

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : LE RESISTIVIMETRE ELECTRIQUE	3
1. LES PRINCIPALES FONCTIONS D'UN RESISTIVIMETRE	3
2. L' ASSISTANCE D'UN ORDINATEUR	4
3. ARCHITECTURE DU SYSTEME	5
CHAPITRE 2 : LE SYSTEME D'INJECTION/MESURE : LES BASES THEORIQUES	11
1. LE GENERATEUR DE COURANT	11
2. LA MESURE DE TENSION	13
2-1 LA CONVERSION	13
2-2 LES ETAPES DE LA CONVERSION	14
2-3 CAN A APPROXIMATION SUCCESSIVE	14
3. ADAPTATION ET MISE EN FORME DES SIGNAUX.	16
CHAPITRE 3 : FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'INJECTION ET MESURES	20
1- INJECTION DU COURANT	20
1-1 STRUCTURE DU SYSTEME	20
1-2 MONTAGE	22
2. MESURE DE TENSION	27
2.1 SELECTION DE LA MESURE	27
2.2 CONVERSION ANALOGIQUE – NUMERIQUE	28
CHAPITRE 4 : LA SERIALISATION	33
1. DESCRIPTION DE AY5 1013	33
2. CONFIGURATION MATERIELLE	44
3. MONTAGE	47
4. TEST DE TRANSFERT DE DONNEES	47
4.1 LIAISON SERIE - PARALLELE	47
4.2 LIAISON PARALLELE - SERIE	51
5. L'INTERFACE	55
5-2 MONTAGE GENERAL	59
5-3 PROGRAMMATION	59
CONCLUSION	64

LISTE DES FIGURES

Figure I-1-a	Structure du système	Page 6
Figure I-1-b	Principe général	Page 7
Figure I-2	Système d'injection	Page 8
Figure I-3	Système de mesure et de sérialisation	Page 10
Figure II-1	Générateur de courant	Page 12
Figure II-2	Convertisseur analogique- numérique	Page 12
Figure II-3	Principe de l'échantillonnage	Page 15
Figure II-4	Principe du CAN à approximation successive	Page 15
Figure II-5	Exemple de conversion	Page 17
Figure II-6	Trames de données	Page 19
Figure II-7	Schéma fonctionnel d'un UART	Page 19
Figure III-1	Structure de l'injecteur	Page 21
Figure III-2	Injecteur de courant	Page 23
Figure III-3	Sélecteur de courant	Page 24
Figure III-4	Réglage du temps d'injection	Page 26
Figure III-5	Sélection de mesure	Page 26
Figure III-6	Structure de ADC 0809	Page 30
Figure IV-1	Schéma fonctionnel de AY5 1013	Page 34
Figure IV-2	Chronogramme 1	Page 36
Figure IV-3	Chronogramme 2	Page 38
Figure IV-4	Chronogramme 3	Page 39

Figure IV-5	Schéma fonctionnel du bloc émetteur de l'UART	Page 40
Figure IV-6	Chronogramme 4	Page 42
Figure IV-7	Schéma fonctionnel du bloc récepteur de l'UART	Page 43
Figure IV-8	Schéma de base pour le test de transfert de données	Page 48
Figure IV-9	Trames de données Tx (DTE) pour l'envoi des caractères « W » et « p »	Page 50
Figure IV-10	Composition du mot binaire à transférer (test)	Page 53
Figure IV_11	Schéma du montage pour le test de transfert de données	Page 56
Figure IV-12	Circuit adaptateur de niveau RS 232 – MAX 232	Page 57
Figure IV-13	Montage utilisé pour les signaux de commande CTS et RTS	Page 58
Figure IV-14	Monostable	Page 60
Figure IV-15	Générateur du signal d'horloge	Page 60
Figure IV-16	Schéma du montage interface	Page 61
Figure IV-17	Circuit isolateur	Page 62
Figure C-1	Circuit de câblage côté soudure	Annexe
Figure C-2	Circuit de câblage côté composants	Annexe
Photo-1	Photo de la carte	Annexe
Photo-2	Photo du montage pendant le test	Annexe

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	Gamme de courant utilisée	Page 20
Tableau II	Adressage du 4051	Page 25
Tableau III	Valeur des résistances pour chaque courant	Page 25
Tableau IV	Adressage du 4052	Page 27
Tableau V	Adressage des entrées de ADC 0809	Page 29
Tableau VI	Résultat du test de conversion	Page 31
Tableau VII	Nombre de bits par caractère en fonction des états de NB1 et NB2	Page 35
Tableau VIII	Sélection du nombre de bit de données	Page 44
Tableau IX	Sélection de la parité	Page 45
Tableau X	Sélection du nombre de bit de stop	Page 45
Tableau XI	Configuration du récepteur	Page 46
Tableau XII	Configuration de l'émetteur	Page 46
Tableau XIII	Résultat du transfert série-parallèle	Page 51
Tableau XIV	Table de vérité	Page 55
Tableau XV	Programme pour l'injection du courant de 2mA	Page 63

GLOSSAIRE

ALE	Validation d'adresse, utilisé pour charger l'adresse sélectionnée du convertisseur (Address Latch Enable)
ASCII	Système de codage
Bauds	Nombre de bits par seconde envoyés ou reçus
BaudRate	Vitesse de transfert des données
Bits de données	C'est le nombre de bits transmis afin de coder un caractère
Bit de start	Un bit au 0 logique qui définit le début de la trame de données à transmettre
Bits de stop	Un ou 2 bits au niveau logique 1 qui marquent la fin d'une trame de données
BytesAvailable	Caractères disponibles
CAN	Convertisseur Analogique – Numérique
CMOS	Famille de circuits logiques (Complementary Metal Oxyd Silicon)
CS	Contrôle des bits d'états (Control strobe)
CTS	Prêt pour l'envoi. Le passage au 0 logique annonce que l'équipement opposé est prêt à recevoir (Clear To Send)
DAV	Données disponibles (Data Available)
DB1 à DB8	Bit de données (Data Bit)
DB9	Fiche pour port série comportant 9 broches
DCE	Equipement de communication de données (Data communication equipment)
DMUX	Démultiplexeur, circuit permettant d'aiguiller une des sorties vers une seule entrée
Diode Zener	Diode de régulation
DS	Contrôle et validation des bits de données (Data Strobe)
DTE	Equipement terminal de données (Data Terminal Equipment)
EOC	Fin de caractère (pour l'UART) (End Of Character)
EOC	Fin de conversion (pour le CAN) (End Of Conversion)
EPS	Sélection de parité (Even Parity Select)
FE	Erreur de trame (nombre de bits de stop non conforme) (Frame Error)
GND	Masse (Ground)
LED	Diode électroluminescente (Light Emitting Diode)
LSB	Bit de poids le plus faible (Lowest Significant Bit)
Monostable	Bascule stable sur un seul état
MSB	Bit de poids le plus fort (Most Significant Bit)
MUX	Multiplexeur, circuit permettant d'aiguiller une des entrées vers une seule sortie
NB1 et NB2	Nombre de bits de données pour fixer le nombre de bits du caractère (Number of Bits)
NP	Elimine ou non le bit de parité (No Parity)
OE	Sortie disponible. Met en ligne les sorties (Output Enable)
OR	Over Run
Parité	Un bit qui peut être rajouté à la suite des bits de données : Parité paire (even) : le bit transmis est un 0 si le nombre de 1 logique des bits de données est pair. Un 1 logique dans le cas contraire. Parité impaire (odd) : le bit transmis est un 0 si le nombre de 1 logique des bits de données est impair. Un 1 logique dans le cas contraire
PE	Erreur de parité (Parity Error)
RAO	Résistivimètre Assisté par Ordinateur

RCp	Signal d'horloge du récepteur (Receiver Clock Pulse)
RDE	Permission de lecture de données (Read Data Enable)
RS232	Type de port série
RTS	Request To Send ou demande d'envoi. Le passage à 0 logique demande à L'équipement opposé de se tenir prêt à recevoir
Rx	Données reçues (Received Data)
SI	Entrée série (Serial Input)
SIM	Système d'Injection et de Mesures
SO	Sortie série (Serial Output)
SWE	Permission des bits d'état (Status Word Enable)
TBMT	Tampon de l'émetteur vide (Transmitter Buffer Empty)
TCp	Signal d'horloge de l'émetteur (Transmitter Clock Pulse)
TSB	Nombre de bit de stop (Number of Stop Bit)
TTL	Famille de circuits logiques (Transistor Transistor Logic)
Tx	Données transmises (Transmitted Data)
UART	Récepteur émetteur asynchrone universel (Universal Asynchronous Receive Transmit)
ValuesReceived	Commande MATLAB permettant de connaître le nombre de données reçues
ValuesSent	Commande MATLAB permettant de connaître le nombre de données envoyées

INTRODUCTION

Le résistivimètre électrique est un appareil géophysique utilisé à l' Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (IOGA) . Il est conçu pour injecter un courant d'intensité I en deux points A et B de la surface du sol et mesurer la tension en deux points M et N. Il déduit de cette mesure la résistivité d'une partie du sous-sol.

Pour faire face aux problèmes cruciaux de maintenance et d'entretien de ces appareils, l'IOGA a mis l'accent dans sa politique de développement, sur l'instrumentation en géophysique à partir de l'année 2003. La compréhension du fonctionnement d'un matériel se fait par la connaissance de ses fonctions de base. Pour un résistivimètre du type ABEM SAS 300 (de marque suédoise), ses fonctions de base sont reprises, puis renouvées en utilisant les technologies de la «communication série » et les « protocoles » y afférents [9] [11] . Mon collègue RAKOTONDRAFARA Hobiniaina et moi-même nous efforcerons d'apporter quelques éléments de réponses aux problèmes suivants :

- synthétiser les signaux sériels d'un PC pour générer un courant continu I dans le sol par l'intermédiaire des électrodes d'injection,
- évaluer la différence de potentiel aux bornes des électrodes de mesures.

A cette fin, un système d'injection du courant et de mesure de tension a été développé dans ce rapport. Le système matériel, relié à un ordinateur, s'intègre dans une famille de logiciels permettant à l'utilisateur d'exploiter les données de résistivité qui lui parviennent depuis les électrodes. Dans la chaîne de mesure ainsi constituée, nous distinguons quatre entités :

- « l'injection » est un ensemble matériel/logiciel qui assure les contrôles et les commandes des courants à injecter aux électrodes A et B,
- « la mesure » est un ensemble matériel/logiciel qui assure l'acquisition de données géophysiques à partir des électrodes M et N,
- « l'adaptation et la mise en forme » est un ensemble matériel/logiciel qui diffuse les informations entre les différentes entités,
- « le calcul » est un logiciel interactif de mesure des paramètres géophysiques à partir des signaux isolés par « la mesure » afin de déterminer la résistivité des couches du sous-sol.

Ce rapport comportant quatre chapitres, n'aborde pas en détail les fonctionnements des logiciels. Ils sont confiés à mon collègue RAKOTONDRAFARA Hobiniaina. Néanmoins quelques références à ces logiciels seront nécessaires pour bien comprendre le fonctionnement du système injection/mesure (SIM). Dans le chapitre 1, nous faisons le tour d'horizon des fonctionnalités générales d'un résistivimètre électrique. Nous décrivons au second chapitre, les bases théoriques de notre SIM. Le chapitre 3 relate le fonctionnement et la réalisation pratique de notre système. Le dernier chapitre est consacré à la sérialisation ainsi que les flux d'informations et de données qui transitent dans ce système. Ce système a été conçu pour être redondant, mais la redondance ne s'applique qu'à la partie « mesure ». La resistivité obtenue résulte de plusieurs mesures de tension et d'une seule injection de courant.

CHAPITRE 1 : LE RESISTIVIMETRE ELECTRIQUE

La résistivité électrique caractérise le sol par sa capacité à laisser passer le courant électrique. La méthode géophysique associée, appelée prospection électrique, repose sur l'étude de la circulation d'un courant dans le sol et, par conséquent, fait intervenir les contrastes de résistivité électrique des roches. L'appareil qui sert à mesurer la résistivité électrique du sol est appelé résistivimètre.

1. LES PRINCIPALES FONCTIONS D'UN RESISTIVIMETRE

Le résistivimètre est conçu pour délivrer un courant suffisant pour une distance d'électrodes allant jusqu'à 1000m, dans les conditions normales de mesure. Cet appareil est muni de deux dispositifs :

- un dispositif d'émission comprenant deux électrodes d'injection A et B reliées par un câble à un générateur de courant continu et un ampèremètre,
- un dispositif de réception utilisant deux électrodes M et N reliées aux bornes d'un voltmètre.

L'émetteur, isolé électriquement, injecte un courant constant dont le signal correspondant est défini selon le besoin de mesure de résistivité. L'amplitude varie de 2 à 200 mA pour une tension de 150V.

Le récepteur traite le signal composite obtenu et élimine le bruit. Il mesure, ensuite, la tension corrélée avec le courant émis. Ce signal résulte de la superposition de tensions d'origines et de formes différentes comme la polarisation spontanée(PS) et le courant tellurique. La PS est normalement continue tandis que le courant tellurique est variable dans le temps et sa gamme de fréquence est très large. L'étage de discrimination permet d'éliminer ces signaux ou de ne conserver que les composantes utiles. Le signal servant à la mesure de la résistivité est extrait des différentes alternances.

Le microprocesseur assure la coordination et le contrôle des opérations citées auparavant. Il commande l'affichage des résultats, la durée d'accumulation du signal reçu, et surtout la détection des erreurs d'opération et/ou des conditions de mesures incorrectes. Un code des principales

erreurs peut être affiché à la fin de chaque mesure. Le microprocesseur récupère également les valeurs répétées et en calcule la moyenne avant de donner le résultat correspondant.

2. L' ASSISTANCE D'UN ORDINATEUR

L'assistance d'un ordinateur à un appareil de mesure intervient le plus souvent au sein d'une chaîne d'acquisition numérique. L'appareil de mesure y constitue l'unité d'acquisition des informations. Son rôle est de donner une image interprétable d'une grandeur ou d'un phénomène physique de manière à pouvoir l'intégrer dans un processus plus vaste. L'ordinateur assume les tâches de traitement, de gestion (archivage) et de surveillance (visualisation des informations acquises). Ces deux entités sont les pièces maîtresses de la chaîne. Une unité de mise en forme et d'adaptation des signaux est donc introduite pour interpréter les informations résultant de l'acquisition dans un langage compréhensible par l'ordinateur. Cette unité établit aussi la communication entre l'acquisition et le PC en jouant le rôle d'interfaces matériels et/ou logiciels [3].

Le résistivimètre électrique tel que nous l'avons décrit ci-dessus satisfait à toutes les conditions requises pour être considéré comme une chaîne d'acquisition numérique complète. En effet, les électrodes jouent les rôles de l'élément d'acquisition. L'émetteur et le récepteur sont les éléments de mise en forme et d'adaptation des signaux. Le microprocesseur assume les fonctions de stockage, de calcul et de visualisation. Afin de mieux comprendre le fonctionnement interne d'un résistivimètre électrique, sans chercher à devenir des spécialistes des instrumentations géophysiques, nous avons conçu notre Résistivimètre, Assisté par un Ordinateur PC portable (RAO).

Notre chaîne d'acquisition, calqué sur le principe de fonctionnement d'un résistivimètre électrique, comprend :

- un PC portable muni du logiciel MatLab,
- un convertisseur analogique numérique (CAN) et une interface série RS232C [9] [11],
- un injecteur de courant constant à transistor bipolaire,

3. ARCHITECTURE DU SYSTEME

La figure I.1 donne le schéma fonctionnel de notre système. Le programme écrit sous MATLAB du PC permet de :

- sélectionner l'intensité du courant à injecter,
- injecter le courant aux électrodes A et B,
- mesurer la tension entre les électrodes M et N (?V)
- mesurer le courant traversant M et N (I)
- afficher la résistivité
- stocker les valeurs de la résistivité

L'adaptation des signaux et les échanges d'information sont assurées par le CAN et l'interface RS232. L'interface RS232 utilise un circuit UART pour connecter le système d'injection au PC par l'intermédiaire du port série. Les signaux analogiques résultant de la mesure sont numérisés à l'aide d'un Convertisseur Analogique Numérique [5][10], puis acheminés vers le PC à travers l'UART.

Le système d'injection sur la figure I.2 comprend :

- la trame de commande d'injection transformée en parallèle par l'UART [9] [11],
- un relais commandé par un monostable, permettant d'alimenter le générateur de courant et le convertisseur continu – continu,
- un générateur de courant régulé à transistor bipolaire,
- un sélecteur de courant muni d'un multiplexeur,
- un convertisseur continu-continu transformant la tension 12 volts en une tension continue 150 volts utilisée dans l'injecteur.

Pour des raisons de commodité, le système d'injection est équipé d'un sélecteur à multiplexeur pour traiter les signaux composites résultant de la mesure. Notre injecteur va jouer le rôle d'élément d'acquisition de la chaîne.

