



REPUBLIQUE ALGERIENNE
DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE LARBI TEBESSI - TEBESSA
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE
DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN
ISTRUMENTATION D'ELECTRONIQUE

THEME

Le résistivimètre

Présenté par le binôme :

- **AYADA Amira**
- **CHIHANI Maroua**

Devant le jury :

- **GATTAL Azzedine** **Président**
- **MAAMRI Mahmoud** **Encadreur**
- **LEMITTA Abdallah** **Examineur**

Année Universitaire 2019 / 2020

Remerciements

*En préambule à ce mémoire Nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude. Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire. Nous tenant à remercier sincèrement monsieur **MAAMRI Mahmoud**, en tant que Encadreur, qui a toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, ainsi membres de jury Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire, nos vifs remerciements vont aussi au Madame **SELAMA Laila**.*

Merci à tous

Dédicace

Merci à dieu de nous avons donné la force le courage de continuer.

Je dédie ce mémoire à

Mon Père qui je déjà le perds, Ta présence à jamais va me manque et je sais que ton âme toujours avec moi comme je sais que tu seras aussi présent dans la salle le jour de la remise de mon diplôme, alors j'aimerais de dédier ce modeste travaille à ton âme et je souhaite que tu seras fière à moi

رحمك الله.

A ma très chère mère, Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

*A ma chère sœur « **AYADA Malak** ».*

*A mon frère qui je déjà le perds aussi « **AYADA Mohamed** »*

رحمه الله.

A mes amie Khaoula, Oumaima, Ouafaa, Rahma, Awatef, Lamia, Chaima, Chayma, Sabah

Sans oublier mes chères collègues et mes amies et à tous ceux que j'aime.

*.Mes sincères dédicaces pour : « **GHERIB Said** »*

AYADA AMIRA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de
L'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure

Bonne santé et longue vie.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à

Tous mes frères et mes sœurs, ma nièce Razane, mon neveu

Ishak,

Je dédie ce Travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour

Leurs conseils, aides, et encouragements.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient

Toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant Chemin

D'études supérieures, à mon mari, Toute ma famille et mes amies

sans Oublié mes beaux-parents que j'aime.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce

Projet soit possible, je vous dis merci.

Sommaire

Introduction Générale.....	2
Chapitre I : Méthodes de mesure électrique.	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Résistivité.....	4
I.2.1 Définition de la résistivité.....	4
I.3 Pourquoi utilise-t-on un résistivimètre et pas un ohmmètre	5
I.4 Résistivimètre.....	6
I.4.1 L’historique du résistivimètre.....	6
I.4.2 Définition du résistivimètre.....	7
I.4.3 Principe de mesure par le résistivimètre.....	7
I.5 Les différentes méthodes de mesure.....	8
I.5.1 Méthodes actives.....	8
I.5.1.1 Polarisation provoquée.....	9
I.5.1.2 Les méthodes de résistivité électrique.....	9
I.5.1.2.1 Le dispositif Wenner.....	10
I.5.1.2.2 Le dispositif Schlumberger.....	11
I.5.1.2.3 Le dispositif dipôle-dipôle.....	13
I.5.1.2.4 Le dispositif pôle-dipôle.....	14
I.5.1.2.5 Le dispositif pôle-pôle.....	15
I.5.2 Méthode passive.....	16
I.5.2.1 Potentiel spontané.....	16
I.5.3 Avantages, Inconvénients et limites.....	18
I.6 Conclusion.....	20
Chapitre II : Réalisation pratique du résistivimètre.	
II.1 Introduction.....	22
II.2 Les composants utilisés pour la réalisation du montage.....	22
II.2.1 Le TL431.....	22
II.2.2 Le KA78L05A.....	23
II.2.3 Le PC817 optocoupleur.....	23
II.2.4 Le CD4047.....	24
II.2.5 Le LM324.....	26
II.2.6 Le MC34063.....	27

Sommaire

II.2.7 Le CD40106.....	28
II.2.8 IRF630.....	29
II.2.9 BD243C.....	29
II.2.10 BC557B.....	30
II.2.11 1N4148.....	30
II.2.12 UF4001.....	30
II.3 Le schéma bloc du circuit réalisé.....	31
II.3.1 La description du schéma bloc.....	31
II.4 Les blocs de schéma électrique.....	31
II.4.1 La source de courant constant.....	31
II.4.2 L'optocoupleur-Darlington.....	33
II.4.3 L'astable à sorties complémentaires.....	34
II.4.4 Le convertisseur DC-DC Booster.....	36
II.4.5 Détecteur de surcharge.....	37
II.4.6 Le pont en H.....	37
II.5 Schéma électrique du résistivimètre.....	40
II.5.1 La description du circuit électrique.....	40
II.6 Simulation du montage.....	42
II.7 Mode opératoire.....	52
II.8 Conclusion.....	53
Conclusion générale.....	55
Bibliographie.....	57

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure I.1	Exemple de résistivimètre commercial.	7
Figure I.2	Représentation du champ électrique généré par l'injection d'un courant électrique dans le sol : A et B sont les électrodes d'injection, M et N sont les électrodes mesurant différence de potentiel due à la propagation du champ électrique.	8
Figure I.3	Schéma montrant les électrodes d'injection C1 et C2 (de courant) et les électrodes de mesure P1 et P2 (de potentiel)	10
Figure I.4	Dispositif Wenner.	11
Figure I.5	Dispositif Schlumberger.	12
Figure I.6	Dispositif dipôle-dipôle.	13
Figure I.7	Dispositif pôle-dipôle.	15
Figure I.8	Dispositif pôle- pôle.	16
Figure I.9	Schéma de principe de la mesure passive du potentiel spontané entre deux électrodes non-polarisables.	16
Figure I.10	Matériel associé aux méthodes actives.	17
Figure I.11	Matériel associé à la méthode passive.	18
Figure II.1	Brochage du TL431.	22
Figure II.2	Brochage du KA78L05A.	23
Figure II.3	Brochage de l'optocoupleur.	24
Figure II.4	Brochage du circuit intégré CD4047.	25
Figure II.5	Le circuit de principe sur premier comparateur LM324.	26
Figure II.6	Brochage du circuit intégré LM324.	26
Figure II.7	Brochage du circuit intégré MC34063.	27
Figure II.8	La structure interne et brochage du circuit intégré MC34063.	27
Figure II.9	Brochage du circuit intégré MC40106.	28
Figure II.10	Brochage du transistor IRF630.	29
Figure II.11	Brochage du transistor BD243C.	29
Figure II.12	Brochage du transistor BC557B.	30
Figure II.13	Diode 1N4148.	30
Figure II.14	Diode UF4001.	30

Liste des figures

Figure II.15	Le schéma bloc du circuit proposé.	31
Figure II.16	Le schéma de la source de courant à base du TL431.	32
Figure II.17	Le signal de la tension de référence.	33
Figure II.18	Schéma de l'optocoupleur-darlington commandé par VC0.	34
Figure II.19	Les signaux des sorties Q et \bar{Q}	35
Figure II.20	Le schéma électrique de l'oscillateur avec les buffers.	35
Figure II.21	Le schéma électrique du convertisseur DC-DC.	36
Figure II.22	Schéma du détecteur de surcharge.	37
Figure II.23	Le schéma d'une section active du pont.	38
Figure II.24	Schéma électrique du circuit.	40
Figure II.25	Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 1mA, une tension de 15v et $R_x=11K\Omega$.	42
Figure II.26	Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 1mA, une tension de 15v et $R_x=21K\Omega$.	43
Figure II.27	Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 1mA, une tension de 40v et $R_x=22K\Omega$.	44
Figure II.28	Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 1mA, une tension de 60v et $R_x=55K\Omega$.	45
Figure II.29	Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 10mA, une tension de 15v et $R_x=1.2K\Omega$.	46
Figure II.30	Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 10mA, une tension de 25v et $R_x=3.2K\Omega$.	47
Figure II.31	Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 10mA, une tension de 80v et $R_x=7.7K\Omega$.	48
Figure II.32	Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 100mA, une tension de 30v et $R_x=420\Omega$.	49
Figure II.33	Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 100mA, une tension de 45v et $R_x=420\Omega$.	50
Figure II.34	Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 100mA, une tension de 80v et $R_x=420\Omega$.	51

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau I.1	Les lectures ont tendance à augmenter avec le temps.	6
Tableau II.1	Tableau représente différentes valeurs d'Is.	33

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

L'exploration des couches souterraines soit pour l'eau, les gisements minéraux ou les sites archéologiques nécessite l'utilisation d'outils adéquats. Ces outils, parmi lesquels on compte le résistivimètre sont généralement trop chers pour les entreprises d'exploration dans les pays secs qui sont généralement pauvres. Dans ce contexte, nous proposons un résistivimètre à base de composants standards et dont la réalisation ne requiert pas des instruments ou des outils spéciaux pour un but simple qui est la possibilité de la réalisation d'un résistivimètre pour tous ceux qui sont dans le domaine et ne peuvent pas se permettre un tel instrument.

Le projet vise en la réalisation pratique d'un instrument à base du pont en H et dont le courant dans la charge (le terrain) est maintenu constant grâce à l'utilisation de sources de courant constant ceci dans le but de mesurer une seule grandeur qui est la tension pour calculer la résistivité.

L'alimentation du système est assurée par une batterie rechargeable et un convertisseur DC-DC générant une tension réglable pour générer le courant nécessaire à la mesure.

