3 et le 7 avec le 8).

Capacités de découplage :

Un des ennemis de la commutation rapide de la sortie du circuit logique est la ligne d'alimentation.

En effet, une ligne d'alimentation (fil) a le comportement électrique d'une bobine. Nous savons qu'une bobine s'oppose aux variations brusques du courant. A cause de ce phénomène, la sortie de la porte ne peut pas commuter rapidement. Il en résulte la Figure 14 :

Pour palier ce problème, il faut placer un condensateur au plus proche des bornes d'alimentations de la porte. Celui-ci se comporte comme un réservoir d'énergie qui fournira le courant nécessaire à une commutation rapide de la sortie de la porte. Lorsque la porte va commuter, un brusque appel de courant provenant de la porte va avoir lieu. (Figure 15)

Le condensateur va alors fournir l'énergie nécessaire à une commutation rapide de la porte.

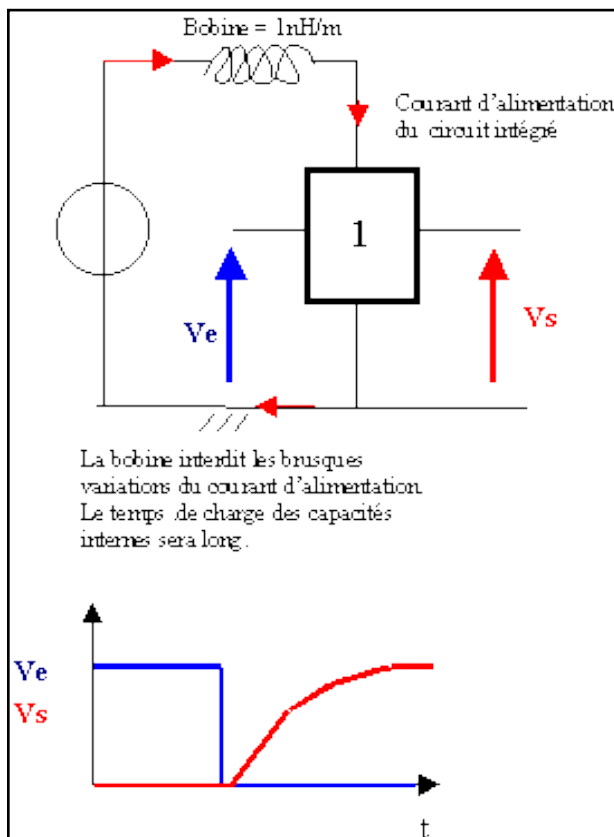


Figure 14 : Comportement avant découplage

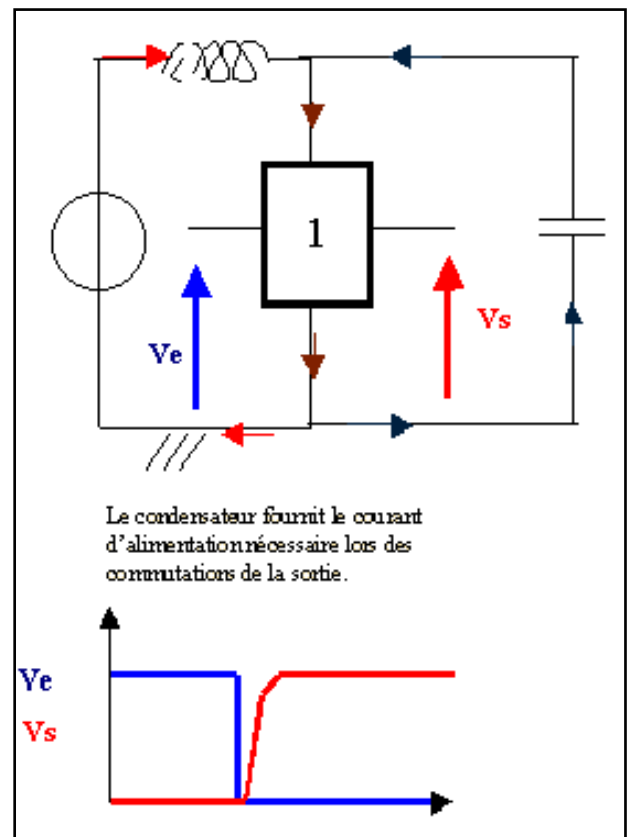


Figure 15 : Comportement après découplage

Source : [Bicmos](#)