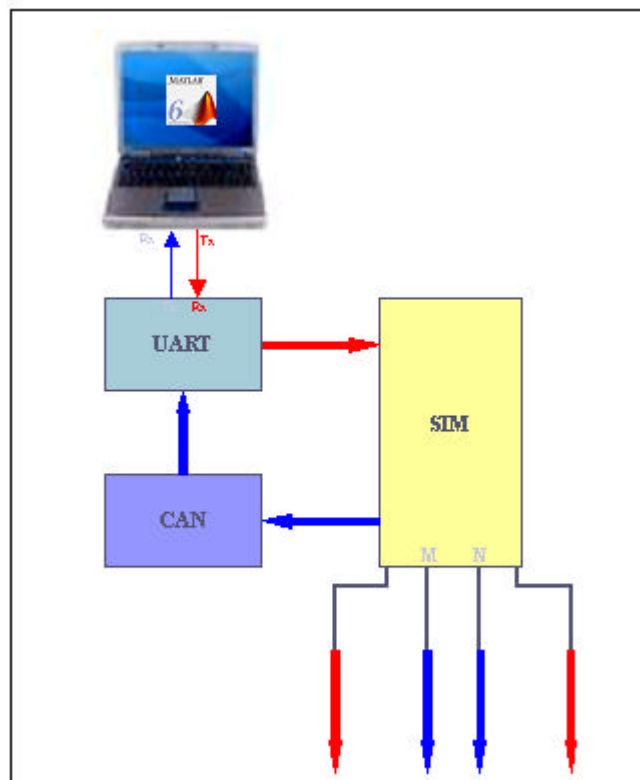


Figure I-a
Structure du système

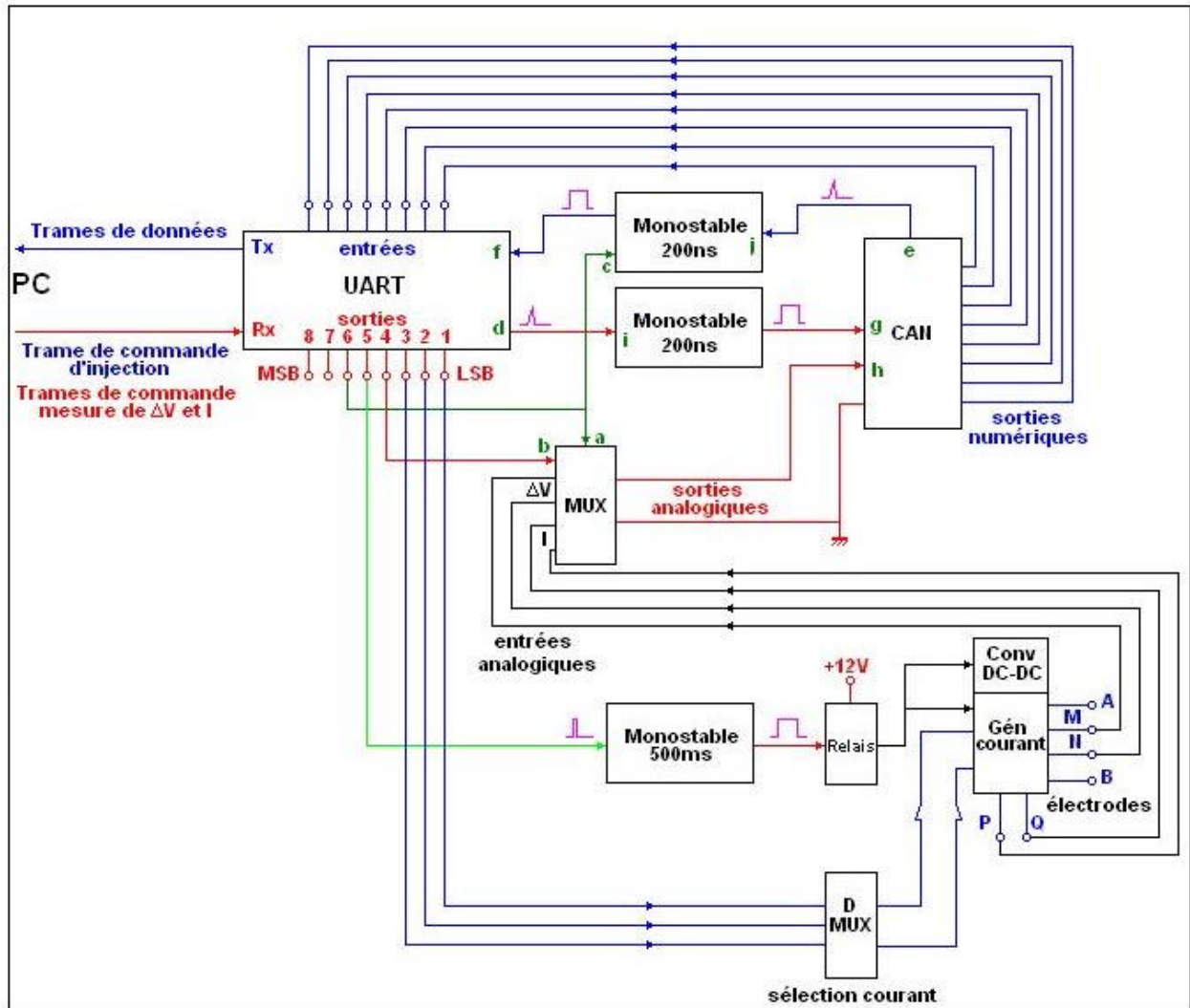


Figure I-1-b
Principe général

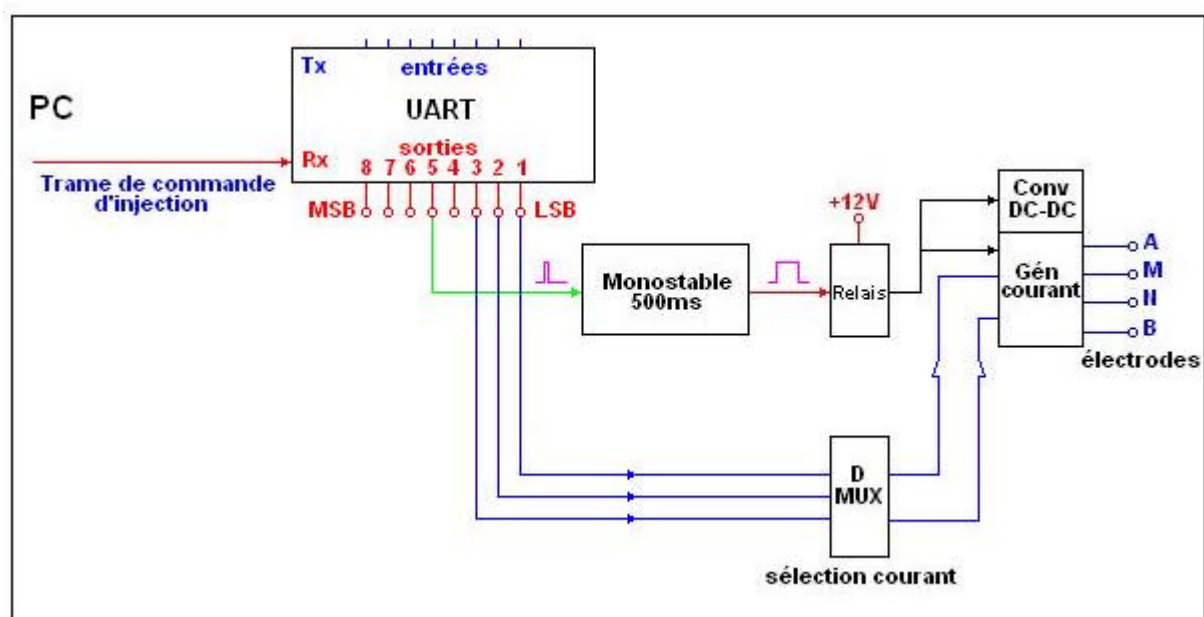
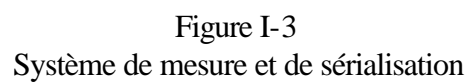


Figure I-2
Système d'injection

Le système de mesure, de numérisation et de sérialisation sur la figure I.3 comprend :

- Un multiplexeur – démultiplexeur du type CD4052 permettant de sélectionner la mesure à effectuer [6] [8]
- un convertisseur analogique – digital 8 bit du type ADC 0809 [1]
- un UART du type AY5 1013 permettant de convertir les trames de commande de mesure en données parallèles et les données parallèles issues du CAN en trame de données séries [4][11]
- les monostables qui sont utilisés pour avoir sur leurs sorties des largeurs d'impulsions égales à 200ns



CHAPITRE 2 : LE SYSTEME D'INJECTION/MESURE : LES BASES THEORIQUES

Le système d'injection/mesure ou SIM fonctionne en deux temps :

- la trame de commande d'injection délivrée par le PC est transformée en données parallèles par l'UART [4][11], et commande le générateur de courant,
- en retour, les grandeurs analogiques récupérées par les électrodes de mesures sont numérisées par un convertisseur analogique-numérique (CAN) [1][10]. Les données parallèles, converties en trame de données série sont acheminées vers le PC.

1. LE GENERATEUR DE COURANT

Le niveau logique des trames du PC ne peut fournir un courant d'intensité suffisante pour être acheminé directement aux électrodes d'injection. Le courant traversant ces électrodes doit avoir une valeur très précise. C'est pourquoi il est nécessaire d'introduire un générateur de courant à transistor bipolaire (Figure II.1).

Le principe de base d'un tel générateur de courant est celui d'un amplificateur à impédance de sortie élevée à charge faible. Le courant circulant dans les électrodes d'injection est déterminé à partir de la tension V_E et de la résistance R_E de l'émetteur du transistor bipolaire.

$$V_E = R_E \cdot I_E \quad (1)$$

Le générateur de courant délivre l'intensité nécessaire pour augmenter la tension aux bornes de R_E . Ce montage permet d'avoir un courant constant dans les électrodes d'injection, indépendant des variations de résistances pouvant intervenir dans le circuit alimenté, en particulier celle de la charge. En effet, pour une tension de référence V_Z , les courants de l'émetteur I_E et de charge I_C sont pratiquement identiques à cause du gain β très élevé (~ 100) de l'amplificateur. Ils s'écrivent :

$$I_E \approx \beta \cdot I_B = I_C \quad (2)$$

$$I_C = I_E = (V_Z - V_{BE}) / R_E \quad (3)$$

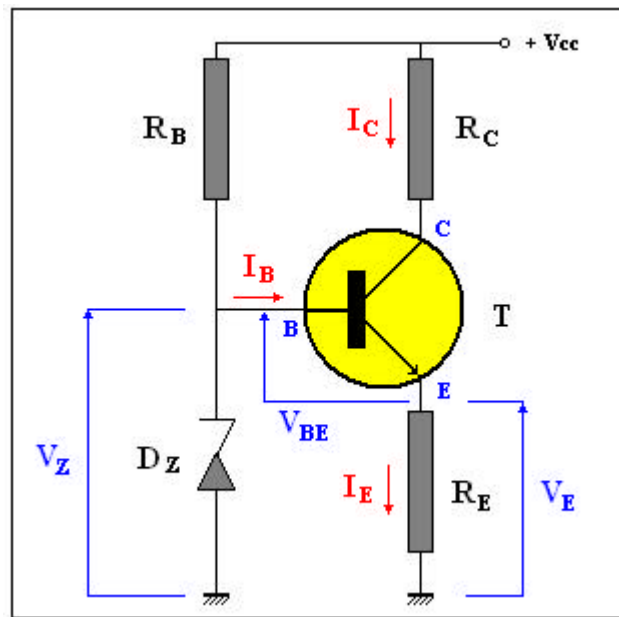


Figure II-1
Générateur de courant

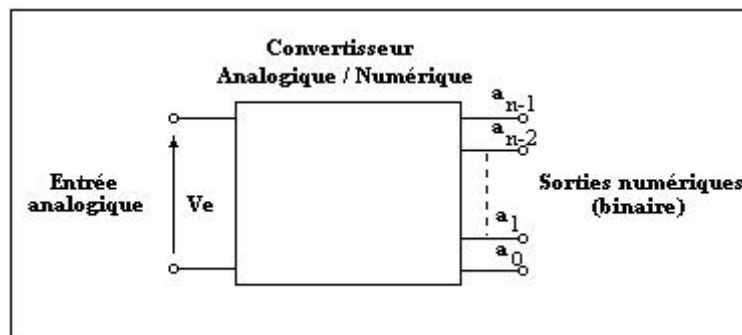


Figure II-2
Convertisseur Analogique-numérique

Dans l' expression (3), nous pouvons constater que I_c ne dépend que de V_z et de R_E car V_{BE} est une constante qui dépend de la nature du transistor (0,6V pour le Silicium). Nous en concluons que I_c et I_E sont complètement indépendants de la résistance de charge R_c

2. LA MESURE DE TENSION

Les signaux électriques issus des électrodes de mesures sont analogiques par nature. Ils nécessitent une conversion analogique numérique pour les relier au processeur numérique. Conceptuellement, on peut considérer la conversion A-N comme un processus faisant intervenir trois actions successives : l'échantillonnage à période fixe T_e , la quantification du signal et son codage. Pratiquement, ces opérations sont effectuées dans un même élément, le convertisseur A-N (CAN) [1], qui reçoit le signal analogique et le convertit en un signal discret quantifié (Figure II.2) [10].

2-1 LA CONVERSION

Un Convertisseur Analogique Numérique (CAN) recevant à son entrée un échantillon d'un signal analogique, produit à sa sortie un signal numérique codé en binaire sur n bits. La relation (4) [10]. entre la grandeur analogique V_a et la grandeur numérique s'écrit :

$$\underset{\text{Grandeur analogique}}{V_a} = \frac{1}{2^n} \cdot V_{\text{ref}} \cdot \underset{\text{Grandeur numérique}}{[b_{n-1}2^{n-1} + \dots + b_12^1 + b_0]}$$

V_{ref} est la tension de référence. b_0 représente le bit de poids le plus faible ou LSB (Lowest Significant Bit). b_{n-1} représente le bit de poids le plus fort ou MSB (Most Significant Bit). La valeur $V_a \text{ max}$ correspondant à l'état 1 de tous les bits est donnée par la relation (5) :

$$V_{a \text{ max}} = \frac{2^n - 1}{2^n} V_{\text{ref}}$$

[5]

2-2 LES ETAPES DE LA CONVERSION

La conversion se fait en général en 2 étapes : « Echantillonnage » ou prélèvement de la valeur du signal à l'instant t et la « quantification et codage » ou opération de maintien de la valeur en aval et association à une valeur entière codée en binaire.

[5] [10]

Echantillonnage :

L'échantillonnage consiste à découper le signal continu par intervalle de temps régulier à l'aide d'un signal horloge appelé horloge d'échantillonnage. Chaque échantillon est repéré par son numéro d'ordre n (entier positif) à l'instant nT_e . Cette suite de valeurs, notée $s(nT_e)$ (Figure II.3) est représentative du signal d'entrée dans la mesure où la période d'échantillonnage satisfait aux conditions de SHANNON.

Quantification et codage :

Après échantillonnage, le CAN effectue la numérisation et délivre des séquences numériques codées avec un pas de quantification Q dépendant du nombre de bits du convertisseur. La quantification consiste à associer à la valeur réelle $s(n)$ échantillonnée et bloquée, la valeur numérique entière la plus proche.

2-3 CAN A APPROXIMATIONS SUCCESSIVES

2.31 Caractéristiques essentielles d'un CAN

Résolution :

Le nombre de bit du convertisseur définit sa résolution. Pour n bits, l'échelle des grandeurs analogiques est divisée en 2^n . La résolution est la plus petite variation de la grandeur d'entrée que le convertisseur peut convertir. Elle correspond à 1 LSB.

Temps de conversion :

C'est le temps minimum nécessaire au convertisseur pour stabiliser une donnée numérique à la sortie après avoir appliqué une tension analogique stable à l'entrée du convertisseur. Cette caractéristique fixe la fréquence maximale de travail.

[5] [10]

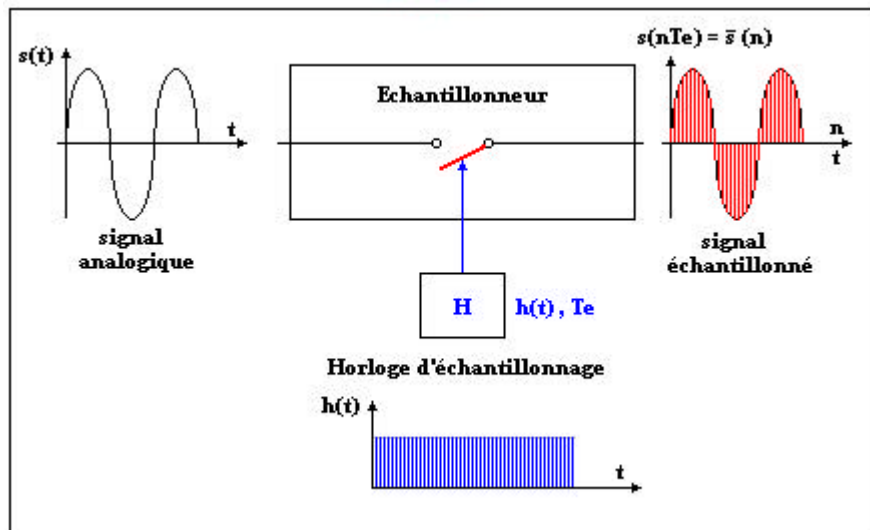


Figure II-3
Principe de l'échantillonnage

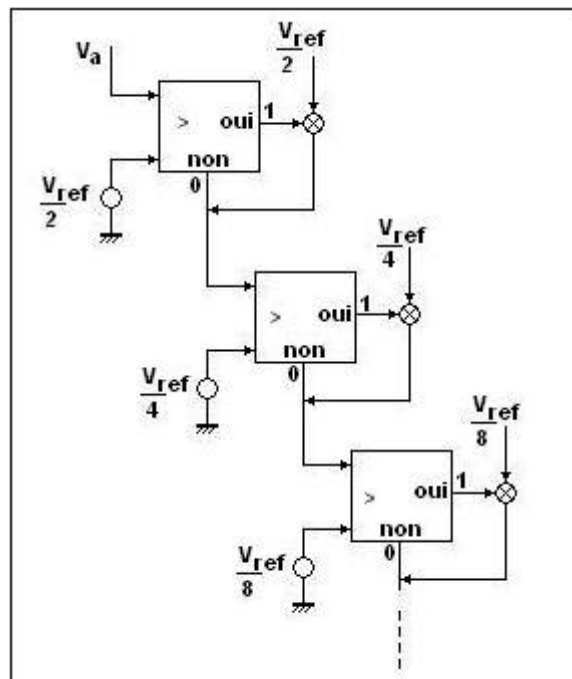


Figure II-4
Principe du CAN à approximations successives

2.32 Structure d'un convertisseur à approximations successives

Les convertisseurs analogiques – numériques à approximations successives sont des systèmes bouclés autour d'un convertisseur numérique – analogique. Une conversion à n bits se fait en n étapes successives. Chaque étape permet de fixer un des bits du mot binaire, en commençant par le bit de poids le plus fort (MSB), et en terminant par le bit de poids le plus faible (LSB). Le signal analogique V_a est comparé à une tension de référence V_{ref} . S'il est supérieur à $V_{ref}/2$, on lui retranche cette valeur et on met le bit de comparaison à «1», sinon on met le bit de comparaison à «0» et on le compare à la tension suivante (Figure II.4). On effectue ainsi un encadrement de plus en plus fin. Pour un convertisseur A-N n bits, en n coups on obtient la conversion.