Les instruments simples trouvés dans la littérature ne prennent pas en charge beaucoup de phénomènes liés au sol lorsqu'on effectue une mesure, parmi ces phénomènes on cite l'effet d'électrolyse qui peut être minimisé par l'inversion de la polarisation de l'alimentation grâce au pont en H. L'utilisation d'un multivibrateur astable à sorties complémentaires pour commander alternativement les branches du pont va simplifier la réalisation et assurer le synchronisme des commandes.

L'alimentation système sera basé sur l'utilisation d'un convertisseur DC-DC de type booster pour générer les tensions nécessaires au fonctionnement de l'instrument.

Les résultats de mesure sont en premier obtenus par simulation et les mesures réelles seront effectuées sur terrain avec l'utilisation d'électrodes disponibles au niveau du département de géologie et si possible l'encadrement par un enseignant du domaine.

L'étude théorique dans la première partie est une investigation sur les méthodes de mesure les plus utilisées avec les définitions et les paramètres nécessaires. La seconde partie de ce projet sera consacrée à l'étude des composants à utiliser tout en se basant sur les fiches techniques et les calculs de base.



Chapitre I
Les méthodes de mesure
électriques

I.1 Introduction

La géophysique comprend un ensemble de méthodes utilisées (électrique, sismique réflexion, électromagnétiques de hautes et de basses fréquences, magnétique et méthodes dédiées à la détection des réseaux) depuis plusieurs décennies dans la prospection pétrolière, minière et hydraulique. Certaines d'entre elles peuvent trouver une utilisation dans les domaines de l'environnement et notamment dans les diagnostics de sites et sols.

Les méthodes électriques sont fondées sur la mesure des champs électriques créés par les sources ponctuelles placées sur la surface de la terre (lieu de la prospection) et calculer par la suite les caractéristiques du milieu, qu'on appelle "résistivité électrique".

Ce chapitre présente, les différentes méthodes de prospection électriques qui sont basées sur les variations de résistivité électrique du sous-sol qui peut être mesuré à l'aide d'un résistivimètre. Celle-ci dépend de la résistance électrique du sous-sol.

I.2 Résistivité :

I.2.1 Définition de la résistivité :

La résistivité électrique d'un matériau représente sa capacité à s'opposer à la circulation du courant électrique. Elle correspond à la résistance d'un tronçon de matériau d'un mètre de longueur et d'un mètre carré de section et est exprimée en ohms mètres, de symbole $\Omega.m$. [1]

Pour la mesurer, on utilise le résistivimètre, on injecte dans le sol un courant électrique d'intensité connue, via deux électrodes (A et B). Deux autres électrodes (M et N) permettent de mesurer la différence de potentiel qui en résulte. On calcule alors la résistivité électrique selon l'équation :

$$\rho = K \cdot \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}} \quad (I.1)$$

Où ρ est la résistivité électrique (ohm.m), la différence de potentiel (V), l'intensité électrique (A) et K un facteur géométrique qui dépend de la configuration géométrique des électrodes, c'est-à-dire de leurs positions respectives les unes par rapport aux autres. La circulation du courant électrique à l'intérieur du sol dépend de la nature de ce dernier (granulométrie, présence d'éléments grossiers) et de son état lié à des facteurs conjoncturels (remplissage de la porosité par de l'eau, arrangement spatial des particules de sol, température). [2]

I.3 Pourquoi utilise-t-on un résistivimètre et pas un ohmmètre :

On pourrait penser qu'un simple multimètre commuté sur une gamme d'ohms appropriée serait la solution la plus rentable pour mesurer la résistivité. Cependant, ces instruments utilisent le courant continu pour effectuer des mesures de résistance, et cela présente certaines difficultés. Le multimètre réagira aux éléments suivants :

- "Effet de batterie", causé par l'interaction chimique entre les sondes et les acides ou alcalis présents naturellement dans les sols
- Effet électrolytique du courant de mesure traversant le sol.

Le premier point est explicite, mais le deuxième pourrait avoir besoin d'éclaircissements. L'effet électrolytique provoquera une augmentation graduelle de la résistance de contact entre les sondes et le sol, ce qui fera augmenter progressivement la lecture sur le multimètre. Cette augmentation de la résistance de contact est provoquée par une pellicule de gaz recouvrant les sondes, en raison de l'eau dans le sol se décomposant en ses parties constitutives d'oxygène et d'hydrogène sous l'influence du courant de mesure. Cette expérience va expliquer cet effet : On connecte un multimètre, réglé sur la gamme Kilo ohms, à deux sondes enfoncées dans le sol à environ 200 mm de profondeur et 500 mm de distance. Les sondes peuvent être des morceaux de tiges de métalliques. Ensuite, on allume le multimètre et on enregistre les lectures de résistance contre le temps. On peut voir dans le Tableau1 que les lectures ont tendance à augmenter avec le temps et ne se stabilisent pas. Ceci démontre l'effet électrolytique du courant de mesure.

Temps	R(K Ω)	R(K Ω) (fils inversés)
0 sec.	6.36	9.66
10 secs.	6.66	10.00
20 secs.	6.76	10.15
30 secs.	6.81	10.28
40 secs.	6.87	10.34
50 secs.	6.91	10.40
1.0 min	6.95	10.44
1.5 min.	7.06	10.53
2.0 min.	7.17	10.57
2.5 min.	7.23	10.59
3.0 min.	7.23	10.63
3.5 min.	7.30	10.66
4.0 min.	7.30	10.69
4.5 min.	7.28	10.70
5.0 min.	7.36	10.72

Tab I.1: Les lectures ont tendance à augmenter avec le temps. [3]

Il peut être vu à partir des colonnes de résultats que l'inversion des fils donne un ensemble totalement différent de lectures croissantes. C'est le résultat de la combinaison de l'effet "batterie" avec l'effet électrolytique. En changeant le multimètre sur le mode millivolt DC on peut voir une lecture de, par exemple, 150mV, qui démontre l'effet de batterie. En changeant encore du mode DC vers le mode AC du millivolt on peut observer une lecture de, probablement, 3mV à 4mV indiquant ainsi les courants de circulation dérivés du secteur. [3]

I.4 Résistivimètre

I.4.1 L'historique du résistivimètre

La technique de l'étude de résistivité a d'abord été utilisée par les ingénieurs de génie civil pour l'étude des sites proposés pour la construction, l'installation de barrages, etc. Les archéologues ont réalisé son potentiel en 1946. Ces premiers instruments étaient alimentés par des générateurs de type AC à manivelle manuelle et utilisaient une configuration de pont de résistances pour effectuer des mesures.

Comme une série de lectures à travers un site était nécessaire, la procédure était lente et fastidieuse. Avec l'arrivée du transistor, les systèmes de mesure de résistivité conçus spécifiquement pour l'archéologie sont progressivement devenus plus rapides performants.

Les premiers systèmes ont progressé à travers une configuration de pont AC (pont de Wheatstone en alternatif) qui est équilibré par un potentiomètre étalonné pour chaque lecture.

Les instruments commerciaux actuels sont conçus pour enregistrer les lectures directement dans un enregistreur de données, afficher les résultats sous forme de carte ou de graphe sur un ordinateur portable sur le terrain. Il est intéressant de noter en passant que les mesures de résistivité ont récemment été utilisées pour la mesure des fissures dans les métaux et aussi dans les applications médicales. [3]

I.4.2. Définition du résistivimètre

Un résistivimètre est un instrument qui sert à mesurer la résistivité du sol, c'est-à-dire l'inverse de la conductivité électrique par quatre électrodes, deux électrodes dites d'injection ou de courant et les deux autres dites de mesures ou de tension.

Le résistivimètre peut être utilisé seul avec un jeu d'électrodes manuelles que l'on enfonce dans le sol. Il permet d'étudier les variations de la résistivité électrique avec la profondeur ainsi que les variations latérales observées le long de profils. L'appareil permet de résoudre des problèmes tels que la localisation de zones altérées, la détermination de la profondeur d'un obstacle (roche, socle), le repérage des limites entre deux textures contrastées (sable-argile). [4]



Figure I.1: Exemple de résistivimètre commercial.

I.4.3. Principe de mesure par le résistivimètre

Le résistivimètre génère un courant continu I grâce à une source de courant fixe injecté dans le sol par deux électrodes conductrices A et B. La mesure de la différence de potentiel V entre les électrodes de potentiel notées M et N par un voltmètre permet de trouver la valeur de la résistivité apparente (la résistivité du sol dépend de sa composition réelle, de l'humidité présente, des matériaux et de la quantité de compactage). [5]

La connaissance du courant I , la mesure du potentiel V et les distances inter-électrodes permettent de déterminer la résistivité apparente du sol.

K est déterminé par la position des électrodes, qui varie suivant les dispositifs employés. La séquence de mesures, dépendant du protocole de mesure choisi.