Schémas fonctionnels :

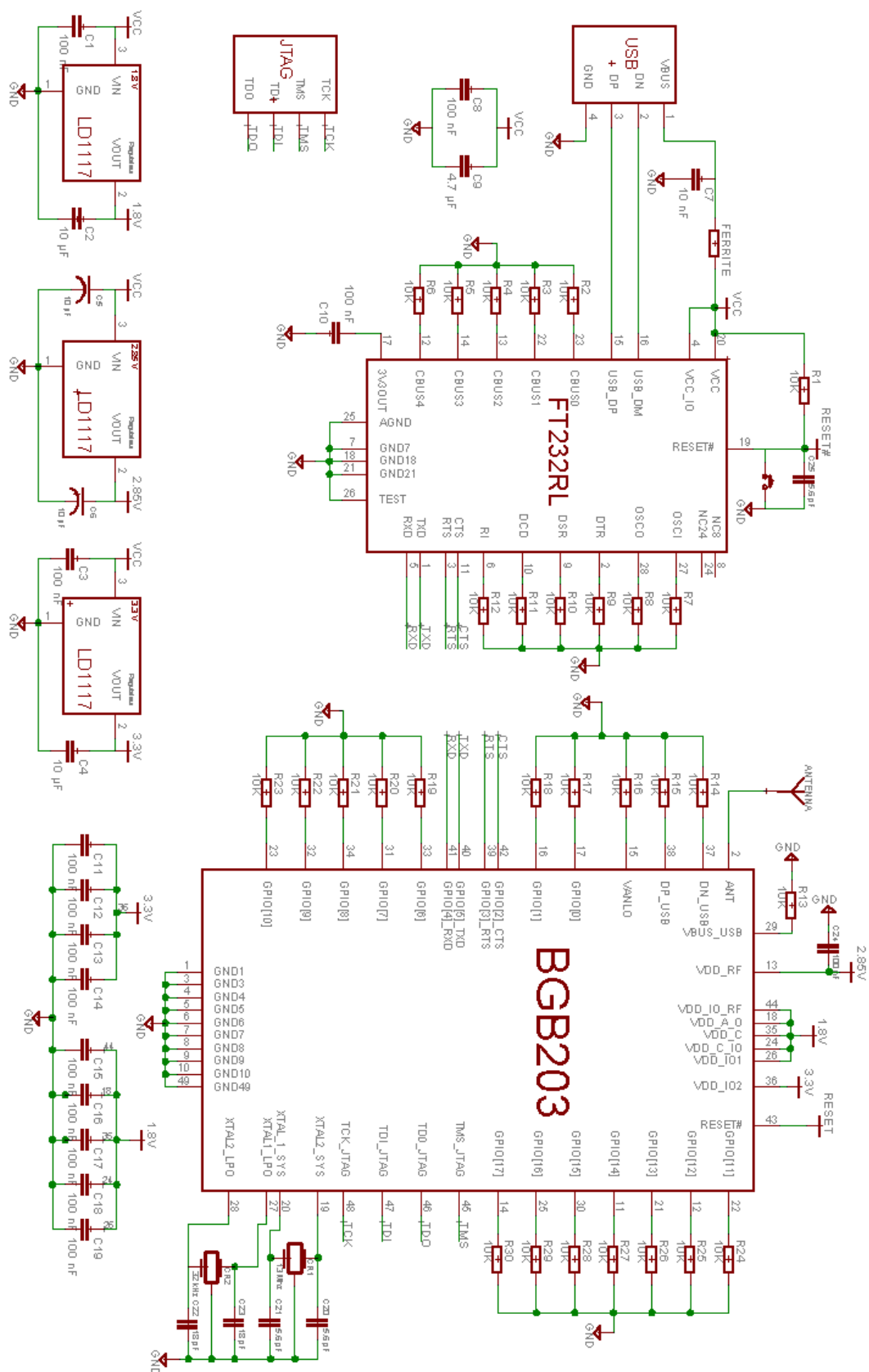


Figure 16 : Carte PC

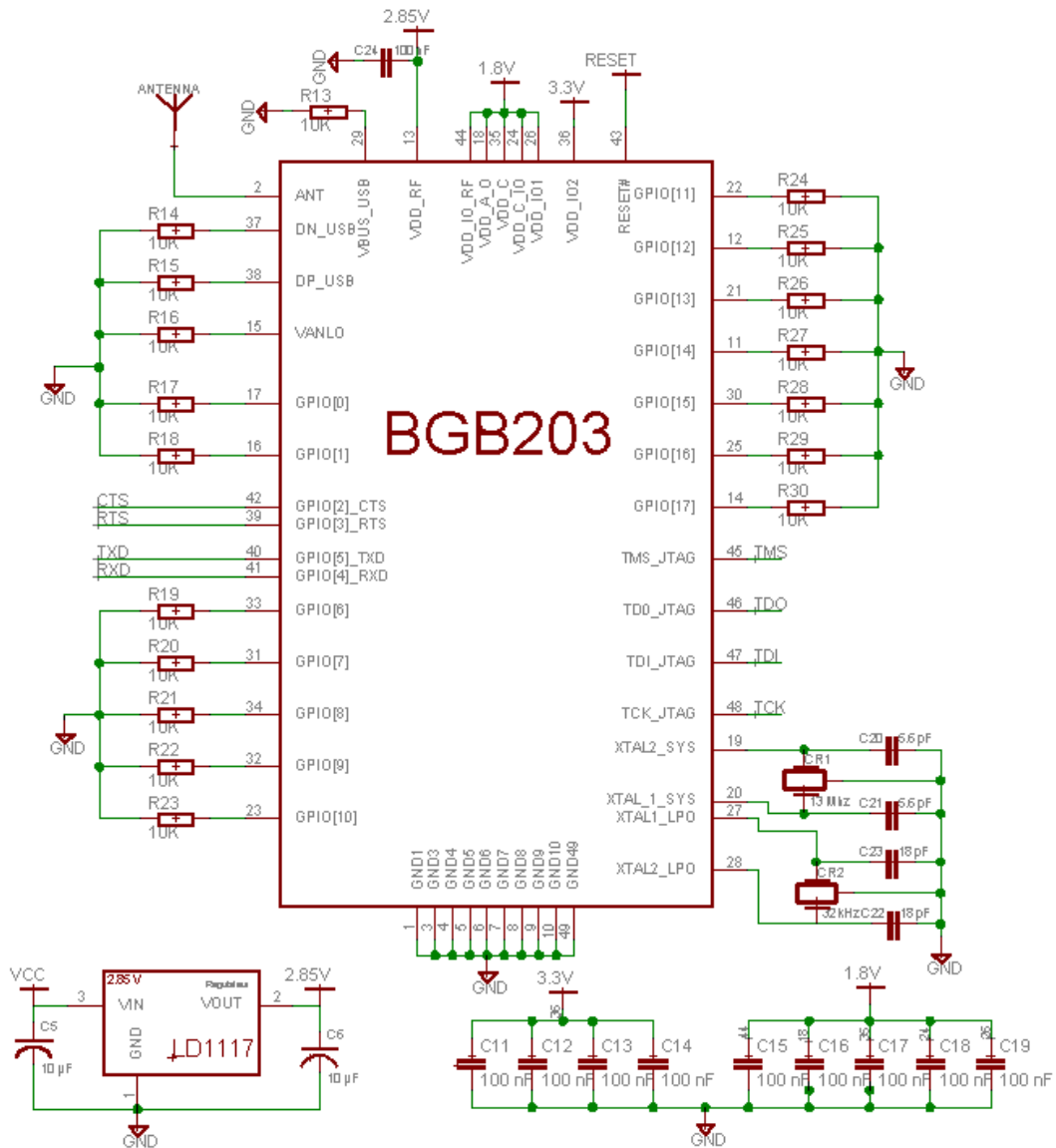