Exemple de conversion :

Le système de codage parcouru par le CAN peut être représenté par un arbre de décision (Figure II.5) :

- a- La combinaison de départ est : 1000
Comparaison : $V_a > V_{ref} / 2$
Résultat : oui
Le MSB est égal à 1. On passe à la deuxième comparaison.
- b- La deuxième combinaison est : 1100
Comparaison : $(V_a - V_{ref} / 2) > V_{ref} / 4$
Résultat : non
Le second bit est alors égal à 0 c'est à dire la combinaison est 1000. On passe à l'étape suivante.

3. ADAPTATION ET MISE EN FORME DES SIGNAUX

L'information numérique issue du convertisseur est codée sur n bits et se présente sous forme de données parallèles. Pour pouvoir l'acheminer vers l'ordinateur, les données

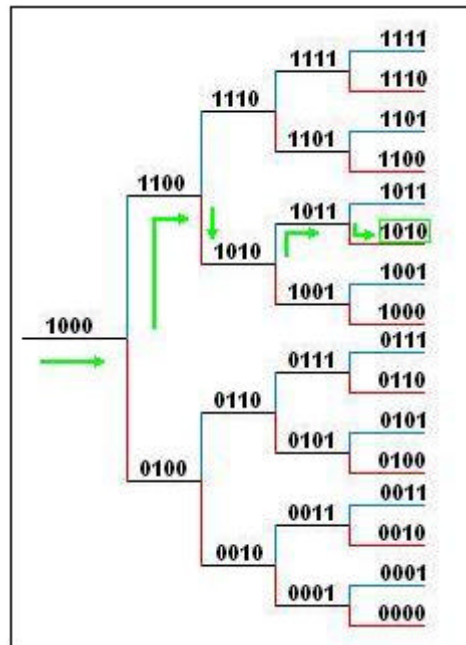


Figure II-5
Exemple de conversion

parallèles sont converties en données série. Inversement, les données série venant du PC sont traduites par l'UART en données parallèle [9] [11].

Ainsi, pour différencier les signaux de données des signaux de commande sur une liaison RS232C, on utilise :

- la « logique négative » pour les signaux de données : Les données sont transmises en état inversé, c'est à dire, une tension positive représente 0, tandis qu'une tension négative représente 1.
- la « logique positive » pour les signaux de commande : L'état 1 correspond à une tension positive égale à 5 volts, l'état 0 correspond à 0 volt.

La figure II.6 suivante représente les niveaux logiques d'une trame de données.

Un **UART** (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) est un convertisseur série – parallèle et parallèle – série [9] [11], et dispose de deux fonctions :

- Accepter des données en parallèle et les convertir en une série de bits
- Prendre une série de bits et la convertir en données parallèles.

Le schéma fonctionnel d'un UART est représenté sur la figure II.7. Tout UART comporte trois modules :

- Un émetteur
- Un récepteur
- Un module de contrôle

L'UART dispose d'un port de sortie pour communiquer avec un système micro-ordinateur.

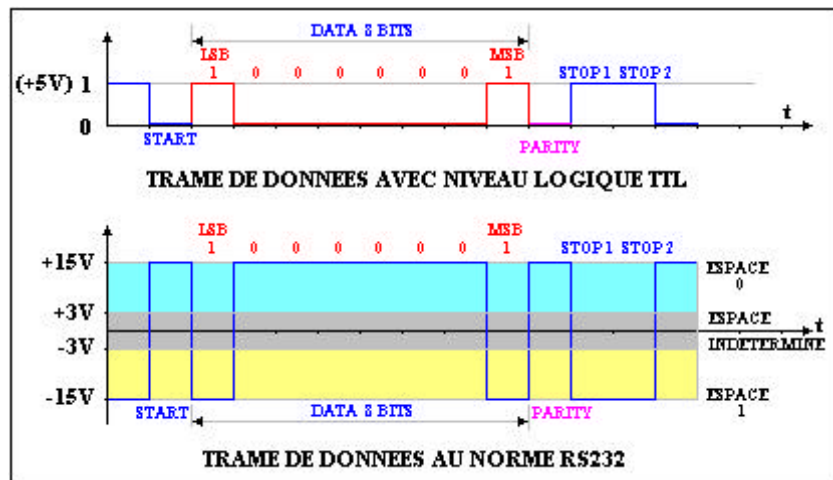


Figure II-6
Trame de données

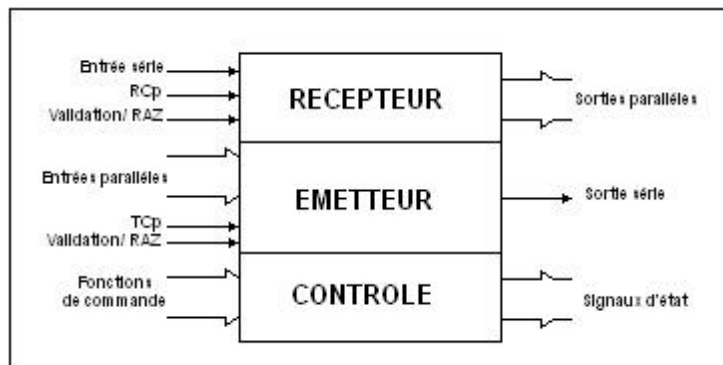


Figure II-7
Schéma fonctionnel d'un UART

CHAPITRE 3 : FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'INJECTION ET MESURES

Le système injection/mesure (SIM) a été conçu pour fonctionner avec les trois unités physiques suivantes :

- L'unité d'injection ou injecteur,
- L'unité de mesure,
- L'unité d'adaptation et de mise en forme.

1- INJECTION DU COURANT

1-1 STRUCTURE DU SYSTEME

Le schéma fonctionnel de l'injecteur est représenté sur la figure III.1. Le convertisseur continu-continu transforme la tension continue 12V en une tension continue 150V. L'injecteur possède également les éléments suivants :

- Un générateur de courant .
- Un sélecteur de courant. Celui-ci fixe la valeur du courant injecté. Etant limité par le composant disponible, nous avons fixé la gamme de courant à 8 valeurs. Le multiplexeur / démultiplexeur analogique CD 4051 [8] ne dispose que de 3 entrées de commande A B C, correspondant à 8 valeurs. Aucune règle précise n'a été adoptée pour l'affectation des bits à ces valeurs.

Courant (mA)	C (RD3)	B (RD2)	A (RD1)
2	0	0	0
5	0	0	1
10	0	1	0
20	0	1	1
50	1	0	0
100	1	0	1
150	1	1	0
200	1	1	1

Tableau I : Gamme de courant utilisée

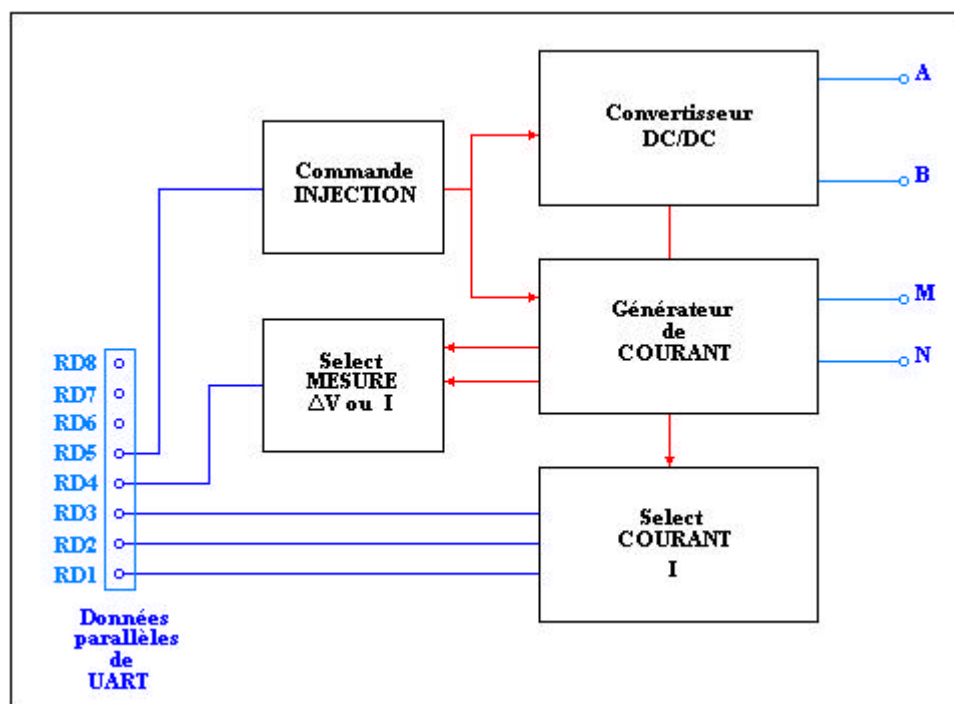


Figure III-1
Structure de l'injecteur

- Une commande d'injection. Elle permet de faire fonctionner le convertisseur DC/DC et le générateur de courant. RD5 est utilisé pour cette commande :
 - RD5 = 0 pas d'injection
 - RD5 = 1 injection de courant
- Un autre sélecteur (CD 4052) [8] est utilisé pour sélectionner la mesure à faire : ?V ou I. Dans ce cas, la voie RD4 définit la sélection de la mesure :
 - RD4 = 0 pour la mesure de ?V
 - RD4 = 1 pour la mesure de I
- Le bus des données parallèles RD1 à RD8 de l'UART [4].

1-2 MONTAGE

Générateur de courant :

Le schéma du montage est représenté sur la figure III.2. Le transistor T sur le schéma de base du générateur de courant (Figure II.1) est remplacé par 2 transistors NPN montés en Darlington. Ce montage présente l'avantage d'appliquer un courant de base de très faible valeur pour faire sortir un courant important au collecteur et à l'émetteur. On n'a pas besoin d'une résistance de forte puissance dans le circuit de base.

Sélecteur de courant :

Le montage illustré sur la Figure III.3 utilise un multiplexeur - démultiplexeur du type CD 4051 (fonctionnant en démultiplexeur). Le CD 4051 comporte :

- 8 bits de sortie (1, 2, 4, 5, 12, 13, 14, 15) connecté chacun à la base d'un transistor NPN.
- 3 bits d'adresse (9,10,11) pour sélectionner une sortie.
- L'entrée (3) est liée à la tension d'alimentation +5V.

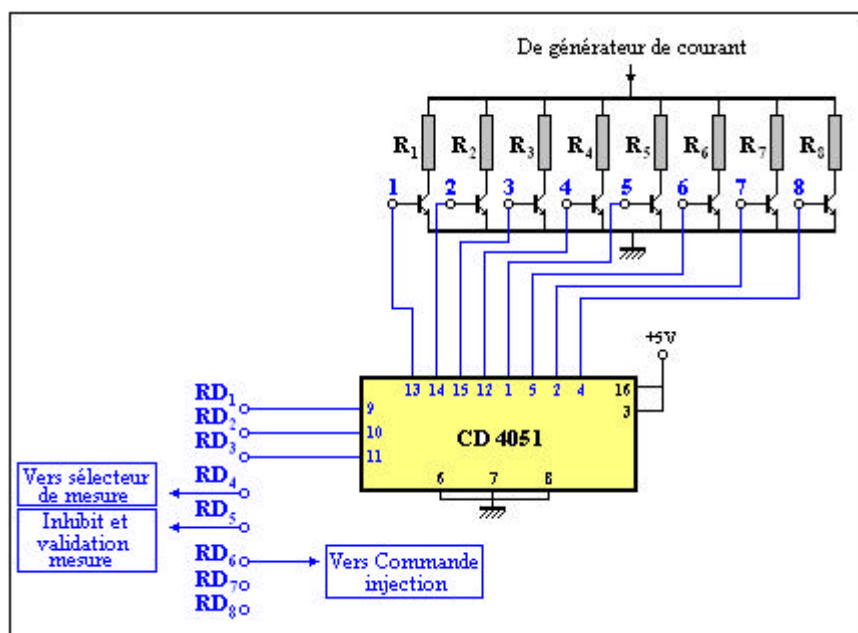


Figure III-3
Sélecteur de courant

SELECTEUR			
C (11)	B (10)	A (9)	Sorties
0	0	0	1
0	0	1	2
0	1	0	3
0	1	1	4
1	0	0	5
1	0	1	6
1	1	0	7
1	1	1	8

Tableau II : Adressage du 4051

La sortie sélectionnée est reliée à l'entrée connectée à +5V. Cette tension est utilisée pour saturer un transistor NPN. La valeur de la résistance de charge, placée au collecteur du transistor est déterminée en fonction de la tension Zener de D_z et du courant à injecter. Le Tableau III suivant donne les valeurs adoptées pour chaque intensité du courant à injecter :

Courant	Résistance
2	4100
5	1640
10	820
20	410
50	164
100	82
150	54
200	41

Tableau III : Valeur des résistances pour chaque courant

Les courants sont exprimés en **mA** et les résistances en **Ohms**. Ces valeurs sont calculées pour $V_z = 8,2 \text{ Volts}$.

Commande d'injection :

La commande d'injection est constituée par un monostable dont la sortie est utilisée pour commander un relais placé dans le circuit du collecteur du transistor T3. (Figure III.4)

- Une impulsion positive sur RD5 déclenche la bascule monostable. La largeur de l'impulsion à la sortie de la bascule est fixée par la durée de toutes les opérations pour une mesure : sélection de I, injection, mesure de V_z , mesure de I.

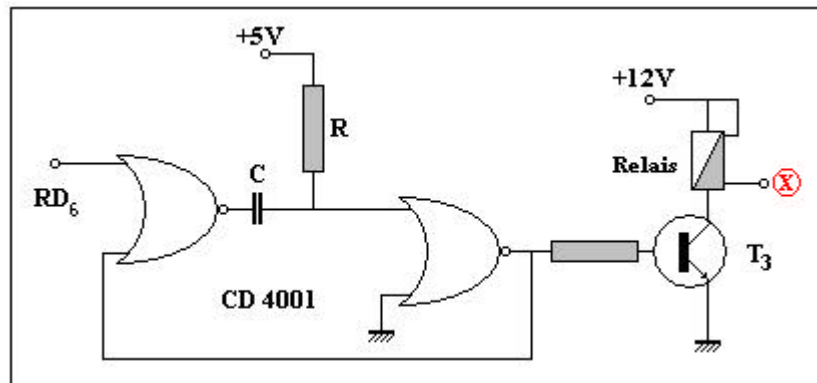


Figure III-4
Circuit de réglage du temps d'injection

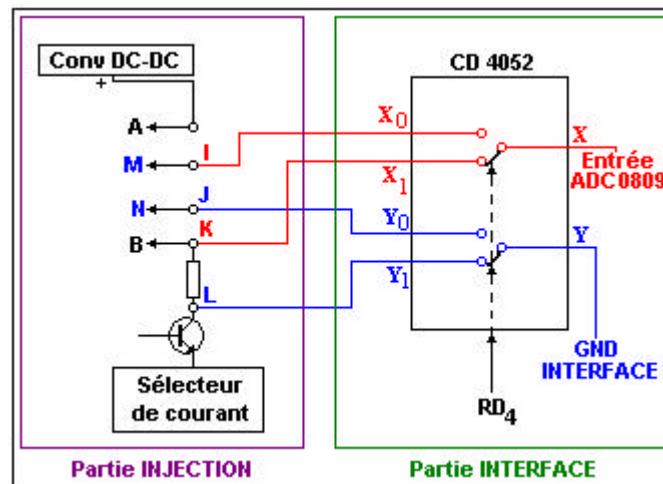


Figure III-5
Sélection de mesure

- Le transistor T_3 fonctionne en régime de commutation [5], c'est à dire bloqué lorsque la sortie de la bascule est à 0, et saturé lorsque la sortie de la bascule est à 1 (+5V).

Remarque : L'alimentation de la partie INJECTEUR est indépendante de celle de l'INTERFACE.

2. MESURE DE TENSION

2.1 SELECTION DE LA MESURE

La sélection de la mesure est assurée par le multiplexeur – démultiplexeur du type CD 4052 (fonctionnant en multiplexeur) [8]. Il comporte deux fois 4 canaux analogiques :

- 4 entrées X_i et une sortie X
- 4 entrées Y_j et une sortie Y
- 3 pins de contrôle dont 2 bits pour l'adressage des entrées et 1 bit d'inhibition.