Il s'ensuit donc que la prise d'une ou deux lectures sur un site n'a aucun sens et ne transmettra aucune information utile à l'opérateur. Une série de lectures doit être prise méthodiquement selon un plan préétabli. Le résistivimètre nécessite un système de sondes enfoncées dans le sol à une profondeur d'environ 250 mm pour effectuer ses mesures. L'enquête de résistivité peut donc être considérée comme une technique non destructive qui ne nuira pas à un site archéologique. [5]

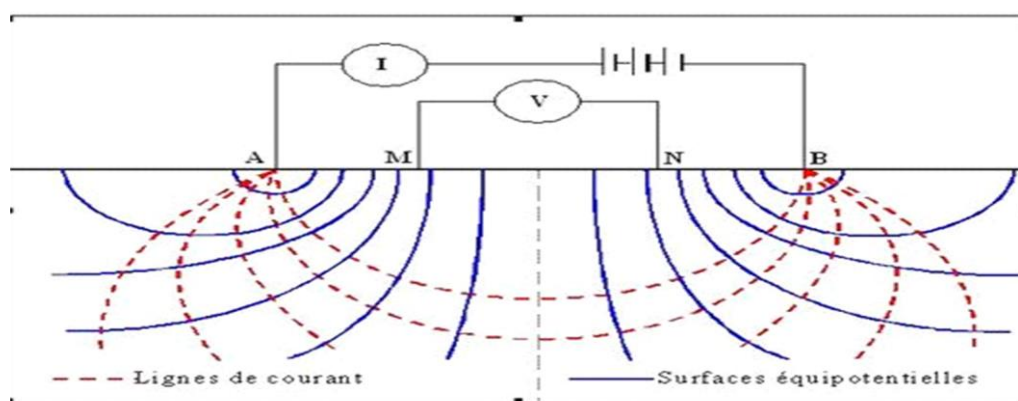


Figure I.2: Représentation du champ électrique généré par l'injection d'un courant électrique dans le sol : A et B sont les électrodes d'injection, M et N sont les électrodes mesurant la différence de potentiel due à la propagation du champ électrique. [5]

I.5 Les différentes méthodes de mesure

I.5.1 Méthodes actives

Deux paires d'électrodes sont plantées dans le sol, le courant est injecté via une paire (AB - Fig. I.2) et on mesure une différence de potentiel via l'autre paire (MN - Fig. I.2). Il existe deux principaux modes de mesure.

- ✓ La différence de potentiel entre les deux électrodes M et N permet de déterminer la résistivité électrique apparente (paramètre qui définit la capacité du sol à s'opposer au passage du courant électrique). Il s'agit de la méthode dite de résistivité électrique. C'est la méthode électrique de loin la plus courante.
- ✓ Le deuxième mode consiste à mesurer l'évolution de la réponse électrique au cours du temps, après l'arrêt de l'injection du courant dans le sol (phénomène de décharge). C'est la méthode dite de la polarisation provoquée temporelle.

[6]

I.5.1.1 Polarisation provoquée

La polarisation provoquée (PP) consiste à injecter un courant électrique dans les terrains et à mesurer leur effet capacitif, en mesurant la relaxation électrique (décroissante de la potentiel) de ceux-ci après arrêt de l'injection. Cette mesure peut être réalisée de deux manières principales : dans le domaine temporel (PPT), ou dans le domaine fréquentiel (PPF).

D'un point de vue pratique cette mesure est réalisée, comme la mesure de résistivité, à l'aide de quatre électrodes reliées à un résistivimètre. [7]

Le principe de la méthode PP consiste à polariser le sous-sol en y injectant un courant électrique à l'aide d'un couple d'électrodes. Le sol se charge ainsi électriquement comme un condensateur jusqu'à atteindre un équilibre. Le courant est ensuite coupé de façon instantanée imposant ainsi un déséquilibre électrique. [8]

Le rapport de l'intégrale entre la différence de potentiel résiduelle mesurée après l'arrêt d'injection du courant sur la différence de potentiel mesurée juste avant l'arrêt donne accès à la chargeabilité du sol (Capacité à pouvoir être chargée). Ce paramètre caractérise la capacité du sous-sol à se polariser électriquement. Elle permet de détecter des objets conducteurs disséminés dans le sol qui ne seraient pas visibles avec la résistivité.

Une forte chargeabilité indique la présence de sulfures ou d'oxydes métalliques ou encore d'argiles comme l'illite ou la montmorillonite, ou la présence de contaminants organiques.

I.5.1.2 Les méthodes de résistivité électrique

Les méthodes de résistivité sont fondées sur la mesure des champs électriques créés par les sources ponctuelles placées sur la surface de la terre (lieu de la prospection) et le calcule par la suite des caractéristiques du milieu, qu'on appelle « résistivité apparente ». Supposons que sur la surface d'un sol de résistivité homogène, il y a deux prises de terre ponctuelles C1 et C2(AB) et deux électrodes P1et P2 (MN) entre lesquelles on peut mesurer la différence de potentiel. Le calcul de la résistivité apparente dépend du dispositif de mesure choisi. Il existe plusieurs dispositifs dont nous allons exposer les plus connus.

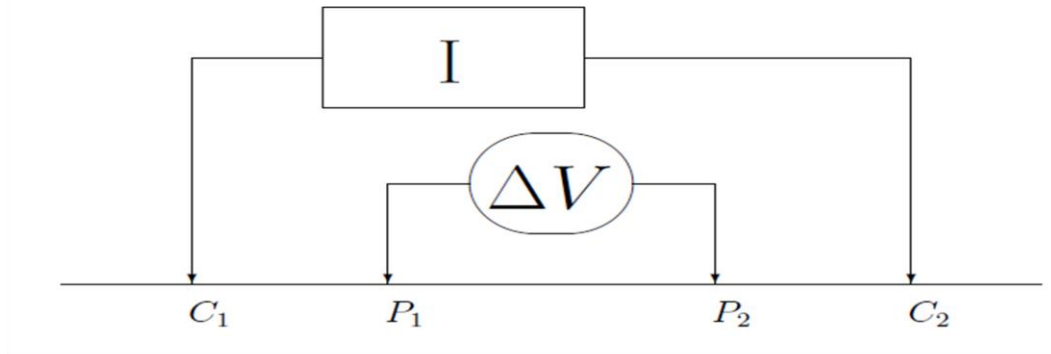


Figure I.3: Schéma montrant les électrodes d'injection C1 et C2 (de courant) et les électrodes de mesure P1 et P2 (de potentiel). [9]

Notons $\Delta V_{P_1P_2}^{C_1}$ la différence de potentiel (DDP) entre les électrodes P1 et P2 (MN) causée par l'injection en C1(A), $\Delta V_{P_1P_2}^{C_2}$ celle causée par l'injection en C2(B) et r la distance entre les électrodes. On obtient :

$$\Delta V_{P_1P_2}^{C_1} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi \left(\frac{1}{r_{C_1P_1}} - \frac{1}{r_{C_1P_2}} \right)} \quad (I.2)$$

$$\Delta V_{P_1P_2}^{C_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi \left(\frac{1}{r_{C_2P_1}} - \frac{1}{r_{C_2P_2}} \right)} \quad (I.3)$$

$$\Delta V_{P_1P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi \left(\frac{1}{r_{C_1P_1}} - \frac{1}{r_{C_1P_2}} - \frac{1}{r_{C_2P_1}} + \frac{1}{r_{C_2P_2}} \right)} \quad (I.4)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_{C_1P_1}} - \frac{1}{r_{C_1P_2}} - \frac{1}{r_{C_2P_1}} + \frac{1}{r_{C_2P_2}} \right)} \quad (I.5)$$

On a la résistivité : (en Ohm)

$$\rho_a = \frac{K \cdot \Delta V_{P_1P_2}}{I} \quad (I.6)$$

Cette formule exprimant la proportionnalité entre la résistivité apparente, le coefficient du dispositif, la tension entre les électrodes de réception P1 P2 et le courant d'émission I [9].

I.5.1.2.1 Le dispositif Wenner

Dans le dispositif Wenner, (Figure I.4) l'écart inter-électrode (a) est constant. On déplace alors tout le dispositif d'un point de mesure à l'autre. Les DDP causées par le courant injecté en C1 et C2 sont respectivement

$$\Delta V_{P_1P_2}^{C_1} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) \quad (\text{I. 7})$$

$$\Delta V_{P_1P_2}^{C_2} = \frac{-\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right) \quad (\text{I. 8})$$

Donc la DDP totale est

$$\Delta V_{P_1P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right) \quad (\text{I. 9})$$

$$\Delta V_{P_1P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{2}{a} - \frac{2}{2a} \right) \quad (\text{I. 10})$$

$$\Delta V_{P_1P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi a} \quad (\text{I. 11})$$

En rappelons enfin que c'est tout de même ρ qui nous intéresse, d'où

$$\rho_w = \frac{\Delta V_{P_1P_2}}{I} 2\pi a \quad (\text{I. 12})$$

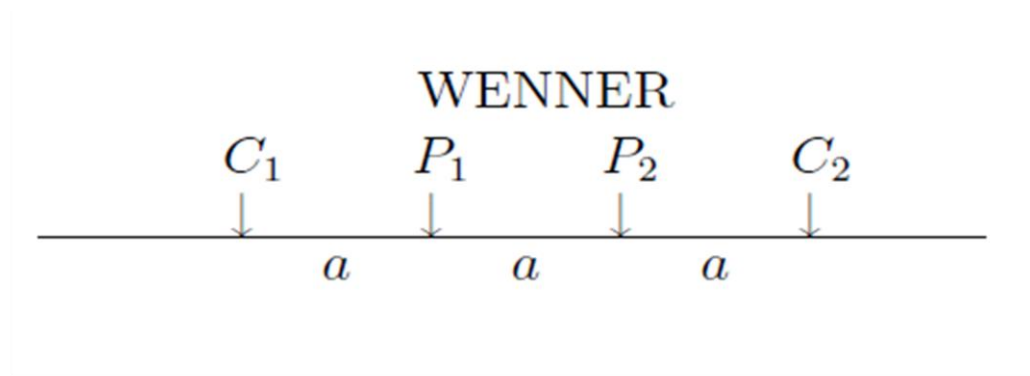


Figure I.4: Dispositif Wenner. [9]

Le dispositif Wenner est beaucoup utilisé en cartographie électrique. On peut couvrir relativement une grande surface. Alors que signifie la valeur de ρ obtenue ci-dessus? Il s'agit en fait d'une résistivité apparente, c'est-à-dire d'une résistivité intégrée de la surface jusqu'à une certaine profondeur la plupart du temps inconnue. On sait cependant que plus a est grand plus cette profondeur sera grande. Il conviendra donc d'adapter le dispositif de mesure à la profondeur présumée de la cible. Par exemple, si l'on s'intéresse à un objectif à 10 m de profondeur, prévoir un a de 15-20 m.