Figure 17 : Carte microcontrôleur

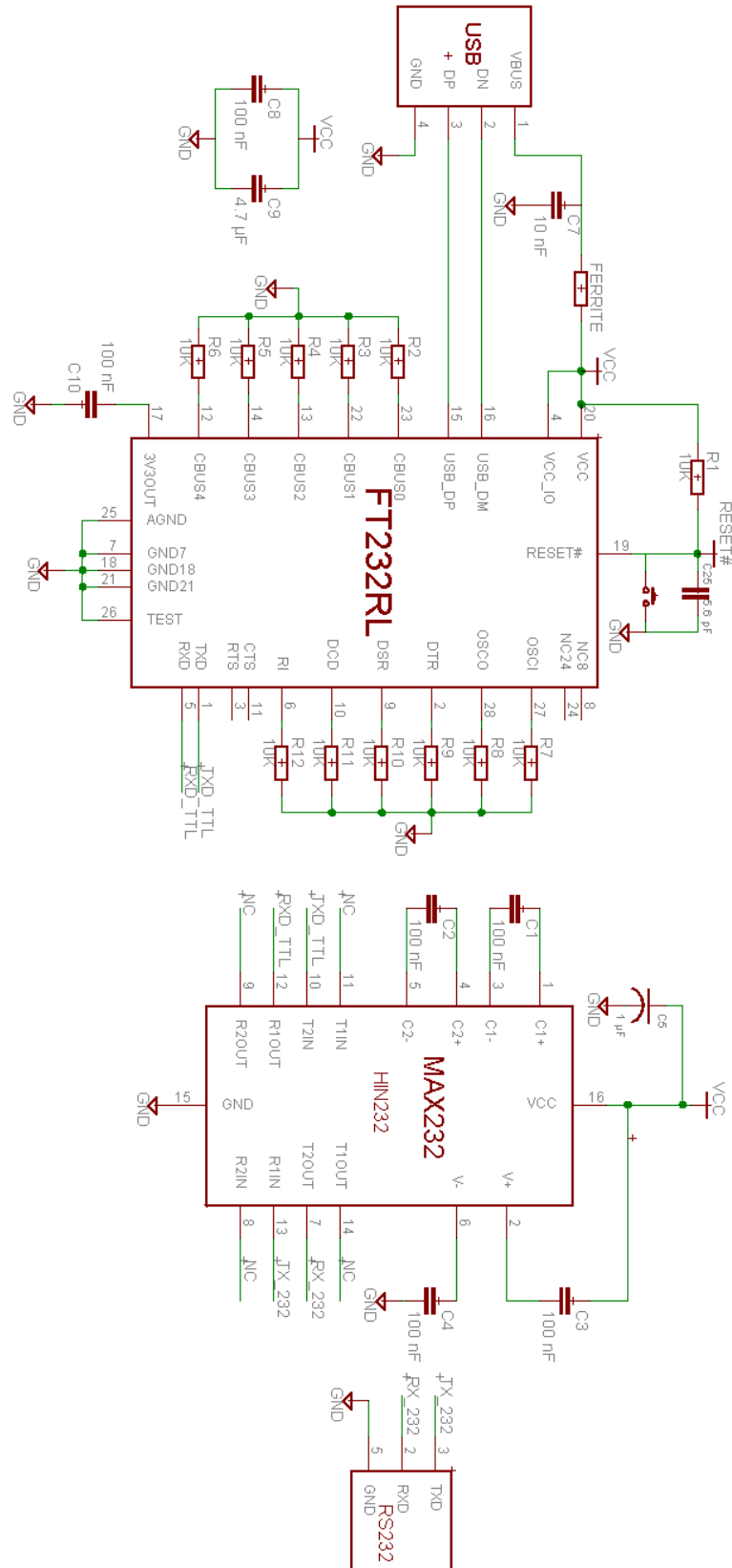


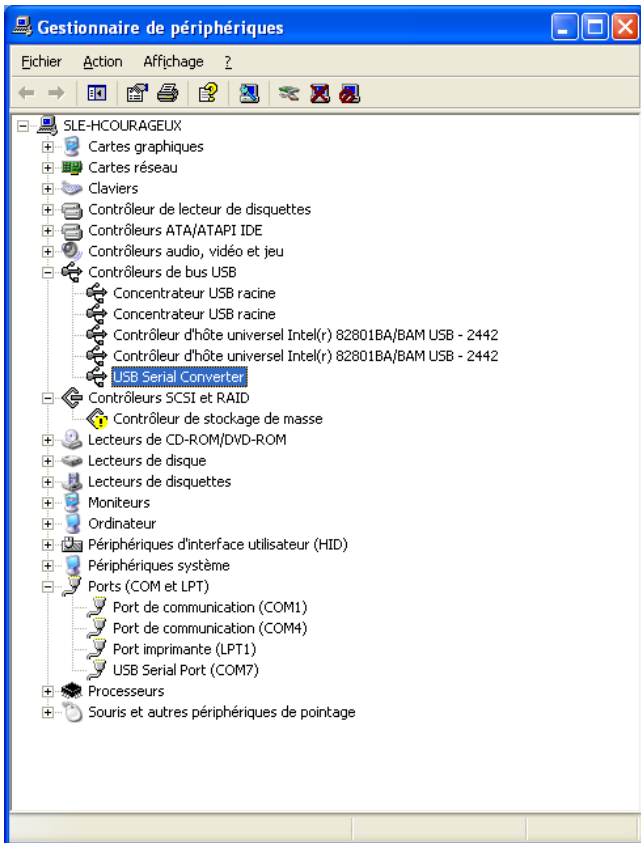