Nous n'avons utilisé qu'un seul bit pour l'adressage car seules 2 entrées pour chaque série sont utilisées (Figure III.5).

RD4	X	Y	Commentaires
0	X_0	Y_0	Mesure de $?V$: $X_0 = M$ et $Y_0 = N$
1	X_1	Y_1	Mesure de I : $X_1 = K$ et $Y_1 = L$

Tableau IV : Adressage du 4052

- Si $RD_4 = 0$:

La sortie X est connectée à $X_0 = M$

La sortie Y est connectée à $Y_0 = N$

On effectue la mesure de $?V$

- Si $RD_4 = 1$:

La sortie X est connectée à $X_1 = K$

La sortie Y est connectée à $Y_1 = L$

Pour s'assurer des valeurs nominales de l'intensité injectée, nous avons introduit un élément permettant d'évaluer la tension V_R , puis d'en déduire la valeur de I. Le pin 6 –INHIBIT est utilisé pour isoler les entrées et les sorties lorsqu'on ne fait pas de mesures :

- INHIBIT = 1 mesure non autorisée
- INHIBIT = 0 mesure autorisée

2.2 CONVERSION ANALOGIQUE – NUMERIQUE

2-2-1 STRUCTURE DE ADC 0809

L'ADC 0809 est un composant utilisé dans un système d'acquisition de données. Il utilise la technologie CMOS (Complementary Metal Oxyd Silicon) monolithique, comportant (Figure III.6) [1] [10] :

- Un convertisseur analogique – numérique à approximations successives, divisé en 3 grandes parties :
 - Un réseau de résistances (R)
 - Le comparateur (K)
 - Le registre d'approximations successives (SAR)
- Un multiplexeur 8 entrées (MUX) avec son décodeur d'adresse (D)
- Un logique de contrôle (L).

Caractéristiques :

Ses principales caractéristiques sont énoncées ci-dessus :

- adaptation facile à un microprocesseur
- Pas d'ajustage à zéro
- 8 entrées multiplexée avec adresses logique
- Niveau d'entrée de 0 à 5 volts.

- Alimentation : +5 volts
- Niveau de sortie TTL
- Résolution : 8 bits
- Erreur de conversion : ± 1 LSB
- Consommation : 15mW
- Temps de conversion : 100 μ s
- Type de boîtier : 28 pins DIP

2-2-2 MONTAGE ET TEST DE CONVERSION

Montage :

Pour faire fonctionner le convertisseur, 7 pins de contrôle sont à configurer :

- Les 3 pins d'adresse A,B,C
- ALE
- Clock
- Start
- OE

a- Pour chaque entrée analogique du multiplexeur, la combinaison sur (CBA) des pins d'adresse A,B,C énumérée sur le Tableau V suivant permet de sélectionner cette entrée.

Entrée	C	B	A
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

Tableau V : Adressage des entrées de ADC 0809
La ligne en gris est utilisée

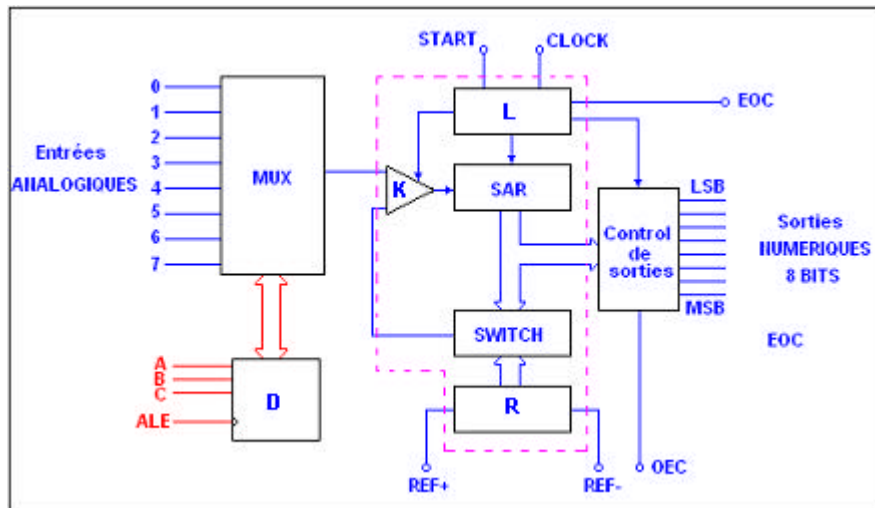


Figure III-6
Structure de ADC 0809
(Datasheet de National Semiconductor)

b- L'ALE est utilisé pour charger l'adresse sélectionnée du convertisseur. A cet effet, on doit lui fournir une impulsion de largeur minimale 100 ns et 200ns au maximum. La connexion sur START est nécessaire lorsque la fréquence de l'horloge est inférieure ou égale à 500kHz, autrement, on doit charger l'adresse avant le démarrage de la conversion.

c- L'opération de conversion nécessite un signal d'horloge CLOCK de fréquence comprise entre 10 kHz et 1280kHz.

d- Un état 1 sur OE permet de connecter le registre de sortie à la ligne de sortie. Ainsi le signal de sortie, initialement à l'état 1, bascule à zéro au début d'une conversion et reste à ce niveau jusqu'à la fin de cette conversion (t_c).

Test de conversion :

$$V_{\text{ref}} = 5 \text{ Volts}$$

$$V_a = 2,6 \text{ Volts}$$

SORTIES	Q-1	Q-2	Q-3	Q-4	Q-5	Q-6	Q-7	Q-8
POIDS	2,5	1,25	0,625	0,3125	0,15625	0,078125	0,039063	0,019532
Théorique	1	0	0	0	0	1	0	1
Obtenu	1	0	0	0	0	1	0	1

	2,5	0	0	0	0	0,0781	0	0,0195
SOMME	2,5976							

Tableau VI : Résultat du test de conversion

Le tableau ci-dessus récapitule les résultats théoriques et mesurés de la conversion :

- La première ligne représente les bits de sortie.
- La deuxième ligne représente les poids de chaque bit, exprimés en volts
- La troisième ligne représente le résultat théorique de la conversion, sous forme d'octet
- La quatrième ligne représente le résultat réel de la conversion, en octet
- La ligne en bleue représente les valeurs de chaque bit, en volts

- f. La dernière ligne donne la somme de tous les bits

Remarques : La relation (4) permet aisément de calculer la somme précédente à partir du mot binaire et d'évaluer l'erreur de conversion.

- g. L'exemple pris suivant donne une illustration et montre que l'erreur de conversion est complètement négligeable.

$$V_a = 2,6 \text{ Volts}$$

$$V_{a,c} = 2,5976 \text{ Volts}$$

$$V_a - V_{a,c} = \mathbf{0,0023 \text{ Volt}}$$

1 LSB correspond à 0,0195 Volt.

L'erreur entre les deux valeurs $V_a - V_{a,c} \ll 1 \text{ LSB}$

CHAPITRE 4 : LA SERIALISATION

1. DESCRIPTION DE AY5 1013

L'AY5 1013 est un UART fabriqué par GI (General information) [4]. Il présente les caractéristiques suivantes :

- Compatible TTL
- Opération Full Duplex
- Vitesse de transfert élevée
- Faible consommation
- Entrées protégées
- 40 pins DIP

Son schéma fonctionnel est présenté sur la figure IV-1. L'UART est divisé en deux grandes parties indépendantes :

- La partie EMETTEUR avec son unité de contrôle
- La partie RECEPTEUR avec son unité de contrôle

L' EMETTEUR dispose des voies suivantes :

- ✓ Entrée d'horloge : elle reçoit le signal d'horloge de fréquence égale à 16 fois la vitesse de transfert des données (bauds) .Cette entrée correspond à la broche 40 : **TCp**
- ✓ La sortie série **SO** située sur la broche 25
- ✓ Une sortie donnant une impulsion chaque fois qu'une donnée est transmise à la sortie SO : **EOC** (End Of Character – pin 24)

Sur le bloc de contrôle, on distingue :

- ✓ A l'état 1, l'entrée **CS** de la broche 34 permet de définir le format des données à l'aide des bits de contrôles EPS, NB1, NB2, TSB, NP en les connectant au registre tampon

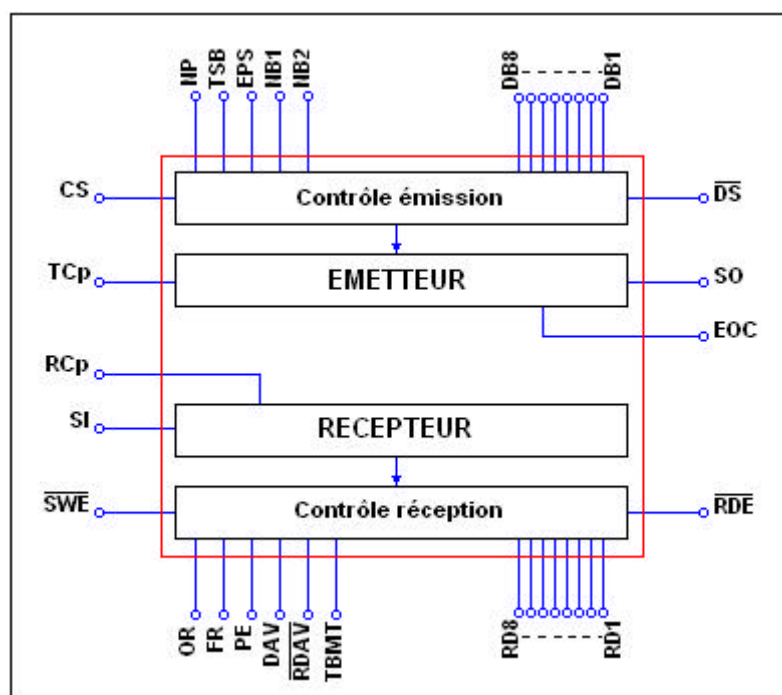


Figure IV-1

Schéma fonctionnel de AY5 1013

(Datasheet de General Information)

du bloc d'émission. Les différentes broches associées assurent les fonctionnalités suivantes :

- ✓ La broche 39 de sélection des parités ou **EPS** permet de définir le type de parité : paire ou impaire, un niveau bas pour impaire (odd), et un niveau haut pour paire (even).
- ✓ La broche 36 **TSB** détermine le nombre de bit de stop. Un niveau bas pour 1 bit de stop, un niveau haut pour 2 bits de stop.
- ✓ L'état 1 sur l'entrée **NP** de la broche 35 élimine le bit de parité de la trame de données. Les bits de stop arrivent immédiatement après les données dans ce cas.
- ✓ Les broches **NB1** et **NB2** (38 et 37) déterminent le nombre de bit de données (5 à 8) dans une trame selon le tableau ci dessous :

Bits/Caractère	NB2	NB1
5	0	0
6	0	1
7	1	0
8	1	1

Tableau VII : Nombre de bits par caractère en fonction
des états de NB1 et NB2

- ✓ Les broches **DB1** à **DB8** (26 à 33) sont les entrées 8 bits parallèles.
- ✓ La sortie **TBMT** de la broche 22 bascule vers 1 lorsque le registre tampon est chargé par un caractère.
- ✓ Une impulsion négative sur l'entrée **N(DS)** de la broche 23 charge les données dans le registre tampon.

La Figure IV-2 montre le chronogramme des signaux **TCp**, **N(DS)**, **TBMT**, **SO**, **EOC** avec des données codées sur 8 bits, 1 bit de parité et 2 bits de stop. Deux cas peuvent se présenter :

○ *Au départ l'émetteur est inactif :*

EOC est à l'état haut : l'impulsion de départ (1) sur **N(DS)** arrive avec un cycle d'horloge. Le **TBMT** bascule vers 1 après 2 à 6 cycles d'horloge du début du bit de start sur **SO**, et ne revient à 0 que lorsqu'il apparaît une autre impulsion (2) sur **N(DS)**. Une autre donnée

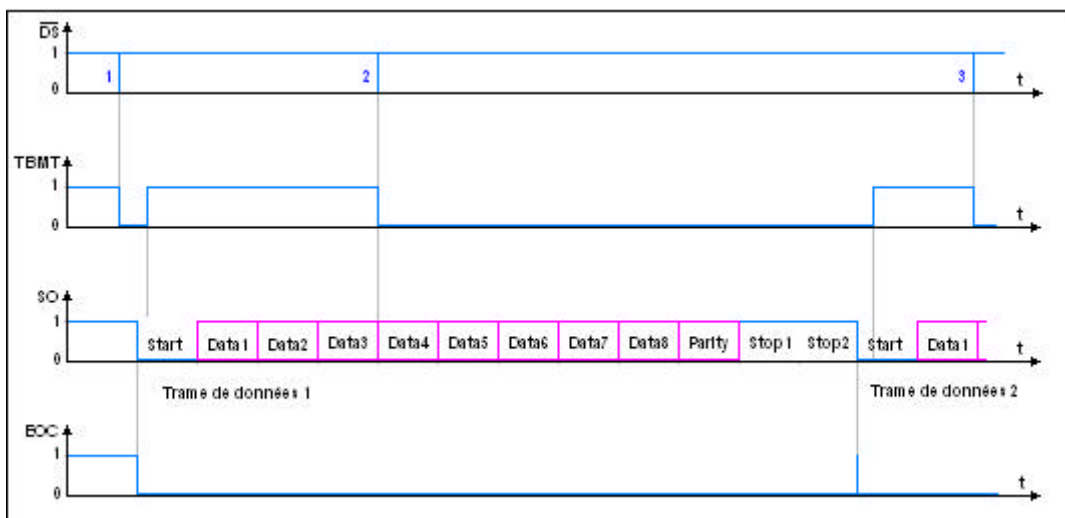


Figure IV-2
Chronogramme 1
(Datasheet de General Information)

peut être chargée pendant la transmission de la première après le basculement de **TBMT** au niveau haut (impulsion 2 sur **N(DS)**) (Figure IV-3).

○ *L'émetteur est actif :*

L'**EOC** est à l'état 0, il apparaît sur cette voie une impulsion positive après le dernier bit de stop (ou au début du bit de start de la seconde trame). Le **TBMT** bascule vers 1 après 2 à 6 cycles d'horloge du début du bit de start sur **SO**, et ne revient à 0 que lorsqu'il apparaît une autre impulsion (3) sur **N(DS)** (Figure IV-4).

Remarque : Les impulsions (1), (2), (3) chargent respectivement les données (1), (2), (3), qui seront transformées en trames de données (1), (2), (3).

Pratiquement, la partie émetteur (Figure IV-5) est constituée:

- **du registre des bits de contrôles** qui mémorise la configuration des caractères à convertir
- **du registre des données (BUFFER)** pour stocker temporairement les données parallèles
- **de la logique de gestion de la conversion** qui permet de gérer la conversion parallèle – série
- **d'une bascule RS (F/F)** qui génère le signal **TBMT**
- **du timing generator** qui gère le timing pendant la conversion
- **du registre à décalage** qui est l'unité transformant les données parallèles en série
- **du générateur du bit de parité** qui est l'unité générant le bit de parité
- **de la logique de sortie** qui est l'unité contrôlant la sortie

LE RECEPTEUR possède les mêmes structures que l'émetteur. Il comprend:

- l'entrée d'horloge pour le récepteur, broche 17, **RCp**
- l'entrée série, **SI**, broche 20

L'unité de contrôle est utilisée pour vérifier l'état des caractères. Ainsi :

- La voie **N(SWE)** broche 16, à l'état 0, facilite la connexion aux bits d'états **PE**, **FE**, **OR**, **N(DAV)**, **TBMT** sur les lignes de sorties.