Il est possible d'aborder les variations de la résistivité en profondeur avec un tel dispositif en réalisant plusieurs cartes avec différentes valeurs de a . On voit aisément que cette approche s'avère pour le moins fastidieuse. [9]

I.5.1.2.2 Le dispositif Schlumberger

Dans le dispositif Schlumberger, (Figure 1.5) les électrodes de mesure sont immobiles au centre du dispositif et on fait varier l'écart entre les électrodes d'injection. On obtient ainsi un sondage de la résistivité en profondeur sous le centre du dispositif. On ne suppose ici que le milieu sous-jacent est tabulaire, c'est-à-dire que la résistivité ne varie qu'avec la profondeur. En gardant la notation précédente et en notant la moitié de la distance entre C1 et C2 et la moitié de celle entre P1 et P2, on obtient

$$\Delta V_{P_1 P_2}^{C_1} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{L-l} - \frac{1}{L+l} \right) \quad (\text{I.13})$$

$$\Delta V_{P_1 P_2}^{C_2} = \frac{-\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{L+l} - \frac{1}{L-l} \right) \quad (\text{I.14})$$

Donc la DDP totale est

$$\Delta V_{P_1 P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{L-l} - \frac{1}{L+l} - \frac{1}{L+l} + \frac{1}{L-l} \right) \quad (\text{I.15})$$

$$\Delta V_{P_1 P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{L-l} - \frac{1}{L+l} \right) \quad (\text{I.16})$$

$$\Delta V_{P_1 P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{L+l - L+l}{L^2 - l^2} \right) \quad (\text{I.17})$$

Mais $L \gg l$, d'où

$$\Delta V_{P_1 P_2} = \frac{\rho \cdot I \cdot 2l}{2\pi L^2} \quad (\text{I.18})$$

Et

$$\rho_s = \frac{\Delta V_{P_1 P_2} \pi L^2}{I \cdot 2l} \quad (\text{I.19})$$

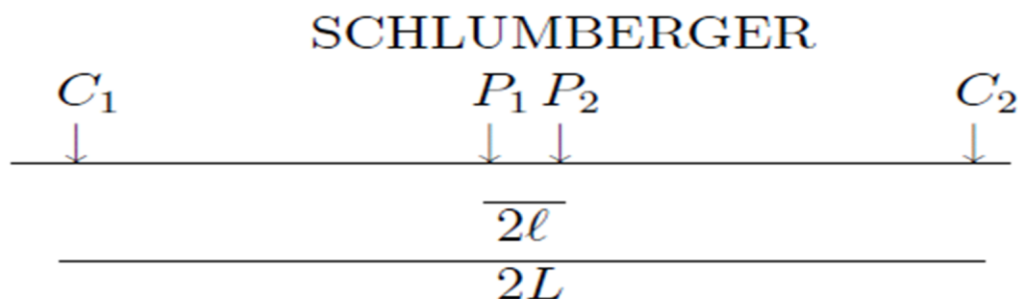


Figure I.5: Dispositif Schlumberger. [9]

Encore une fois ici, la valeur de ρ représente une résistivité apparente de la surface à une profondeur donnée. On peut ici obtenir les valeurs de résistivité vraie (pour chaque couche) par modélisation.

Notez qu'en pratique, les électrodes P1 et P2 doivent parfois être déplacées lorsque leur différence de potentiel devient trop faible. Ceci n'a pas d'incidence particulière sur la valeur de ρ car on doit augmenter le courant d'injection en conséquence. Il est cependant éminemment souhaitable que lorsque l'on déplace P1 et P2, on fasse une mesure avec l'ancienne et la nouvelle valeur de résistivité *en* gardant L constant pour s'assurer que tout est correct. On rappelle seulement que tout repose sur $L \gg 1$. [9]

I.5.1.2.3 Le dispositif dipôle-dipôle

Une autre approche au sondage électrique est le dispositif dipôle-dipôle de la figure I.6. Ici les électrodes d'injection et de mesure sont séparées d'un multiple de leur propre écart a . Ce dispositif est avantageux car il découple l'injection et la mesure, comme on le fait en sismique par exemple, ce qui a pour effet de réduire le bruit relié au couplage électrique. Nous suivons la notation précédente, avec n l'écart entre les deux dipôles.

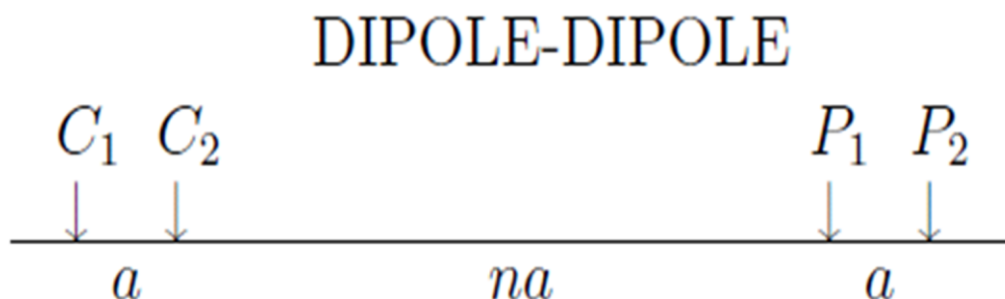


Figure I.6: Dispositif dipôle-dipôle. [9]

$$\Delta V_{P_1 P_2}^{C_1} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{(n+1)a} - \frac{1}{(n+2)a} \right) \quad (\text{I. 20})$$

$$\Delta V_{P_1 P_2}^{C_2} = \frac{-\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{na} - \frac{1}{(n+1)a} \right) \quad (\text{I. 21})$$

En additionnant les deux termes, on obtient la différence de potentiel entre P1 et P2, Soit

$$\Delta V_{P_1 P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi a} \left(\frac{2}{n+1} - \frac{1}{n+2} - \frac{1}{n} \right) \quad (\text{I. 22})$$

$$\Delta V_{P_1P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi a} \left(\frac{2n(n+2) - n(n+1) - (n+1)(n+2)}{n(n+1)(n+2)} \right) \quad (I.23)$$

$$\Delta V_{P_1P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi a} \left(\frac{2n^2 + 4n - n^2 - n - n^2 - 3n - 2}{n(n+1)(n+2)} \right) \quad (I.24)$$

$$\Delta V_{P_1P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi a} \left(\frac{-2}{n(n+1)(n+2)} \right) \quad (I.25)$$

Le signe négatif ne pose pas de problème. On n'a qu'à inverser les électrodes, d'où [9]

$$\Delta V_{P_1P_2} = \frac{\rho \cdot I}{a\pi} \frac{1}{n(n+1)(n+2)} \quad (I.26)$$

$$\rho_{DD} = \frac{\Delta V_{P_1P_2}}{I} \pi a n(n+1)(n+2) \quad (I.27)$$

I.5.1.2.4 Le dispositif pôle-dipôle

Pour ce dispositif, on place une des électrodes d'injection à une très grande distance (infinie du point de mesure), figure I.7. Si on met C_1 à l'infini, alors les différences de potentiel deviennent.

$$\Delta V_{P_1P_2}^{C_1} = 0 \quad (I.28)$$

$$\Delta V_{P_1P_2}^{C_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{L} - \frac{1}{L+a} \right) \quad (I.29)$$

Où L et a sont les distances entre C_2 et P_1 et P_1 et P_2 respectivement. On a donc

$$\Delta V_{P_1P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{L} - \frac{1}{L+a} \right) \quad (I.30)$$

$$\Delta V_{P_1P_2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{a}{L(L+a)} \right) \quad (I.31)$$

La résistivité est alors [9]

$$\rho_{PD} = \frac{\Delta V_{P_1P_2}}{I} \frac{2\pi L(L+a)}{a} \quad (I.32)$$

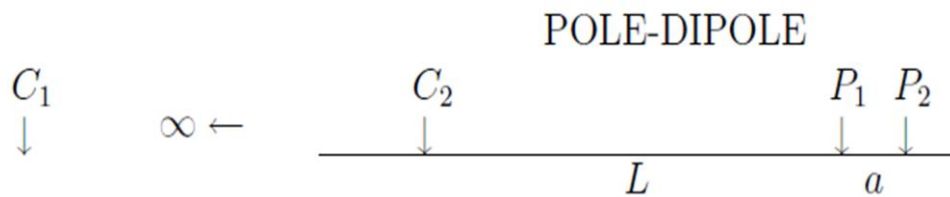


Figure I.7: Dispositif pôle-dipôle. [9]

I.5.1.2.5 Le dispositif pôle-pôle

Il comporte seulement deux électrodes actives, (Figure 1.8) C2 d'envoi de courant, P1 de réception du potentiel, les deux autres C1 et P2 étant rejetées à l'infini. Cette configuration, est aussi appelée « sonde normale ».