Figure 18 : Convertisseur USB – RS232

Utilisation du Convertisseur USB-Série

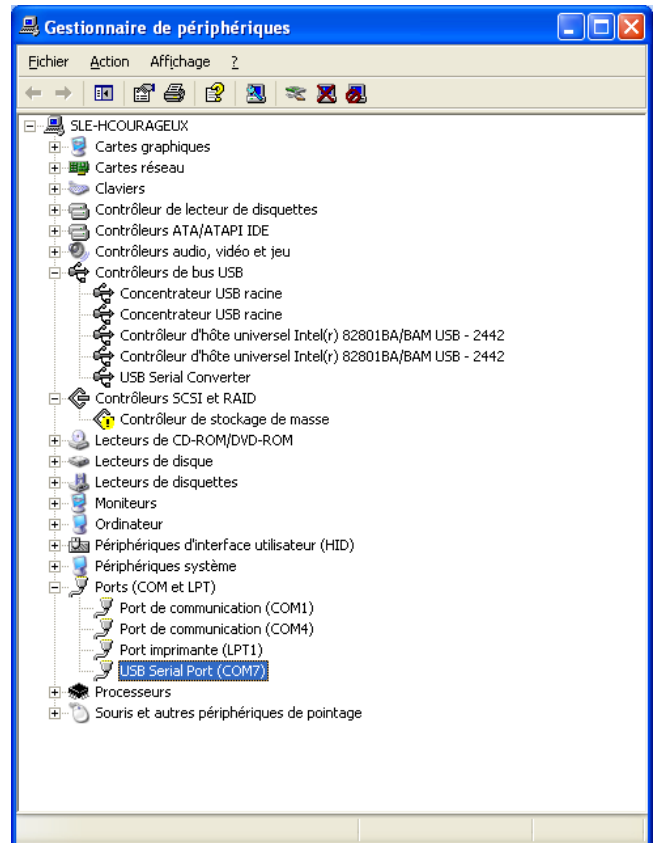
L'installation est automatique : lorsque l'on connecte la carte au port USB, le périphérique est reconnu puis installé, sous Windows XP SP 2.