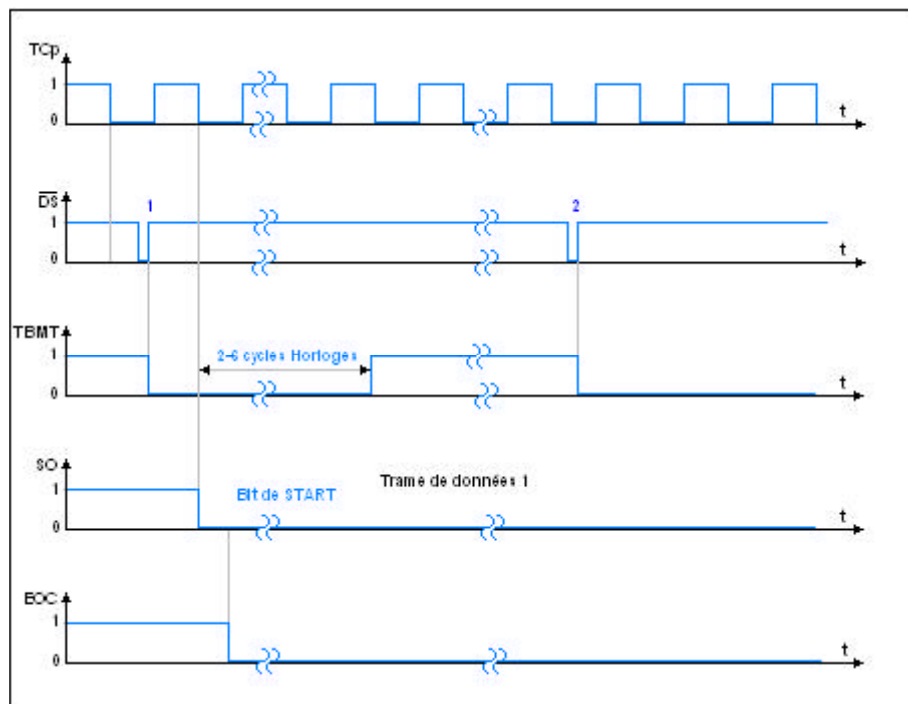


Figure IV-3
 Chronogramme 2
 (Datasheet de General Information)

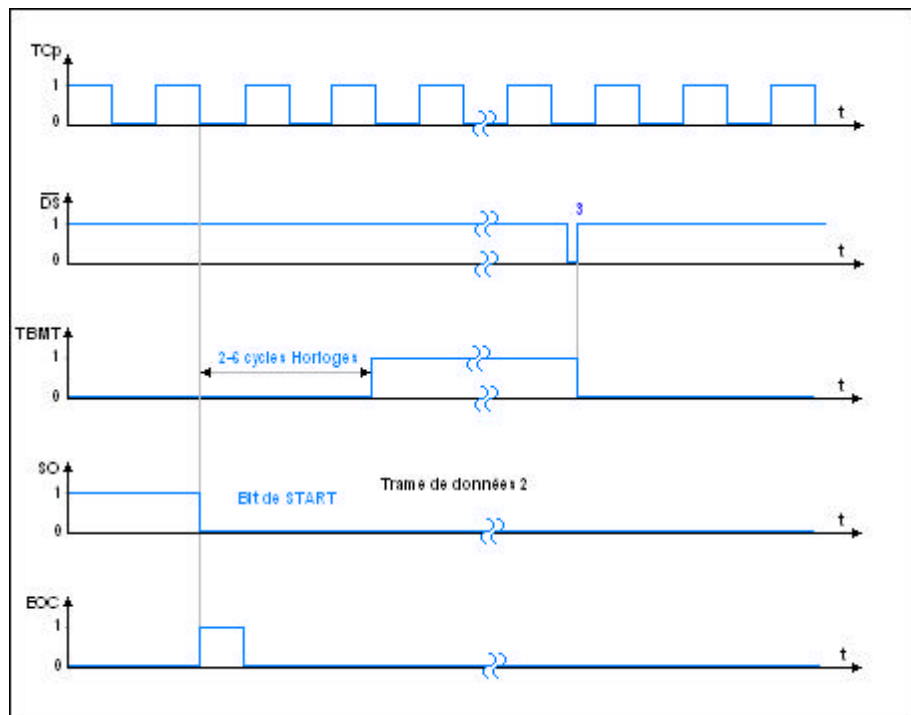


Figure IV-4
 Chronogramme 3
 (Datasheet de General Information)

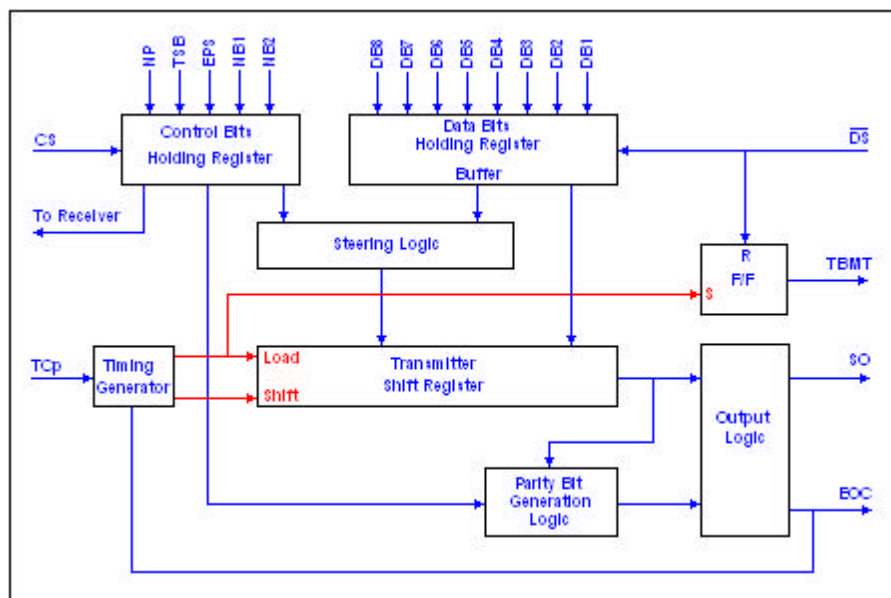


Figure IV-5
Schéma fonctionnel du bloc émetteur de l'UART
(Datasheet de General Information)

- La broche 4, **RDE** est désactivée pour signaler que les sorties du récepteur sont prêts à recevoir les octets de données.
- La signification des bits d'état ou signaux de contrôle est la suivante : Initialement désactivé, la voie **OR** (broche 15) bascule vers 1 lorsqu'un caractère dans le registre tampon n'est pas lu empêchant ainsi toute émission d'un autre caractère vers le tampon.
De même, les erreurs éventuelles au cours d'une émission peuvent être détectées.
- Ainsi, la voie **FE** (broche 14) bascule vers 1 lorsque le caractère reçu a un bit de stop non valide.
- **PE** (broche 13) est activée si la parité d'un caractère reçu n'est pas conforme à la configuration proposée.
- La broche 19 **DAV** bascule à 1 quand un caractère a été reçu et a été transféré au registre tampon.
- La voie **N(RDAV)** – pin 18 désactivée remet à 0 la sortie **N(DAV)**. Les octets de données sont récupérés sur **RD8** à **RD1** (broche 5 à 12)

La Figure IV-6 représente le chronogramme représentant les **SI**, **PE**, **FE**, **N(DAV)**, **OR**. (1) et (2) (voir **PE** et **FE**), illustrent les temps de basculement de **PE** et **FE** dans le cas d'une erreur de parité et/ou une erreur sur le nombre de bits de stop. Le basculement à 1 de **N(DAV)** à 3µs de l'impulsion correspond au premier bit de stop : le caractère est reçu et transféré correctement.

Remarques : Le **LSB** apparaît le premier sur la trame après le bit de start. Le contrôleur des bits est le même pour l'émetteur et le récepteur.

Le schéma fonctionnel plus détaillé est sur la Figure IV-7 :

- **2 portes ET** : L'une permet de contrôler la sortie des données parallèles, l'autre permet de contrôler l'état des caractères.
- **le BUFFER** permettant de mémoriser les données parallèles
- **la bascule RS (DAV F/F)** permettant de remettre à 0 **N(DAV)**
- **le registre des Etats des Caractères** qui mémorise les états des caractères
- **la vérification du Bit de Départ** qui contrôle le bit de Départ au début de chaque trame

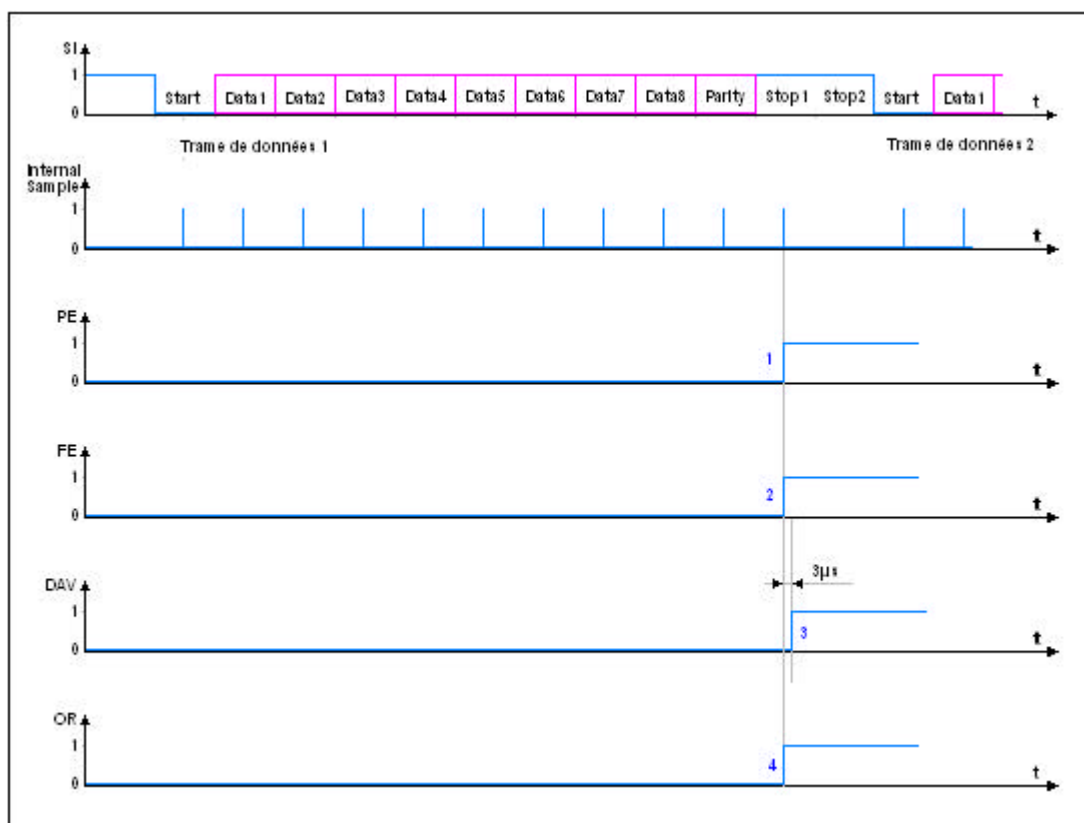


Figure IV-6
 Chronogramme 4
 (Datasheet de General Information)

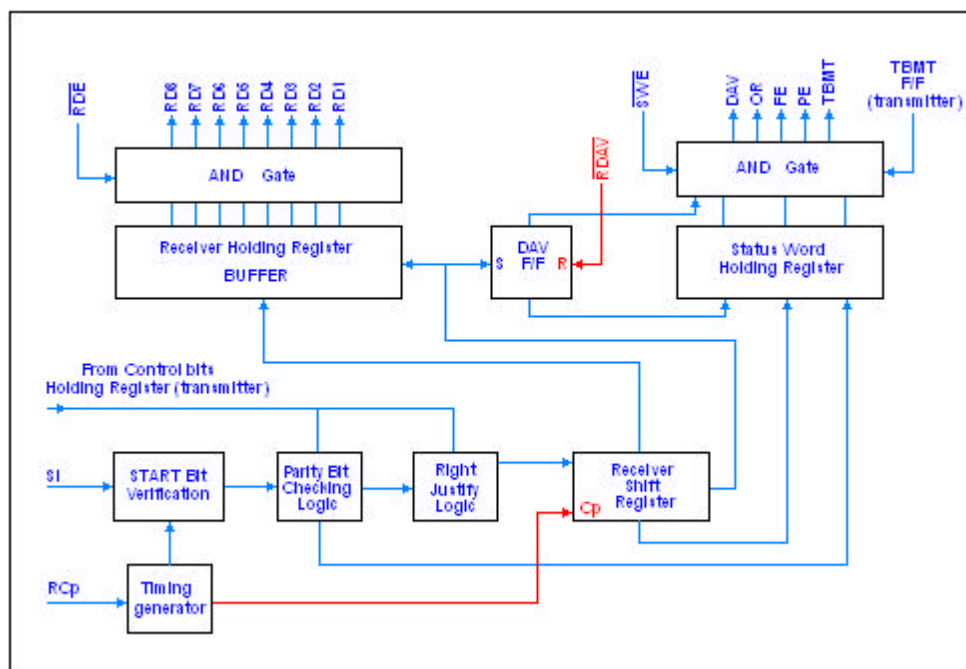


Figure IV-7

Schéma fonctionnel du bloc récepteur de l'UART
(Datasheet de General Information)

- **la détection du Bit de Parité** qui cherche le bit de parité dans la trame de données.
- **La test de Validation** qui justifie la validité des trames de données.
- **Le registre à décalage** qui modifie les données séries en données parallèles.
- **Le timing generator** qui gère le timing pendant la conversion.

2. CONFIGURATION MATERIELLE

2.1 CONFIGURATION COMMUNE

L'UART est configuré suivant le format des trames que l'on veut recevoir ou envoyer. Dans notre cas, ce format est **8-p-2**. La vitesse de transfert est de 2400 bauds [4] [9] [11].

- **CS (34) = 1** facilite l'utilisation des bits de contrôles (**EPS**, **NB1**, **NB2**, **TSB**, **NP**) tel que :
 - **EPS** (39) : Sélection de la parité (pair ou impair).
 - **NB1** (38) et **NB2** (37) : Déterminent le nombre de bit de données.
 - **TSB** (36) : Détermine le nombre de bit de stop.
 - **NP** (35) : Détermine l'existence du bit de parité.
- **Bit de données :**

NB2(37)	NB1(38)	Bit/Caractère
0	0	5
0	1	6
1	0	7
1	1	8

Tableau VIII : Sélection du nombre de bit de données
(Configuration adoptée est dans les cases en bleues)

Dans les 2 premières colonnes figurent les états des 2 pins 37 (**NB2**) et 38 (**NB1**). La troisième colonne représente le nombre de bits par caractère correspondant à chaque combinaison de **NB1** et **NB2**. La configuration adaptée pour **NB1** et **NB2** est (1 1), ligne en bleue.

- **Parité :**

NP(35)	EPS(39)	Parité
1	0	0
1	1	0
0	0	ODD
0	1	EVEN

Tableau IX: Sélection de la parité

(Configuration adoptée est dans les cases en bleues)

Quand le pin 35 **NP** est égale à 1, il n'y a pas de bit de parité. Dans ce cas, le bit de stop vient immédiatement après le dernier bit des données. Quand le pin 35 **NP** est égale à 0, l'état du pin 39 (**EPS**) fixe la parité :

- **ODD** ou bit d'imparité
- **EVEN** ou bit de parité

Les pins **NP** et **EPS** sont mis à (1 1), ligne en bleue, pour avoir la parité **PAIRE (EVEN)**.

- **Bit de stop :**

TSB(36)	Nb stop bit
0	1
1	2

Tableau X : Sélection du nombre de bit de stop

(Configuration adoptée est dans les cases en bleues)

L'état du pin 36 (**TSB**) fixe le nombre des bits de stop. La configuration adaptée pour **TSB** est 1, ligne en bleue.

- **Vitesse de transfert et fréquence d'horloge :**

Le Baud rate est le nombre de bits transmis par seconde, exprimés en bauds, il dépend de la fréquence d'horloge f_{cp} appliquée sur les broches **RCp(17)** et **TCp(40)**, suivant la relation :

$$\text{Baud rate} = f_{cp} / 16$$

ou

$$f_{cp} = \text{Baud rate} \times 16$$

Pour le Baud rate égale à **2400** on trouve:

$$f_{cp} = 2400 \times 16$$

$$f_{cp} = \mathbf{38.400\ Hz}$$

La configuration de ces bits de contrôle est la même pour la réception et pour la transmission.

2.2 CONFIGURATION DU RECEPTEUR

Le tableau XI ci-dessous permet de récapituler les états des commandes utilisées en mode réception.

N(RDE)	N(SWE)	RCp	N(RDAV)	SI
0	0	38,4 kHz	DAV	Rx

Tableau XI : configuration du récepteur

- **N(RDE)** (4) = 0 met les lignes RD1 à RD8 sur la sortie.
- **N(SWE)** (16) = 0 met les bits d'état des trames sur la sortie.
- **RCp** (17) = 38,4 kHz pour une réception de données à 2400 Bps.
- **N(RDAV)** (18) et **N(DAV)** (19) ont des signaux complémentaires. On a mis un inverseur entre les deux pins.
- **SI**(20) = **RX** connecté à **TX** du PC (**DTE**).

2.3 CONFIGURATION DE L'EMETTEUR

Le tableau XII ci-dessous permet de récapituler les états des commandes utilisées en mode émission.

N(DS)	CS	TCp
Impulsion	1	38,4 kHz

Tableau XII : Configuration de l'émetteur

Pour le bon fonctionnement en mode émetteur (transmitter), on doit configurer convenablement les 2 commandes suivantes :

- **N(DS)** (23) : Une impulsion sur cette entrée permet de charger les données présentes sur les entrées parallèles dans le buffer.
- **TCp** (40) = 38,4 kHz pour la transmission des trames avec une vitesse de 2400 Bps.