Néanmoins, le rejet des 2 électrodes C1 et P2, pratiquement à une distance minimale de 10 fois l'espacement C2P1, limite son emploi aux faibles et moyennes profondeurs. En outre, le pouvoir de résolution comme nous le verrons plus bas, est le plus faible par rapport aux autres dispositifs [10], il ne reste que : [9]

$$\Delta V_{P1P2}^{C1} = 0 \quad (\text{I. 33})$$

$$\Delta V_{P1P2}^{C2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi L} \quad (\text{I. 34})$$

Où L encore la distance entre $C2$ et $P1$. On a donc

$$\Delta V_{P1P2} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi L} \quad (\text{I. 35})$$

La résistivité est alors

$$\rho_{PP} = \frac{\Delta V_{P1P2}}{I} 2\pi L \quad (\text{I. 36})$$

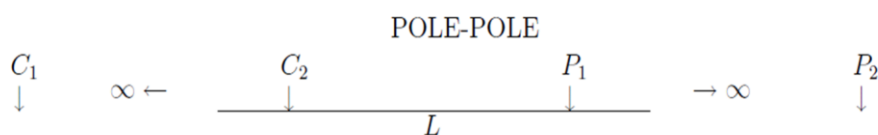


Figure I.8: Dispositif pôle- pôle. [9]

I.5.2 Méthode passive :

Pour cette méthode, il s'agit de mesurer dans le sous-sol des différences de potentiel résultant de l'existence de courants électriques naturels générés par les circulations de fluides, par un potentiel de corrosion, par l'activité bactérienne... Seules deux électrodes sont utilisées, et il n'y a pas d'injection de courant préalable. C'est la méthode du potentiel spontané

I.5.2.1 Potentiel spontané

La méthode de potentiel spontanée (PS) consiste à mesurer les différences de potentiels électriques générés naturellement dans les sols. Les potentiels naturels du sol peuvent se scinder en deux composantes: une composante constante et unidirectionnelle aussi appelée potentiel minéral et une composante variant avec le temps, due entre autres à des processus électrocinétiques et électrochimiques.

Sur le terrain, la mesure de potentiel spontané est réalisée à l'aide du résistivimètre et de deux électrodes non-polarisables déplacées manuellement sur l'ensemble de la zone à investiguer: une des électrodes reste fixe et sert de référence alors que la seconde est déplacée pour chaque mesure (figure I.11). Un nombre important de mesures ponctuelles de potentiel est ainsi réalisé, et permet d'établir un profil ou une cartographie de la zone. [11]

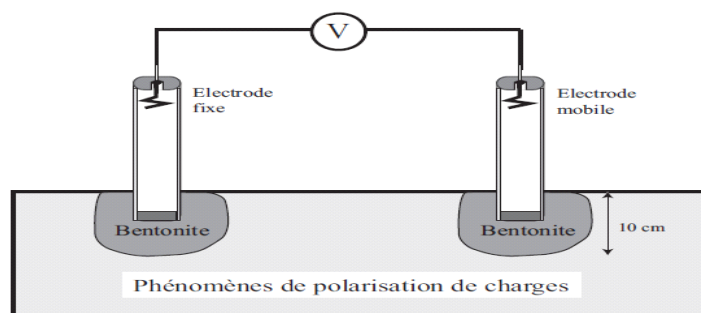


Figure I.9 : Schéma de principe de la mesure passive du potentiel spontané entre deux électrodes non-polarisables. [8]

Il existe deux modes de mesure de potentiel spontané :

- ✓ soit l'une des électrodes reste fixe et on mesure la différence de potentiel entre cette référence et la deuxième électrode qui se déplace régulièrement selon une grille référencée (mode base-fixe – surtout pour les petits terrains de surface $< 1 \text{ km}^2$),
- ✓ soit les deux électrodes se déplacent ensemble avec un espacement constant de façon à établir un gradient de polarisation de faible profondeur (différence de potentiel par rapport à la distance entre les deux électrodes) (mode gradient – surtout pour les terrains plus grands $> 1 \text{ km}^2$).

Pour la méthode passive, les mesures de potentiel spontané peuvent être réalisées avec un équipement constitué uniquement :

- ✓ d'un voltmètre à très haute impédance d'entrée
- ✓ de câbles de préférence blindés
- ✓ de deux électrodes spéciales non polarisables (Figure. I.10).

L'utilisation d'électrodes non polarisables est indispensable. Ce ne sont plus de simples piquets métalliques (mesure de résistivités apparentes) mais des dispositifs plus fragiles (filament métallique dans un récipient poreux rempli d'une solution saline du même métal) et dont la mise en contact avec le sol est délicate.

Les signaux recherchés pouvant être très faibles, il faut utiliser des voltmètres à forte impédance d'entrée (au moins un ordre de grandeur supérieur à l'impédance du sous-sol entre les deux électrodes de mesure). Il faut s'assurer que les mesures au niveau de l'électrode servant de base (dispositif base-fixe) soient stables et faiblement bruitées (faibles variations de mesure au cours du temps). [6]



Figure I.10: Matériel associé aux méthodes actives. [6]

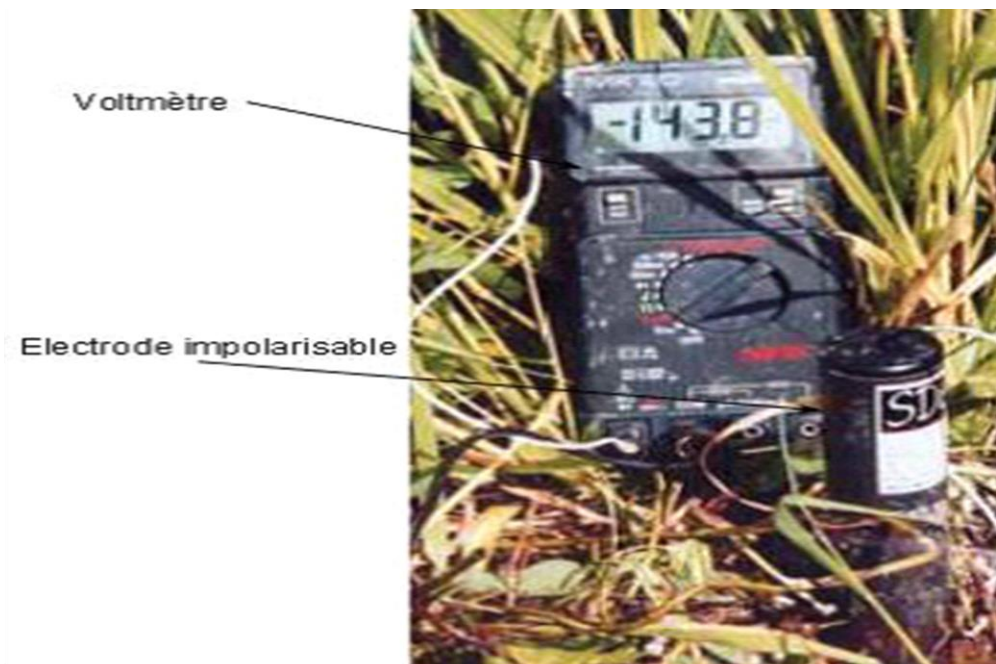


Figure I.11: Matériel associé à la méthode passive. [6]

I.5.3 Avantages, Inconvénients et limites

➤ Avantages

- ✓ Techniques de résistivité électrique
 - Très large gamme de variation de la résistivité sur au moins 12 ordres de grandeur (nature géologique, état hydrique des sols, objets métalliques...), ce qui en fait une propriété physique intéressante pour discriminer des matériaux entre eux (ou leurs variations spatiales et temporelles).
 - Sensibilité à la nature et l'état d'un sol, en particulier son état hydrique.
 - Rapidité (suivant les techniques d'acquisition).
- ✓ Polarisation provoquée
 - Très complémentaire des techniques de résistivité : l'acquisition en parallèle avec le même dispositif, discrimination de terrains dont la réponse est ambiguë en résistivité (ex : couche sableuse saturée versus couche d'argile).
- ✓ Potentiel spontané
 - Une des seules méthodes géophysiques (avec les méthodes thermiques) directement sensibles à des écoulements dans le sol.
 - Méthode directement sensible aux potentiels d'oxydoréduction (avantage si c'est l'objet de la détection). [6]

➤ Inconvénients :

- ✓ Techniques de résistivité électrique
 - Nécessité d'un contact électrique de qualité avec le sol d'où certaines difficultés ou impossibilités en milieu urbain ou industriel.
 - Pour la même raison, méthode plus longue à mettre en œuvre sur sols très secs (mauvais contacts électriques, nécessité d'humidifier le terrain au contact avec les électrodes).
 - Pénétration beaucoup plus limitée dans les terrains argileux, surtout s'ils sont très humides.
- ✓ Polarisation provoquée (PP) et Potentiel spontané (PS)
 - Nécessité d'utiliser des électrodes non polarisables (indispensable pour PS, recommandé pour PP), ce qui rend la mise en œuvre plus lourde et délicate.
 - Acquisitions plus longues (PP).
 - Faiblesse des signaux.
 - Sources de biais et bruit nombreuses (surtout PS).
 - Réponses dépendant de la distribution de résistivité (PS). [6]