Pour les autres systèmes d'exploitation, se référer à la procédure InstallationDriver.pdf dans le dossier Composants.

On doit avoir



Et



Entre parenthèses, il apparaît le numéro du port COM virtuel utilisé par le PC. Ce port virtuel va permettre d'utiliser le port USB comme un port série.



L'USB s'utilise avec un connecteur de type B standard.

La carte étant positionnée coté ferrite, avec en haut le connecteur USB. Ainsi, le connecteur série se branche comme suit, dans l'ordre :

Connecteur série	Sub D9 coté PC
GND	5
Rx	3 (Tx)
Non utilisé	
Tx	2 (Rx)

Désormais, il est possible d'envoyer et de recevoir des données, via l'hyper terminal, ou via le programme conçu à cet effet. Il sera nécessaire de spécifier alors le numéro du port virtuel.

La connexion soit établie avec les paramètres suivants :

- bits par seconde : 115200 ;
- bits de données : 8 ;
- parité : aucun ;
- bits d'arrêt : 1 ;
- Contrôle de flux : aucun.

Vérifier que ces paramètres coïncident bien avec ceux dans Propriétés système < Matériel < Gestionnaire de périphériques < Ports COM et LPT < Propriétés du USB Serial Port < Port Settings

Dans le projet, il ne sera pas nécessaire de reboucler sur une voie série : on peut utiliser seulement la conversion USB-UART pour dialoguer avec le module Bluetooth. Les commandes AT servent à établir la connexion entre 2 modules Bluetooth (voir par ailleurs en Annexes).

Implementation of a Bluetooth module

During this seven weeks internship at SLE, my mission was to undertake a study on the establishment of a no-wire and short range communication, for a luminar notice board.

A rapid market research determined the technology we used. The usual suppliers of SLE restricted the possible choice of components, it was thus necessary to use the cheapest.

Two development kits were studied and made it possible to design functional diagrams for the future component.

Because of lack of money, the component could not have been implemented on a prototype. A board and a software, will make easier this task for the future. They carry out a conversion USB - RS 232 controlled by Windows.

This study is thus not completed, in so far as no prototype is working. However, this internship was for me the best way to acquire new knowledge. The advices of experienced people from this design department will be positive for my career.

Implantation d'un module Bluetooth

Durant ce stage de sept semaines chez SLE, ma mission était de mener une étude sur l'implantation d'une communication sans fil de courte portée, pour un panneau d'affichage lumineux.

Un rapide tour d'horizon a déterminé la technologie utilisée. Les fournisseurs habituels de SLE ont restreint les choix possibles de composants, il a donc fallu utiliser le moins coûteux.

Deux cartes de développement ont été étudiées et ont permis de constituer des schémas fonctionnels pour la future implantation du composant.

Le composant n'a par contre pas pu être implanté sur un prototype, faute de moyens. Une carte et un logiciel, facilitant cette future démarche, ont été conçus. Ils réalisent une conversion USB – RS 232 pilotée par Windows.

Cette étude n'est donc pas achevée, dans la mesure où aucun prototype n'est opérationnel. Cependant, ce stage a constitué pour moi le meilleur moyen d'acquérir de nouvelles connaissances. Les conseils de personnes expérimentées composant ce bureau d'études seront bénéfiques pour ma carrière.