3. MONTAGE

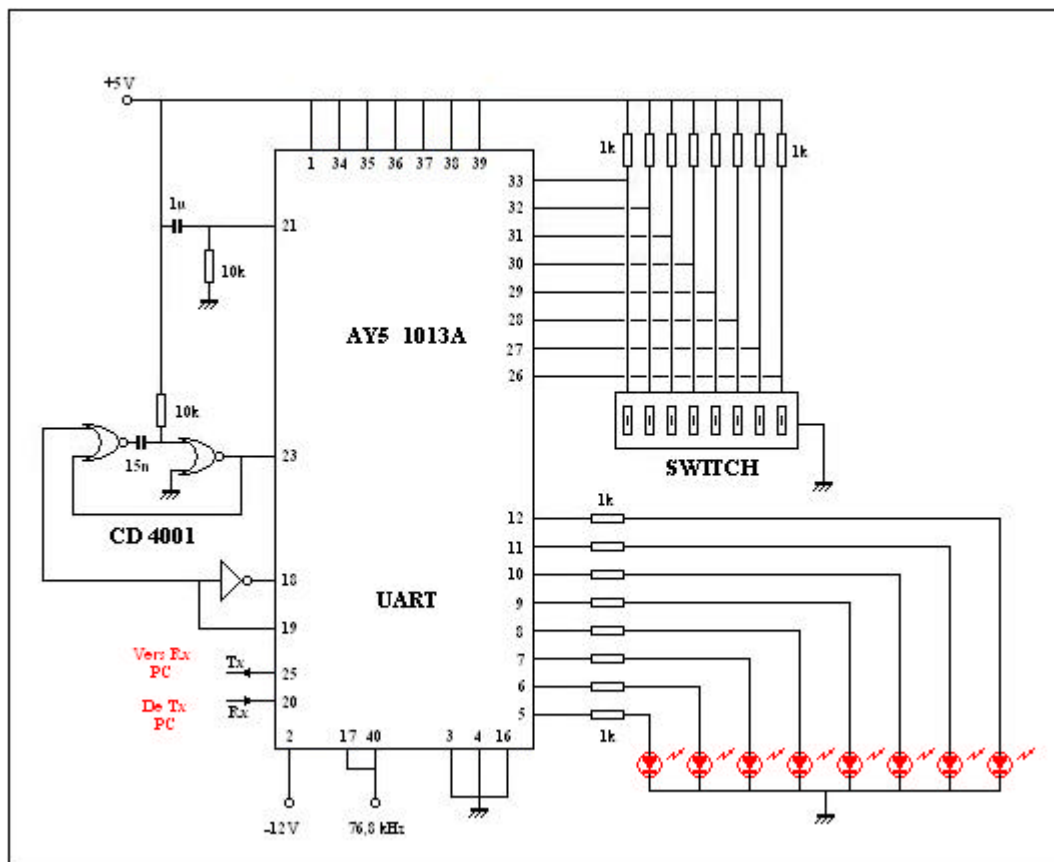
La configuration ci-dessus est adoptée par l'UART. Sur le connecteur DB9, les broches 7 – 8 et 4 – 6 sont reliées entre elles pour que le **DTE** (PC) soit disponible en permanence à envoyer et recevoir de données. Les broches 17 et 40 de AY5 1013 correspondant à **RCp** et **TCp** reçoivent le même signal d'horloge de fréquence 38,4 kHz. Une bascule monostable déclenchée par le signal issu de la broche 19 **N(DAV)** , donne une impulsion sur la broche 23 (Data Strobe). Elle permet de charger une donnée sur les entrées parallèles DB1 à DB8 (broche 26 à broche 33) de l'UART. Cette donnée va être convertie en une donnée série sortant de la broche 25.

Un circuit différenciateur composé d'une capacité de 1μF et d'une résistance de 10kΩ permet d'initialiser l'UART lors de la mise sous tension. Le SWITCH et la série de résistances de 1kΩ sur les entrées **DB1** à **DB8** sont utilisés pour composer le mot binaire à transmettre. La série de DIODE LED et de résistance 1kΩ sur les sorties **RD1** à **RD8** (pin 5 à pin 12) permet de visualiser un caractère série reçu et converti en parallèle (Figure IV-8).

4. TEST DE TRANSFERT DE DONNEES

4.1 LIAISON SERIE - PARALLELE

Un programme écrit sous Matlab est utilisé pour tester le transfert. Les données à envoyer sont codées en ASCII. Par exemple, pour avoir à la sortie (**RD1** à **RD8**) un mot binaire 0101 0111 on doit écrire dans l'instruction fwrite le mot W: fwrite(s,'W'). 0101 correspond à 5 en hexadécimal, et 0111 correspond à 7 en hexadécimal. Le code ASCII correspondant à W est obtenu par :

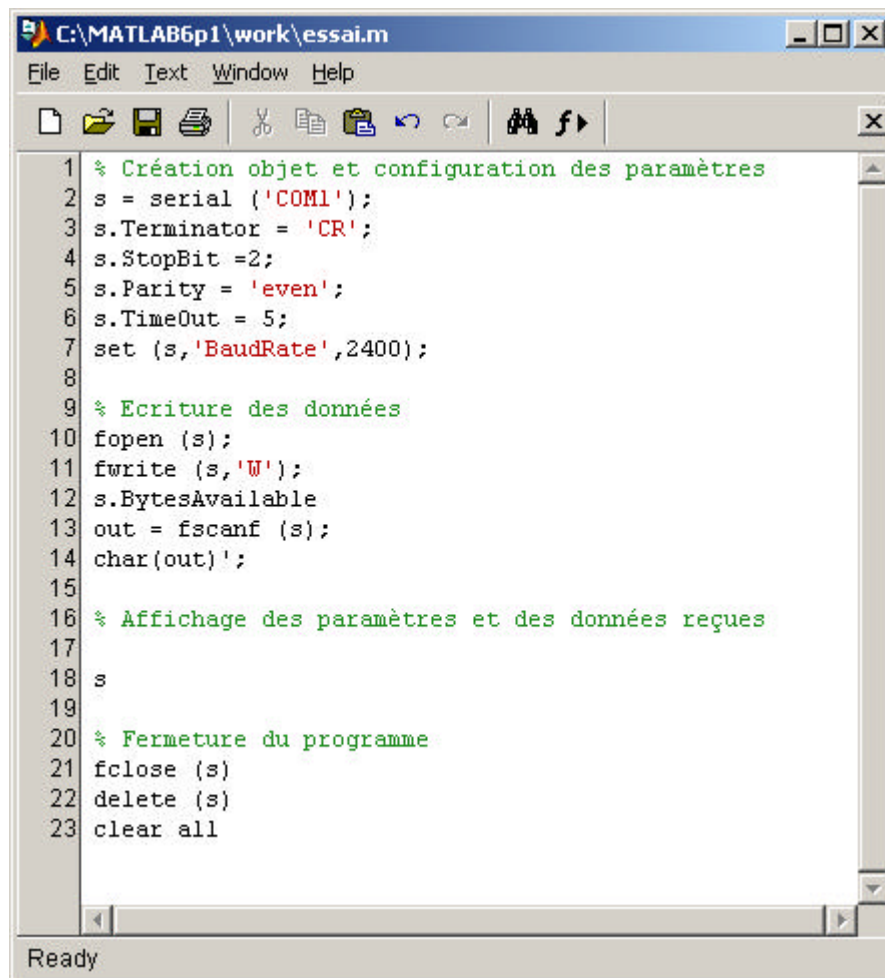


$$(5 \times 16) + (7 \times 1) = 87$$

ou

$$(57)_{16} = (87)_{10} = (0101\ 0111)_2$$

Le listing du programme de test est le suivant :



```

1 % Création objet et configuration des paramètres
2 s = serial ('COM1');
3 s.Terminator = 'CR';
4 s.StopBit = 2;
5 s.Parity = 'even';
6 s.TimeOut = 5;
7 set (s, 'BaudRate', 2400);
8
9 % Ecriture des données
10 fopen (s);
11 fwrite (s, 'W');
12 s.BytesAvailable
13 out = fscanf (s);
14 char(out)';
15
16 % Affichage des paramètres et des données reçues
17
18 s
19
20 % Fermeture du programme
21 fclose (s)
22 delete (s)
23 clear all
  
```

Remarques : Si **fwrite** contient plusieurs mots à envoyer, les données sortent par trames successives sur la sortie **Tx** du PC et s’affichent octet par octet à la sortie de l’UART

Exemple : **fwrite(s,'Wp')** .La trame de *W* sort en premier lieu puis suivi de celle de *p* (Figure IV-9). Les bits de parités sont à 1 pour les 2 trames car le nombre de «1» dans les données sont impairs pour l’une comme pour l’autre.

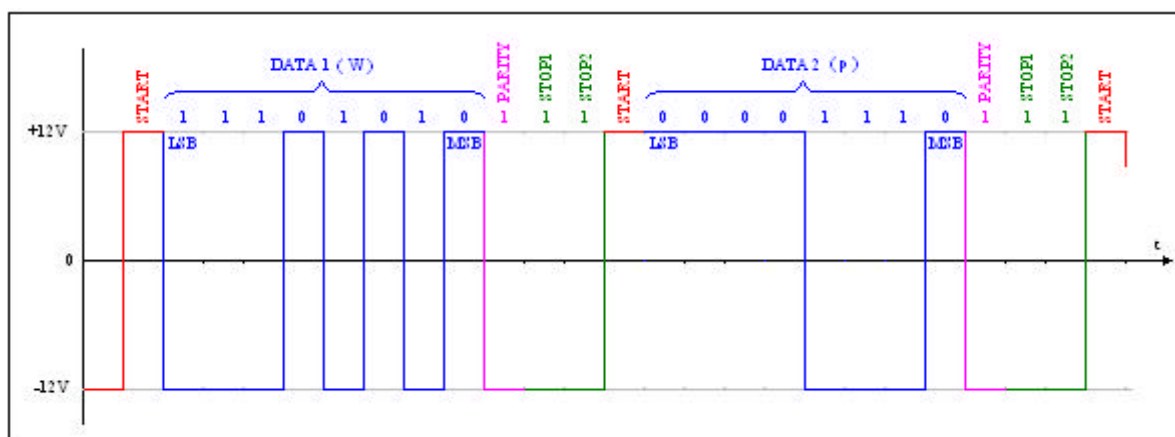


Figure IV-9

Trames de données Tx (DTE) pour l'envoi des caractères « W » et « p »

Résultats:

Seuls les octets de données apparaissent sur la sortie de l'UART. Nous retrouvons bien le code binaire correspondant à «W» sur les pins 5 à 12 (**RD8** à **RD1**). Les bits de l'octet sont définis en fonction du comportement des LEDs de visualisation ou de contrôle :

- Etat 0 pour LED éteint
- Etat 1 pour LED allumé

Pour les 2 caractères «R» (\$82) et «p» (\$112) la transmission se fait par l'instruction suivante : **fwrite(s,'Rp')**. Les 2 caractères sortent l'un après l'autre sur les sorties parallèles RD8 à RD1. Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Lettre envoyée	RD1(12)	RD2(11)	RD3(10)	RD4(9)	RD5(8)	RD6(7)	RD7(6)	RD8(5)
W	1	1	1	0	1	0	1	0
R	0	1	0	0	1	0	1	0
p	0	0	0	0	1	1	1	0

Tableau XIII : Résultat du transfert série-parallèle

Ce résultat vérifie bien les codes de ces caractères en binaire.

4.2 LIAISON PARALLELE - SERIE

Nous venons de voir que la conversion série-parallèle ne pose aucun problème majeur. Les trames de données sont bien converties en octet. Les bits de contrôle sont éliminés par l'UART. Le test de la conversion parallèle-série se fait aisément avec la même procédure, en remplaçant les instructions d'écriture **fwrite** par l'instruction de lecture **fscanf**.

Nous avons utilisé le programme sous MATLAB précédent pour faire le test. Le passage de 0 à 1 de DAV déclenche un monostable pour avoir une impulsion. L'impulsion obtenue est utilisée pour charger les données parallèles sur les entrées DB1 à DB8. Les données sont programmées par le SWITCH.

Résultats :

Pour pouvoir récupérer les données parallèles de l'UART, il faudra envoyer une impulsion sur DS (pin 23 UART). Nous sommes obligés de transmettre un caractère sur la voie SI (pin 20) de l'UART.

```
>> essai_1

ans =

d

Serial Port Object : Serial-COM1

Communication Settings
  Port:          COM1
  BaudRate:      2400
  Terminator:    'CR'

Communication State
  Status:        open
  RecordStatus:  off

Read/Write State
  TransferStatus: idle
  BytesAvailable: 0
  ValuesReceived: 1
  ValuesSent:     1
```

Sur les entrées parallèles DB1 à DB8, nous avons composé le code binaire correspondant à «d». Pendant les tests et les essais, les données parallèles à transmettre au DTE sont programmées par un SWITCH dont le montage est représenté sur la Figure IV-10. **ValuesReceived: 1** indique que le DTE a reçu une trame de donnée en provenance de l'interface.

```
- out = fscanf(s);
  char(out)'
```

Ces instructions sur le programme nous permet de lire la trame reçue par le DTE (PC):

fscanf(s) récupère les octets disponibles sur la voie Rx du PC et les sauvegarde dans la variable « **out** ».

char(out)' traduit en ASCII les instructions récupérées mises dans son format hexadécimal par **fscanf**. Nous lisons sur l'écran :

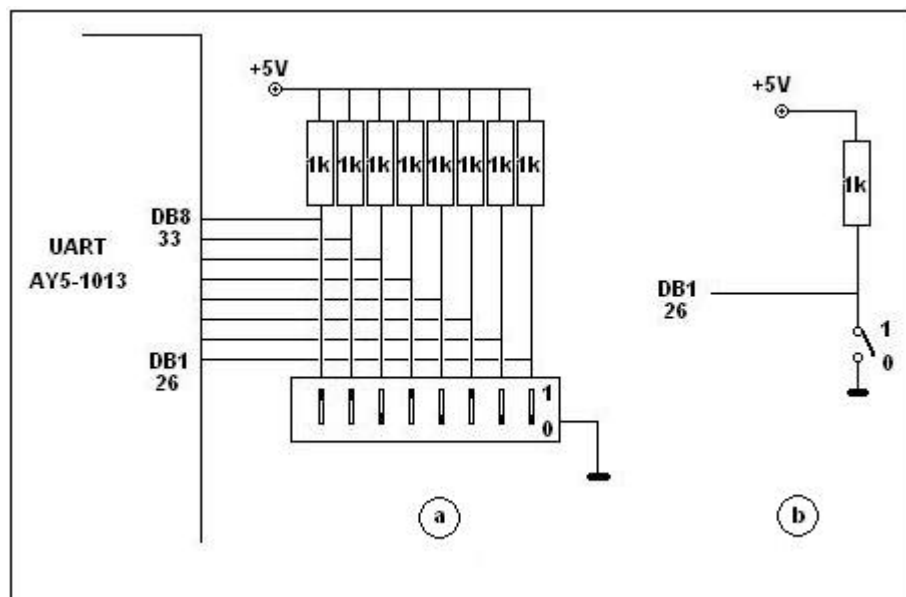


Figure IV-10
Composition du mot binaire à transférer (test)

ans= d

ValuesSent : 1 indique que le DTE a envoyé 1 trame de données : « W » composé dans le programme Matlab.

Dans la manipulation suivante, nous avons envoyé 2 caractères « Rp » et composé le caractère « D » à l'entrée parallèle :

fwrite(s,'Rp')

Le résultat est le suivant:

```
>> essai_1

ans =

D
D

Serial Port Object : Serial-COM1

Communication Settings
Port: COM1
BaudRate: 2400
Terminator: 'CR'

Communication State
Status: open
RecordStatus: off

Read/Write State
TransferStatus: idle
BytesAvailable: 0
ValuesReceived: 2
ValuesSent: 2
```

- ValuesSent : 2 : Le nombre de caractères envoyés est 2
- ValuesReceived : 2

Le nombre de caractères reçus est 2. Comme le nombre de caractères envoyés est 2 alors on récupère sur DAV (à la sortie du monostable) 2 impulsions qui vont vers N(DS). Ce qui explique le nombre de caractères reçu égale à 2.

- ans = D
D

Les 2 D représentent les données présentes sur l'entrée (8 bits parallèles) au moment des 2 chargements (2 impulsions sur N(DS)) successifs.

5. L'INTERFACE

Le montage de l'interface est représenté par le schéma de la Figure IV-11. L'UART est alimenté par + 5 Volts et – 12 Volts.

- Les données séries comportant les commandes de la voie Rx du PC c'est à dire le pin 2 (DB9), entrent sur le pin 20 de l'UART et sont converties en parallèles sur les sorties RD1 à RD8.
- Les données parallèles issues de DB1 à DB8 de l'UART, apparaissant sur le pin 25 entrent sur la broche 3 (Tx) du PC.

Aussi bien à l'aller qu'au retour, les données transitent par le MAX232. Ce dernier assure l'adaptation des signaux entre le RS232 du PC et l'UART.

Rôle du MAX232 :

Rappelons que l'interface série standard RS232 du PC utilise pour les signaux de données la logique négative [9] [11]. Pour convertir les niveaux TTL en logique négative, nous avons inséré un MAX232 pouvant être utilisé pour les 2 ports du RS232 (Figure IV-12).