➤ Limites

- ✓ Toutes les méthodes
 - Méthode inadaptée s'il y a des revêtements de surface durs (dalle, enrobé, etc.) (NB : dans de tels cas, on peut néanmoins utiliser des systèmes à électrodes capacitatives, avec une perte en résolution et une plus grande sensibilité au bruit).
 - Méthode difficilement utilisable en présence de dalle de béton armé enfouie ou à proximité de structures métalliques linéaires non isolées. Les réseaux métalliques enterrés constituent des perturbateurs pour l'utilisation des méthodes électriques, qu'ils soient perpendiculaires ou parallèles au profil de mesure.
 - Selon les conditions climatiques, le comportement des terrains superficiels varie.
 - Sensibilité (profondeur de pénétration) dégradée dans certains contextes géologiques (ex : couche conductrice sur couche plus résistive) pouvant de ce fait limiter la détection d'objets enfouis.
 - Méthode difficilement utilisable sur une surface très asséchée. [6]

I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre plusieurs méthodes de mesure de la résistivité ont été évoquées. On peut résumer que les méthodes de prospection électrique regroupent des méthodes actives basées sur l'injection d'un courant dans le sous-sol (ex : résistivité électrique et polarisation provoquée), et les méthodes passives mesurant, par exemple, le champ électrique résultant de l'existence de courants électriques naturels présents dans le sous-sol (potentiel spontané).

Bien que l'instrument qu'on va présenter dans ce mémoire peut être utilisé par plusieurs dispositifs de mesure, les testes ou simulations élaborés seront seulement liés au dispositif Wenner et au dispositif Schlumberger en particulier.

Chapitre II

La réalisation pratique du résistivimètre

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre on va aborder l'étude pratique de chaque bloc du schéma du circuit du dispositif réalisé, Il s'agit d'une description générale du résistivimètre avec une étude détaillée de chaque composant de semi-conducteur précédent et à la fin on fait une simulation de ce schéma.

II.2 Les composants utilisés pour la réalisation du montage :

II.2.1 Le TL431A :

Le circuit intégré TL431A est un régulateur de shunt programmable genre de diode Zener programmable. La tension de sortie peut être ajustée entre $V_{\text{réf}}$ 2.50V et 36V, avec seulement 2 résistances externes. Ce dispositif présente une large plage de courant de fonctionnement de 1,0 mA à 100mA avec une impédance dynamique typique de $0,22\Omega$. Les caractéristiques de ces références en font d'excellents remplaçants pour les diodes Zener en de nombreuses applications telles que les voltmètres numériques, les alimentations et les circuits d'amplification. La référence 2,5 V permet d'obtenir une référence stable à partir des alimentations logiques 5,0 V. Le TL431 est utilisé en générale comme régulateur de tension mais il peut aussi être utilisé comme régulateur de courant (source, sink de courant). [12]

Brochage du TL431A :

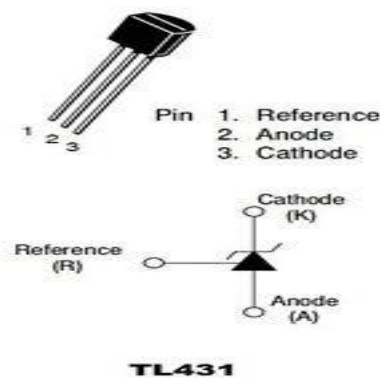


Figure II.1: Brochage du TL431.

1. Référence.
2. Anode.
3. Cathode.

II.2.2 Le KA78L05A :

Un régulateur de tension est un circuit intégré à trois bornes. Son rôle est de fournir une tension régulée (stable et fixe) à partir d'une tension continue plus grande. Il est utilisé pour des circuits de montage électronique qui nécessitent une tension qui ne varie pas. Il est caractérisé par : $V_{in}=10\text{v}$, $V_{out}=5\text{v}$, $I_o = 40 \text{ mA}$. [13]

Le Brochage du KA78L05A :

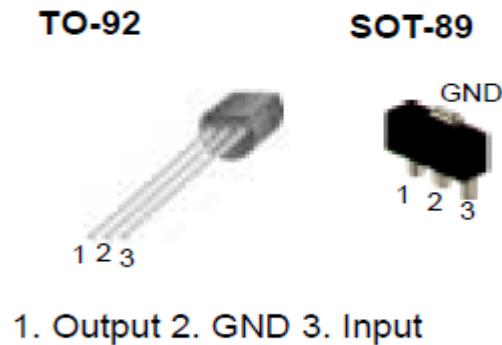


Figure II.2: Brochage du KA78L05A.

1. Sortie.
2. GND.
3. Entrée.

II.2.3 Le PC817 optocoupleur :

Le PC817 sert à coupler de manière optique, sans contact électrique. L'optocoupleur repose sur une LED et un phototransistor. Lorsque la LED émet de la lumière le transistor devient alors passant. Ce genre de systèmes permet de réaliser une conversion courant électrique - lumière infrarouge - courant électrique tout en ayant des parties bien isolées l'une de l'autre. Ses caractéristiques :

- ✓ Type de phototransistor : NPN.
- ✓ Nombre de canaux : 1.
- ✓ $V_{cemax} : 35\text{V}$.
- ✓ $I_{Cmax} : 50\text{mA}$. [14]

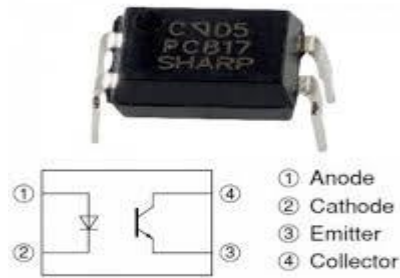


Figure II.3: Brochage de l'optocoupleur PC817.

1. L'anode de la diode LED.
2. Cathode de la diode LED.
3. L'émetteur du phototransistor.
4. Collecteur du phototransistor.

II.2.4 Le CD4047 :

Le CD4047 est un circuit multivibrateur monostable/astable. Il nécessite un condensateur externe (entre les broches 1 et 3) et une résistance externe (entre les broches 2 et 3) pour déterminer la largeur d'impulsion de sortie en mode monostable, et la fréquence de sortie dans le mode astable. Le circuit est doté de deux sorties complémentaires Q et \bar{Q} . D'après la fiche technique, la période de temps de l'oscillation du signal de la sorties Q et \bar{Q} est donnée par la relation : [12]

$$T = 4.4RC(s) \quad (\text{II.1})$$

La fréquence égale $\frac{1}{T}$ donc :

$$F = \frac{1}{4.4RC} (\text{Hz}) \quad (\text{II.2})$$

Le schéma suivant détaille les différentes broches du CD4047 :

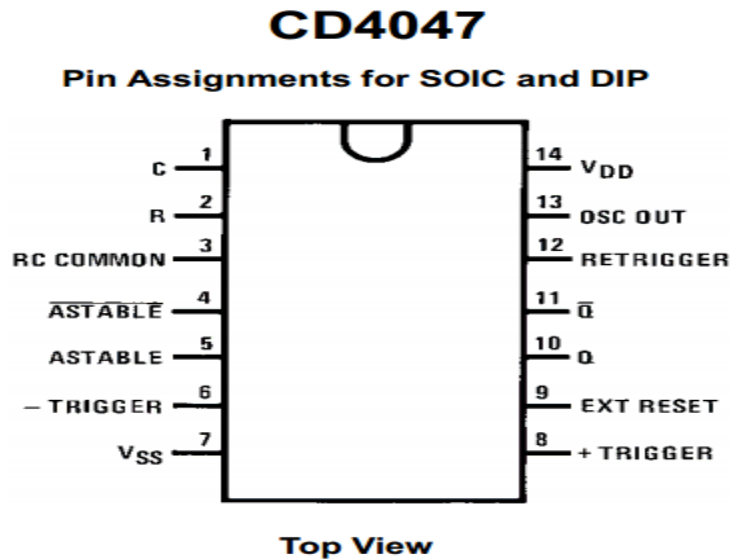


Figure II.4 : Brochage du circuit intégré CD4047.

1. C timing : la Capacité C est connectée entre cette broche et RCC.
2. R timing : La résistance R est connectée entre cette broche et RCC.
3. RC Common : Il s'agit d'un point terminal commun entre R et C.
4. $\overline{\text{ASTABLE}}$: Le niveau de signal bas à cette entrée permet le fonctionnement Astable.
5. Astable : Le niveau de signal haut à cette entrée permet le fonctionnement Astable.
6. -Trigger : Le fonctionnement monostable est activé lorsque le signal à cette entrée est déclenché par une transition haute à bas.
7. V_{SS} : Masse du circuit.
8. +Trigger : Le fonctionnement monostable est activé lorsque le signal à cette entrée est déclenché par une transition basse à haut.
9. (EXT RESET) : Lorsque l'entrée de réinitialisation se connecte au niveau HAUT, elle réinitialise la sortie Q à 0.
10. Q : Sortie non inversée.
11. \bar{Q} : Sortie inversée.
12. Retrigger: Utilisé pour déclencher simultanément les broches 7 et 8 en mode monostable.
13. OSC out : donne La sortie de l'oscillateur en mode astable.
14. V_{DD} : Alimentation. [15]

II.2.5 Le LM324 :

L'amplificateur opérationnel LM324 peut être utilisé comme comparateur. Cet IC dispose de 4 amplificateurs opérationnels indépendants sur une seule puce. Il est utilisé pour comparer deux tensions V_+ et V_- . Si la tension $V_+ > V_-$ alors la tension de sortie est V_{CC} et si $V_- > V_+$ alors la tension de sortie est 0 ou $-V_{CC}$ si celle-ci est son alimentation négative.

❖ Circuit de principe du comparateur :

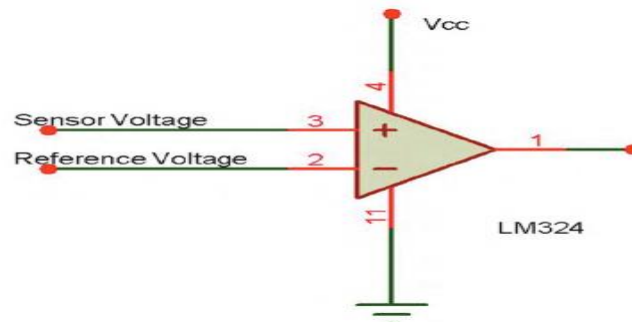


Figure II.5 : Le circuit de principe sur premier comparateur LM324.

Il comporte 14 broches et la fonction de chaque broche est décrite ci-dessous.

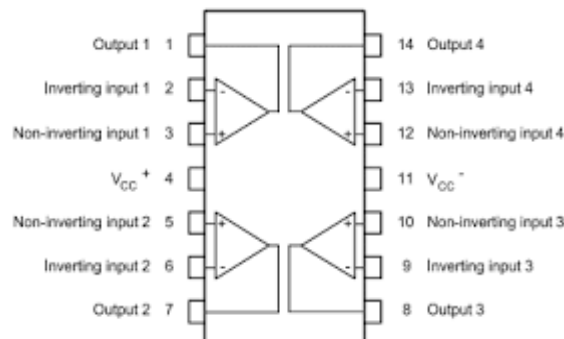


Figure II.6 : Brochage du circuit intégré LM324.

(1, 7, 8,14) : les Sorties des comparateurs, (3, 5, 10,12) : Entrées non inverseuses des comparateurs, 4 : Tension d'alimentation $+V_{CC}$, (2, 6, 9,13) : Entrées inverseuses des comparateurs, 11 : GND ou $-V_{CC}$. [16]

II.2.6 Le MC34063 :

Le MC34063A est un circuit de commande monolithique qui a les fonctions principales requises pour les convertisseurs DC-DC. Ces dispositifs se composent d'un comparateur de référence à compensation thermique interne, oscillateur à cycle de fonctionnement contrôlé avec un circuit de limite de courant actif, haut courant (Figure II.8). Cette série a été spécifiquement conçue pour être intégrée dans les convertisseurs Step Down, Step Up et Inverseur de tension avec un nombre minimum de composants externes. [13]

Il comporte 8 broches et la fonction de chaque broche est décrite ci-dessous :

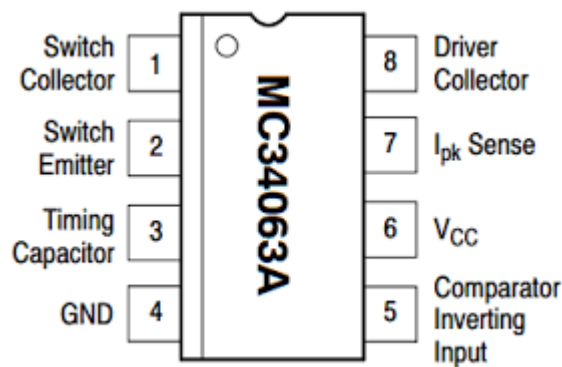


Figure II.7 : Brochage du circuit intégré MC34063.

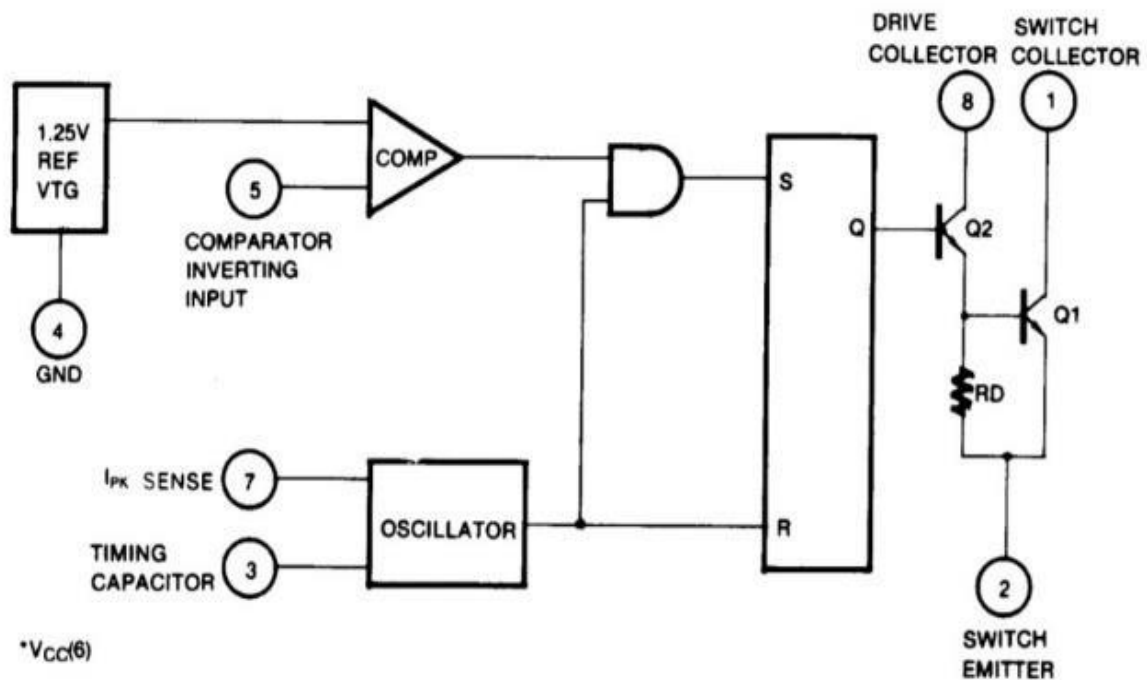


Figure II.8 : La Structure interne et Brochage du circuit Intégré MC 34063.

1. Collecteur du commutateur : entrée du collecteur du commutateur interne à courant élevé.
2. Interrupteur émetteur : entrée de l'émetteur du commutateur interne de courant élevé.
3. Condensateur de synchronisation : condensateur pour la fréquence de commutation.
4. GND.
5. Entrée d'inversion du comparateur : entrée feedback réalisée par un diviseur de tension à partir de la tension de sortie (boucle de rétroaction).
6. V_{CC} : tension d'alimentation.
7. I_{pk} : entrée de détection de limite de courant.
8. Driver Collecteur : Entrée du collecteur des transistors d'entraînement de la paire Darlington. [17]

II.2.7 Le CD40106 :

Le CD40106 trigger de Schmitt est un Circuit intégré de type buffer inverseur à 14 broches est destiné à donner un courant important en sortie pour attaquer des entrées nécessitant un grand courant. [12]

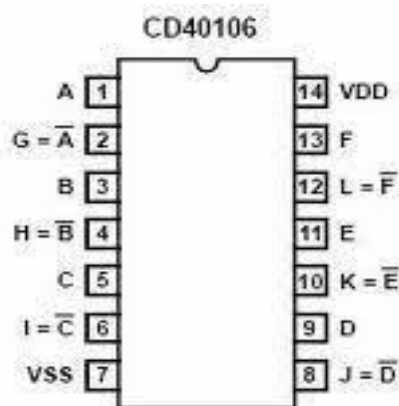


Figure II.9 : Brochage du circuit intégré CD40106.

Il contient six portes NOT indépendantes dont (1, 3, 5, 7, 9, 11,13) : les entrées des portes (2, 4, 6, 8, 10,12) : les sorties des portes, 7 : GND, 14 : VDD (Tension d'alimentation).

II.2.8 IRF630 :

Est un transistor MOSFET de canal N dont les caractéristiques principales sont :
 $I_{Dmax}=9A$, $V_{DSmax}=200v$. [13]

❖ L'IRF 630 se présente comme un composant à trois broches :

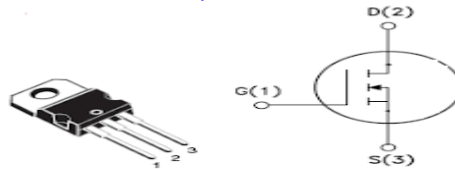


Figure II.10: Brochage du transistor IRF630.