Commandes RTS - CTS

Le signal de commande DAV (Data Available) sur le pin 19, initialement à 0, bascule à 1 lorsqu'une trame de donnée série a été transféré à la sortie parallèle. Cette sortie ne revient à 0 que lorsque le pin N(RADV) reçoit une impulsion négative. Afin de pouvoir contrôler l'entrée et la sortie, les commandes RTS et CTS sont utilisées (Figure IV-13). La relation entre

$$\overline{\text{RDAV}} = \text{DAV} \cdot \text{CTS}$$

DAV	CTS	$\overline{\text{RDAV}}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tableau XIV : Table de vérité

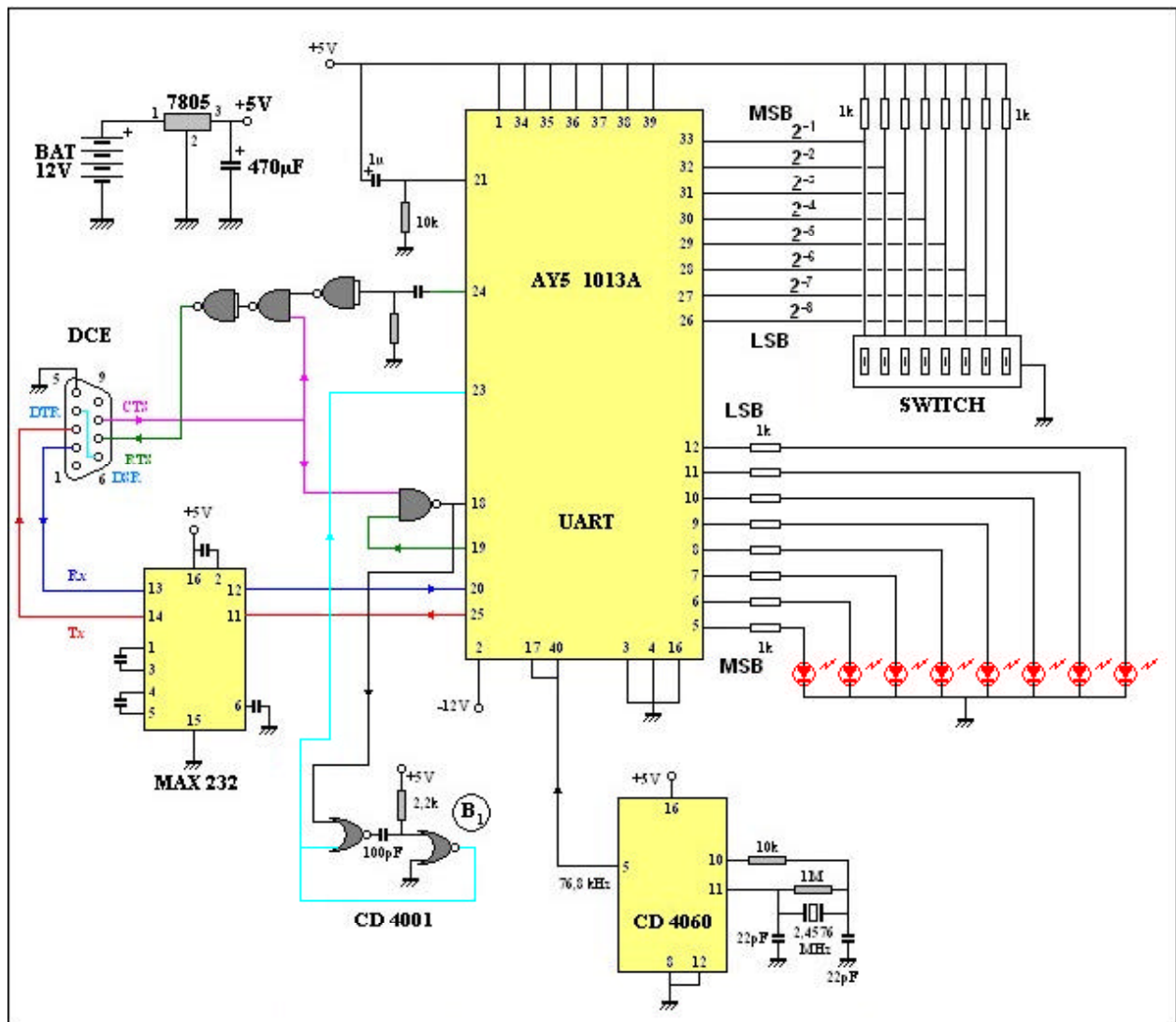


Figure IV-11

Schéma du montage pour le test de transfert de données

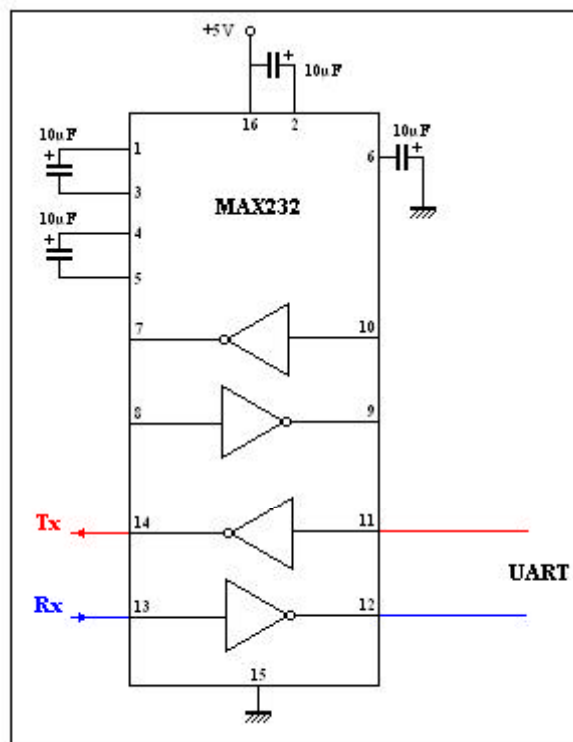


Figure IV-12
Circuit adaptateur de niveau RS232 – MAX 232
(datasheet de Maxim)

N(RDAV), DAV et CTS est fournie par la table de vérité suivante :

La remise à zéro de DAV se fait quand CTS et DAV sont à 1. Le signal EOC (End Of Character) inverse est utilisé pour la commande RTS.

Commande not(DS) :

Une impulsion de largeur minimale égale à 190 ns doit être appliquée sur le pin 23 pour charger le caractère présent sur les entrées DB1 à DB8. Pour cela nous avons utilisé un monostable comportant 2 portes NOR, une capacité C et une résistance R (Figure IV-14) Les tensions sur les différents points de la bascule y sont également représentées.

Système d'horloge

L'horloge utilise un compteur CMOS type 4060, pilotée par un quartz de 2,4576MHz. La sortie utilisée présente un signal de fréquence 38,4 kHz soit 2,4576MHz divisé par 32. Cette fréquence correspond à une vitesse de transfert 2400 bauds (38400/16) (Figure IV-15).

5-2 MONTAGE GENERAL

Le montage de la Figure IV-16 suivante représente le circuit d'ensemble de l'interface et du convertisseur analogique – numérique. Celui de l'injecteur reste le même que sur la Figure III.2. Par contre, pour pouvoir isoler électriquement le bloc INTERFACE du bloc INJECTEUR, nous avons utilisé des isolateurs optiques du types CNX35 montés comme le montre le schéma de la Figure IV-17. Pour que les mesures se fassent dans les meilleures conditions, nous avons imposé le temps d'injection égal à 500ms. Les valeurs de R et C qui correspondent à ce temps sont :

$$R = 721 \text{ k}\Omega \quad \text{et} \quad C = 0,1\mu\text{f}$$

5-3 PROGRAMMATION

La programmation consiste à imposer l'état de chaque bit de données pour commander tout le système. L'initialisation se fait automatiquement par le système, mais le fonctionnement du système consiste à :

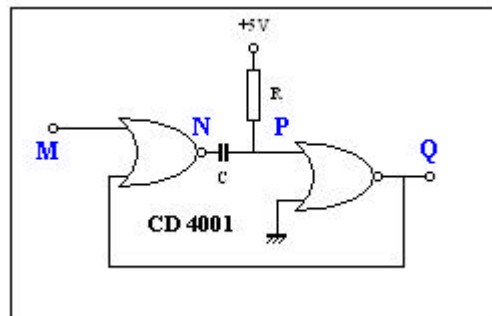


Figure IV-14

Monostable utilisant 2 portes ET-OU

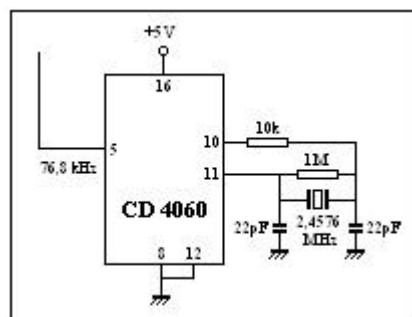


Figure IV-15

Générateur du signal d'horloge

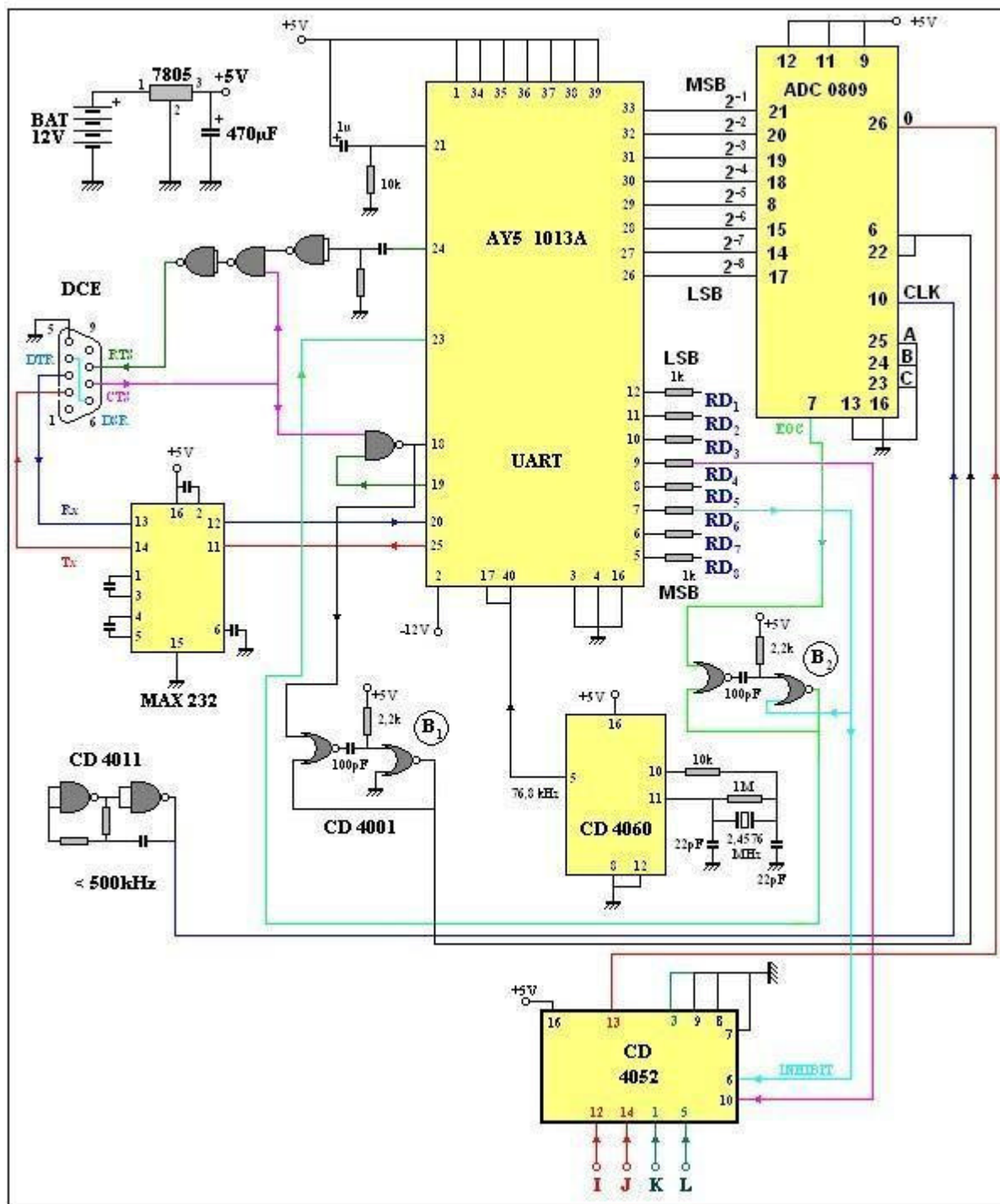


Figure IV-16
Schéma du montage interface

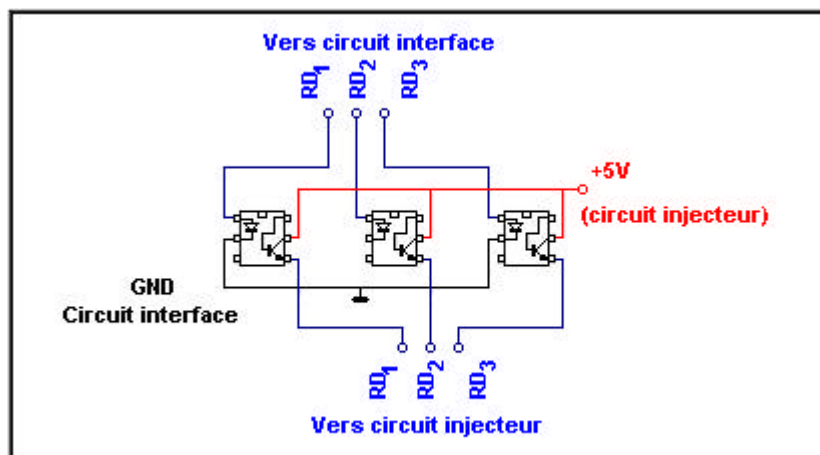


Figure IV-17

Circuit isolateur utilisant 3 circuits optoélectroniques du type CNX35

- Sélectionner le courant à injecter
- Injecter le courant
- Mesurer la tension ΔV
- Mesurer l'intensité du courant I traversant MN

Le tableau suivant montre l'état de chaque bit correspondant à chaque opération durant une mesure. Les détails sont fournis par mon collègue RAKOTONDRAFARA Hobiniaina.

- La première ligne correspond à la sélection du courant
- La seconde ligne pour l'injection du courant
- La troisième ligne pour la mesure de ΔV
- La dernière ligne pour la mesure de I

Non utilisé	Non utilisé	INHIBIT/Valid	Injection	select mesure	Sélection du courant à injecter		
RD8	RD7	RD6	RD5	RD4	RD3	RD2	RD1
X	x	1	0	0	0	0	0
X	x	1	1	0	0	0	0
X	x	0	0	0	0	0	0
X	x	0	0	1	0	0	0

Tableau XV : Programme pour l'injection du courant de 2mA

On a pour chaque colonne :

- RD1 à RD3 les bits qui servent à sélectionner le courant à injecter
- RD4 Utilisé pour la sélection de la mesure à faire
- RD5 sert à envoyer l'injection
- RD6 est utilisé pour autoriser ou non une mesure.

CONCLUSION

L'objectif de notre travail était de réaliser un système matériel effectuant toutes les fonctions d'un résistivimètre électrique, tout en améliorant ces fonctions en utilisant les technologies de la communication série. Ce système doit assurer du moins les services essentiels d'injection de courant et de mesures de tension. Il peut, cependant, être amélioré aussi bien sur le plan de l'acquisition de données qu'au niveau de leur acheminement vers le PC. Dans son état actuel, le résistivimètre ainsi réalisé est constitué de trois entités matériel/logiciel comprenant, l'injection, la mesure, l'adaptation et la mise en forme des signaux. Ces entités assurent respectivement :

- les contrôles et les commandes des courants à injecter aux électrodes A et B
- l'acquisition de données géophysiques à partir des électrodes M et N
- la diffusion des informations entre les différentes entités

Une modification au niveau de l'alimentation du convertisseur continu – continu permet d'améliorer la mesure, ainsi que le temps de mesure. En alimentant constamment le convertisseur, on évite le problème du temps de montée de la tension (problème rencontré lors des essais). Dans ce cas, on ne considère plus que le temps de commutation du relais.

Au niveau de l'acquisition des données, une amélioration peut être faite en utilisant un CAN de meilleure résolution, et de bien filtrer le signal utile afin d'éliminer les tensions parasites dans le sous-sol.

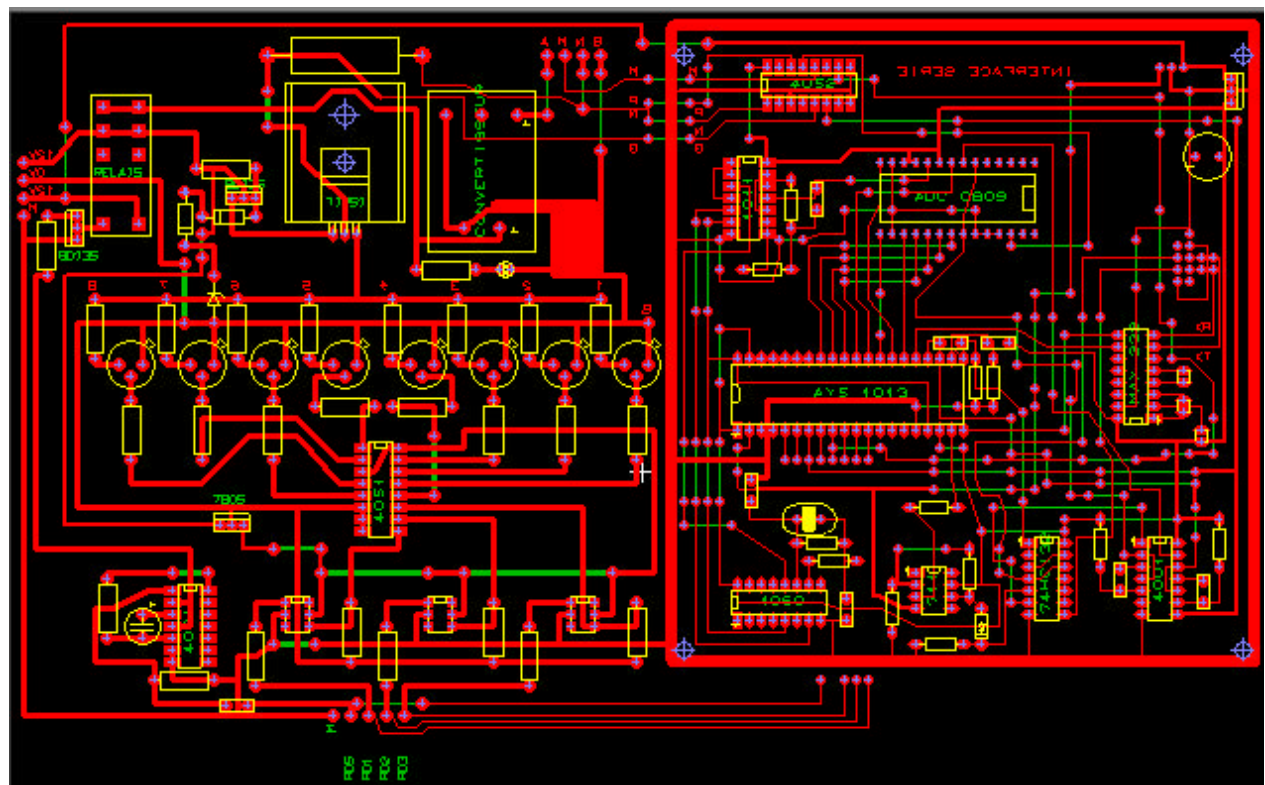
Un logiciel interactif est également fourni pour calculer les paramètres géophysiques à partir des signaux isolés par « la mesure » afin de déterminer la résistivité des couches sous-jacentes. Nous avons fait les tests et simulations au laboratoire, or tous les phénomènes géophysiques réels ne peuvent pas être simulés. Cette réalisation, première version, ne peut pas prétendre concurrencer les résistivimètres sur le marché qu'après les rectifications citées précédemment, mais elle nous a permis d'avoir réalisé un système ayant toutes les fonctions améliorées d'un résistivimètre électrique.

BIBLIOGRAPHIES

- [1] ADC 0809 DATASHEET
National Semiconductor
- [2] ARCHITECTURE DES ORDINATEURS
Cours 5 - Hardware
E. Garcia – 2002 IUT – GTR, Montbéliard
LIFC (Laboratoire Informatique de l'Université de Franche – Comté)
- [3] ARCHITECTURE DES ORDINATEURS
S. TISSERANT
Université de la Méditerranée – Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Luminy – Département d'informatique
- [4] AY5 1013 DATASHEET
General Instrument
- [5] CIRCUITS ET SYSTEMES ELECTRONIQUES
M. Declercq - 1994
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
Département d'Electricité – Laboratoire d'Electronique Générale
- [6] COURS DE GENIE ELECTRIQUES
G. Chagnon
Licence Professionnelle de Génie Industrielle
Université Paris VI – Jussieu ; CFA Mecavenir
- [7] DATA BOOK
Electronic Information Series
Digital Integrated Circuits
- [8] DATA BOOK
Electronic Information Series
Interface Integrated Circuits
- [9] INTEGRATED CIRCUITS DATASHEET (TTL – CMOS)
Philips Semiconductor
- [10] LA SOLUTION RS-232
J. Campbell - 1984
- [11] SYSTEMES LOGIQUES I (4è édition)
J.F. Harvey – M. Sawan
Département de Génie Electrique et de Génie Informatique
Ecole Polytechnique de Montréal
- [12] TECHNIQUES D'INTERFACE AUX MICROPROCESSEURS
R. Zaks – A. Lesea - 1977

- [13] THE INTERFACE CIRCUITS DATA BOOK
For Engineers
The Engineering Staff of
TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED
Semiconductor Group
- [14] THE TTL DATA BOOK
Advanced Low- Power Schottky
Advanced Schottky
TEXAS INSTRUMENTS

ANNEXES



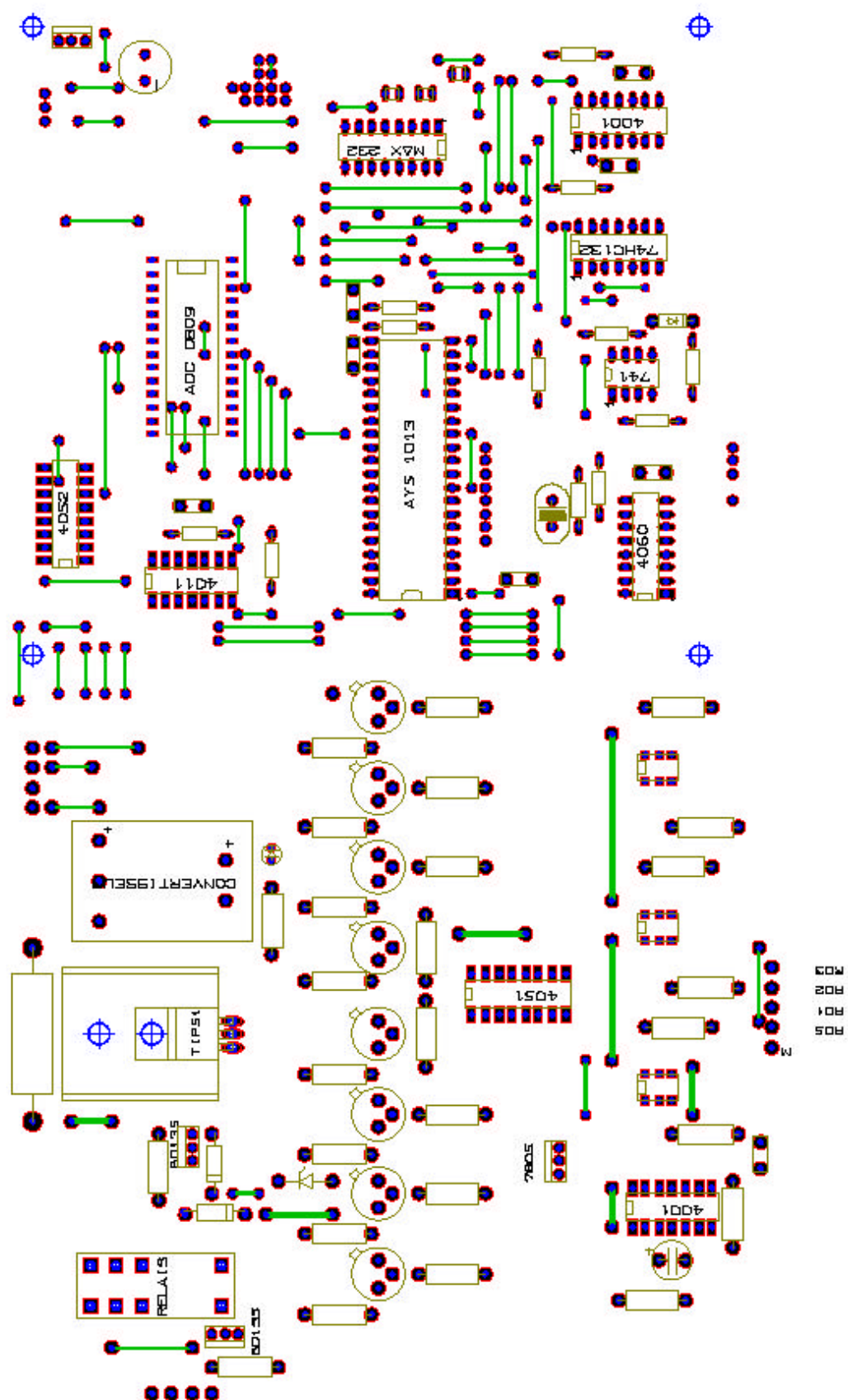


Figure IV-2 : Circuit de câblage côté composants

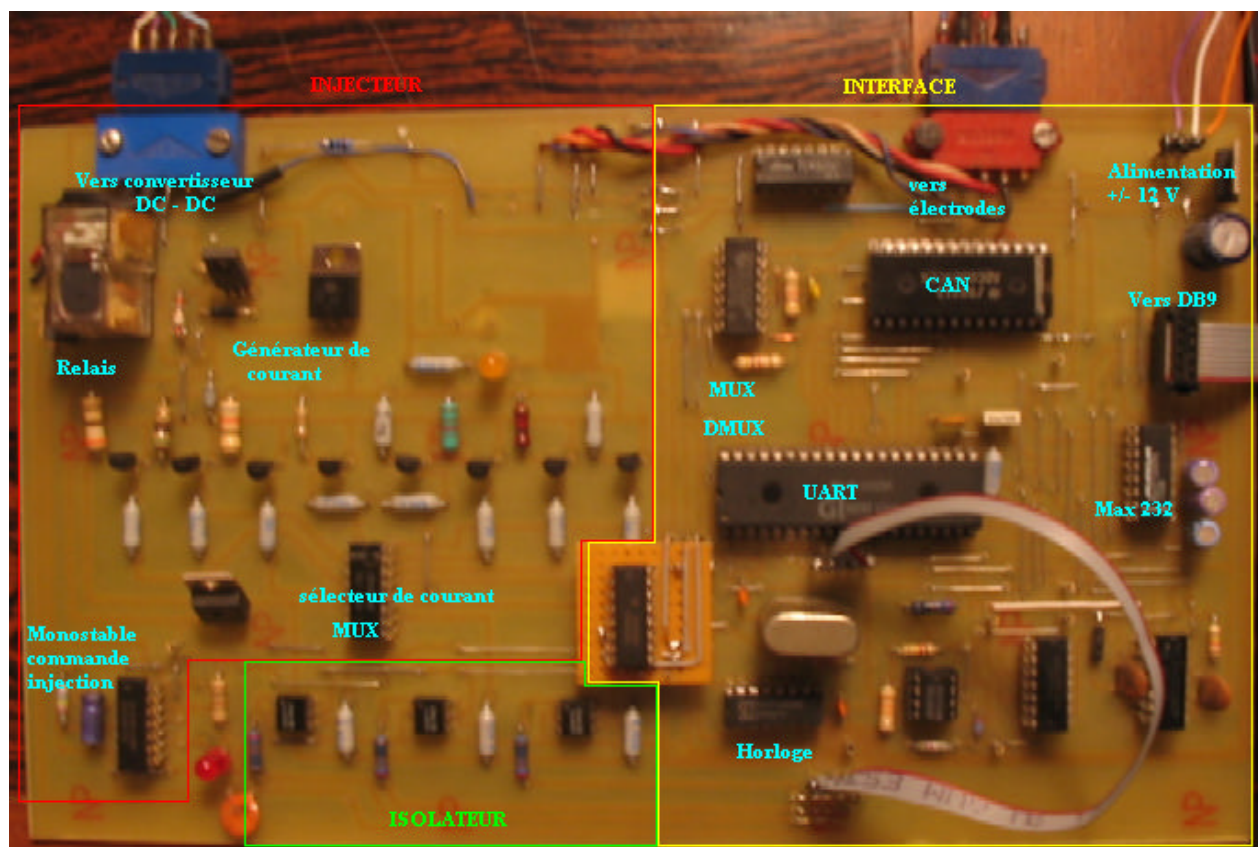


Figure IV-3 : Photo de la carte

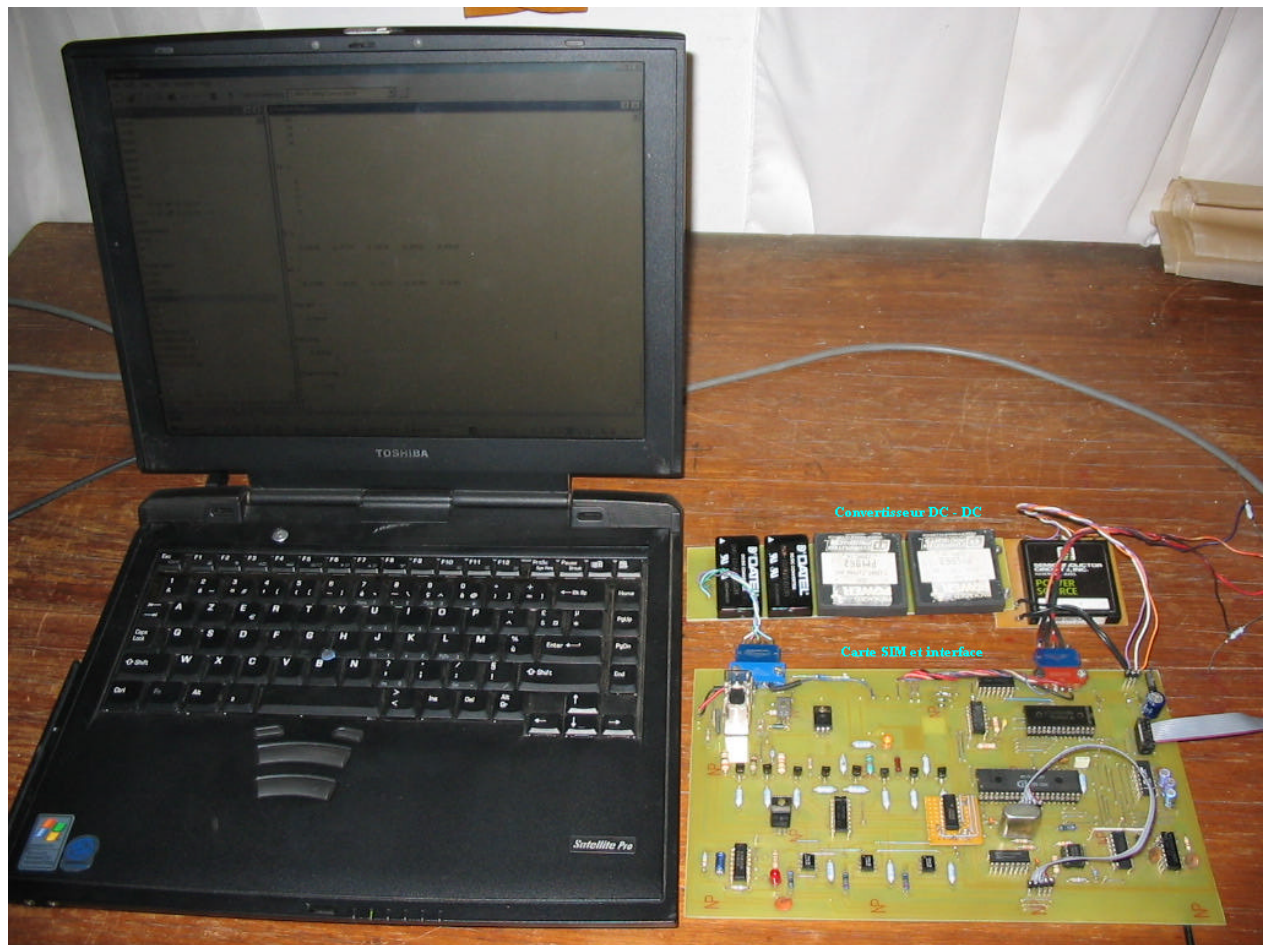


Figure IV-4 : Photo du montage pendant un test

DEVIS ESTIMATIF

Le devis présenté ci-dessous n'inclus pas le prix du boîtier. Les prix déclarés sont en Fmg.

DESIGNATION	Prix unitaire	Nombre	Prix total	Montant
AY5 1013	40900	1	40900	928900
ADC 0809	31900	1	31900	
4001	3500	2	7000	
4011	3500	1	3500	
4051	5500	1	5500	
4052	5500	1	5500	
4060	5500	1	5500	
HCF74132	5500	1	5500	
MAX232	18900	1	18900	
CNX35	3900	3	11700	
Quartz	50000	1	50000	
Résistance 0,5W	500	29	14500	
Résistance 1W	1000	2	2000	
Condensateur	1000	10	10000	
Condensateur filtrage	3000	2	6000	
Régulateur intégré	20000	2	40000	
Convertisseur DC/DC	45500	5	227500	
TIP 50	20000	1	20000	
BC238	7500	8	60000	
Diode de signal	1000	2	2000	
Diode zener	1000	1	1000	
Plaque pour circuit imprimé	100000	1	100000	
Batterie 12V 7Ah	260000	1	260000	

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Sensibilité : 0,02V

Précision : 0,4% pour 5V

Alimentation : 12V batterie

Courant d'injection : sélectionné sur 2mA, 5mA, 10mA, 20mA, 50mA, 100mA, 150mA, 200mA

Tension pour l'injection : 100V, extensible jusqu'à 400V continue

Poids (sans batteries) : 4kg

Nom : **RAMBOLAMANANA**
Prénom : **Mamiharjao**
Adresse : Lot VC5 Ambanidia
Antananarivo 101



Titre du mémoire : **CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INTERFACE
MATERIELLE POUR RESISTIVIMETRE ELECTRIQUE**

RESUME

Le résistivimètre électrique est un appareil de mesure utilisé par les géophysiciens pour la prospection électrique. Il fait appel à deux fonctions principales, la fonction d'injection du courant faisant intervenir le dispositif d'émission et la fonction de mesure faisant intervenir le dispositif de réception. Nous avons fait appel à l'assistance d'un ordinateur afin de générer ces fonctions de base du résistivimètre, en utilisant les technologies de la communication série et les protocoles y afférents.

L'ordinateur sert d'une part à envoyer des commandes d'injection et de mesure et d'autre part à faire tous les calculs et corrections nécessaires pour obtenir la valeur de la résistivité du sous-sol.

Une interface série utilisant un UART permet à l'ordinateur de communiquer avec le système d'injection et de mesure. Ce système d'injection et de mesure (SIM) comporte : un générateur de courant constant à transistor bipolaire, qui injecte le courant dans le sol, à l'aide de deux électrodes ; un convertisseur continu – continu qui transforme une tension de 12 volts en une tension de 150 volts ; un système utilisant un démultiplexeur pour sélectionner le courant à injecter ; un sélecteur de mesure utilisant un multiplexeur ; un convertisseur analogique – numérique huit bits pour numériser le signal analogique sélectionné.

Des améliorations doivent être apportées pour éliminer les tensions parasites.

Mots clés : UART, transmission série, système d'injection et de mesure

ABSTRACT

The terrameter is used frequently by geophysics prospecting. It gets two master functions, inject function and the measure function. To improve the working function of this terrameter, we use a laptop and the serial communication technology with protocol. The PC is used for the inject and the measure commands, it is used also to calculate the resistivity and to memorise the value.

A serial interface using an UART connects the PC to the injection and measurement system.

The injection and the measurement system is composed by: a current generator with bipolar transistor; a DC –DC converter; a demultiplexer system serves to select the current you want to inject but the multiplexer stand for the measurement, and finally, an analog digital converter with eight bit to converts the analog signal selected to digital signal.

Actually, an improvement is necessary to eliminate any noise.

Keyword: UART, serial transmit, inject and measure system

Encadreur: M. RANAIVO NOMENJANAHARY Flavien Noël, Professeur
Responsable du Laboratoire de Géomagnétisme à l'Observatoire