1. La grille.
2. Le drain.
3. La source.

II.2.9 BD243C :

Transistor bipolaire épitaxial NPN. Le courant $I_{Cmax}=6A$, la tension $V_{cemax}=100V$ et le gain $H_{fe} = 30$. [18]

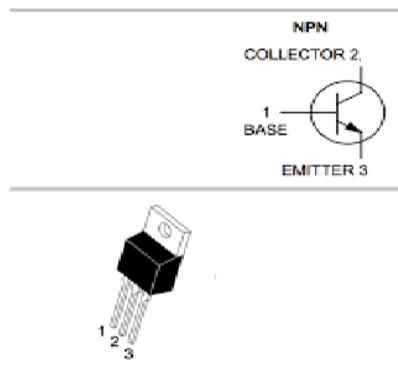


Figure II.11: Brochage du transistor BD243C.

1. Base.
2. Collecteur.
3. Emetteur.

II.2.10 BC557B :

Transistor épitaxial PNP. Le courant $I_{Cmax} = -100\text{mA}$ et $V_{cemax} = -45\text{V}$. [19]

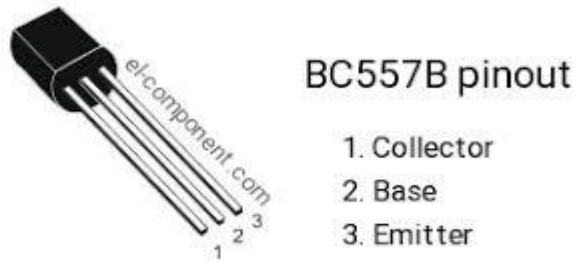


Figure II.12 : Brochage du transistor BC557B.

II.2.11 1N4148 :

Une diode de commutation caractérisée par tension inverse 75v , $I_{direct} = 150\text{mA}$. [20]



Figure II.13: diode 1N4148.

II.2.12 UF4001 :

Une diode de commutation rapide caractérisée par tension inverse de 50v , $I_{direct} = 1\text{A}$. [21]



Figure II.14 : Diode UF4001.

II.3 Le schéma bloc du résistivimètre :

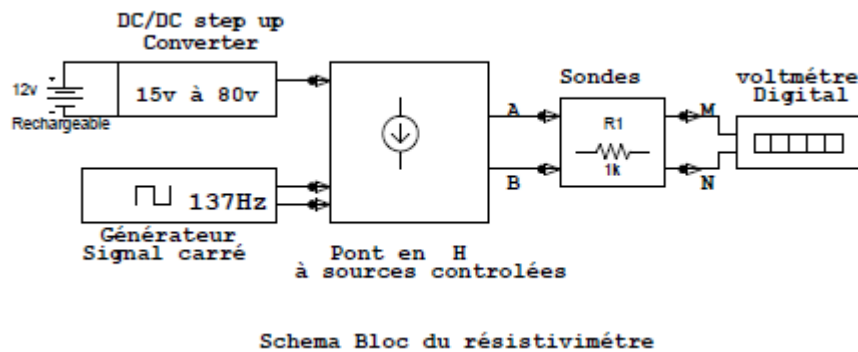


Figure II .15 : Le schéma bloc du circuit proposé.

II.3.1 la description du schéma bloc :

D'après le schéma bloc de la Figure II.15 l'oscillateur est construit autour du CD4047 qui est un générateur de signaux carrés à sorties complémentaires et dont la fréquence fixe est de 137Hz. Ces sorties activent alternativement les deux sources de courants qui constituent les deux branches inférieures du pont en H. Chaque source de courant constant active délivre un courant constant qui traverse la charge du pont qui est ici la résistance du sol. La charge du pont entre les points AB est connectée à l'instrument par les électrodes de courant A et B parfois appelées aussi C1 et C2. La tension prélevée des points MN, (parfois aussi appelé P1P2) est appliquée à un voltmètre pour la mesure. La DDP V_{MN} mesurée par un voltmètre sert, avec le courant de source choisi et les dimensions utilisées, à déterminer la valeur de la résistivité.

L'alimentation du système est assurée par une batterie rechargeable de 12v et un convertisseur DC-DC de type booster générant une tension réglable de 15 à 80v pour alimenter les électrodes de courant AB (C1C2) à travers le pont.

II.4. Les blocs du schéma électrique :

II.4.1. La source de courant constant :

Pour éviter au moins une variable (le courant qu'on mesure avec l'ampèremètre), on utilise une source de courant constant qui permet d'injecter un courant fixe au sol par les deux électrodes C1 et C2(AB). On peut construire une source de courant constant à l'aide du régulateur TL431 et un transistor NPN, comme indiqué sur la Figure II.16.

Le TL431 asservit une tension relativement constante aux bornes de R_s ($V_{réf} = 2.50V$), La valeur du courant circulant dans R_s est définie par la valeur de la tension $V_{réf}$ du régulateur.

Le courant de sortie étant I_s (le courant I_{KA} pouvant être négligé). Avec la loi d'Ohm, on déduit I_s :

$$I_s = \frac{V_{réf}}{R_s} \quad (\text{II. 3})$$

$$I_s = \frac{2.5}{250} = 10\text{mA} \quad (\text{II. 4})$$

Voir tableau II.1 pour différentes valeurs.

La tension de commande V_c est la tension de contrôle de la source et elle doit avoir une valeur $V_c > V_{réf} + V_{be} = 3.2V$.

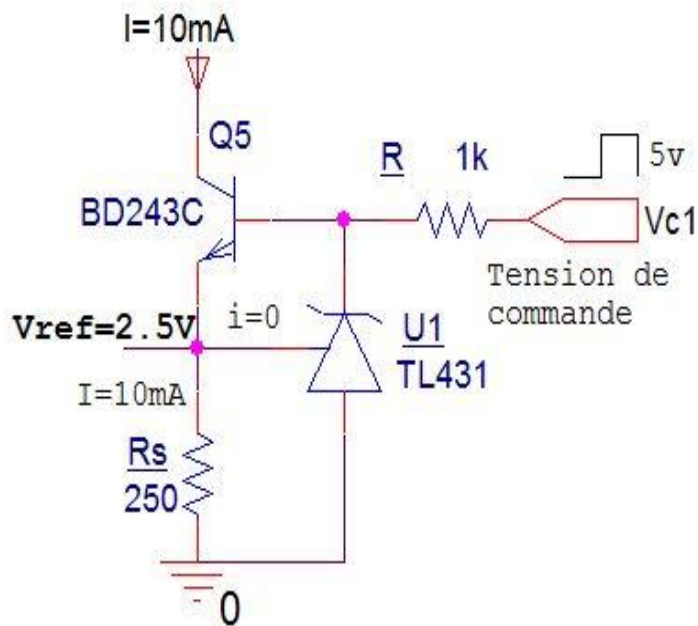


Figure II.16 : Le schéma de la source de courant à base du TL431.

Calibre Is (mA)	Résistance RS = $\frac{V_{réf}}{I_s}$ (Ω)
1mA	2.5K Ω
10mA	250 Ω
100mA	25 Ω
3mA	830 Ω
30mA	83 Ω
300mA	8.3 Ω
5mA	500 Ω
50mA	50 Ω
500mA	5 Ω

Tableau II.1 : Tableau représente différentes valeurs de Is.

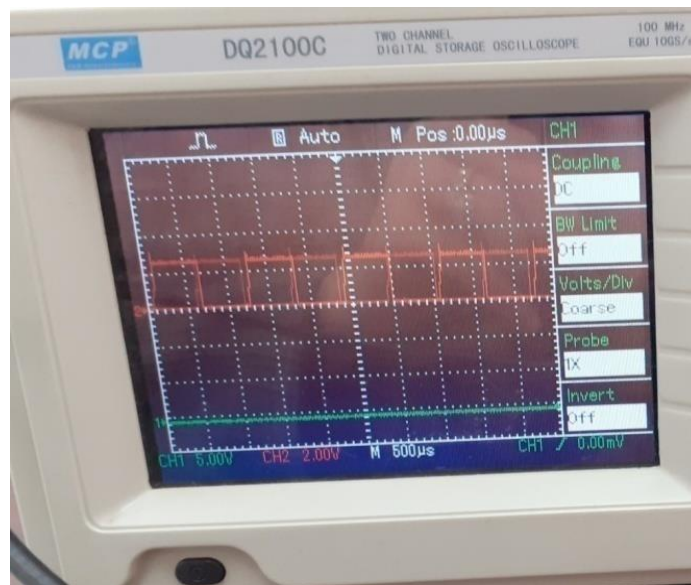


Figure II.17 : Le signal de la tension de référence.

II.4.2 L'optocoupleur-Darlington :

On a utilisé un optocoupleur de type PC817 pour commander les transistors du pont en H, cet optocoupleur repose sur une LED et un phototransistor. Ce dernier est couplé avec un transistor NPN comme indiqué sur la figure II.18 donne un équivalent d'un phototransistor Darlington activé par la diode LED de l'optocoupleur.

On applique un signal carré à Vc0 variant entre 0V et 5V, si on applique une tension de

5V, un courant passe dans la LED, elle émet de la lumière, la lumière émise par la LED est captée par le phototransistor qui devient alors passant. Mais si on applique une tension de 0V le courant ne passe pas dans la LED, elle n'émet pas de lumière donc le phototransistor devient bloqué.

La photo Darlington est activée par la diode LED de l'optocoupleur de la même façon quel que soit sa tension d'alimentation +V et pour la même tension de commande $V_c=5\text{ V}$.

Lorsqu'on augmente la tension avec le convertisseur DC-DC, il peut présenter des tensions dangereuses donc pour éviter la défaillance de tout le circuit on a utilisé Le PC817 pour isoler la partie commande de la partie tension élevée.

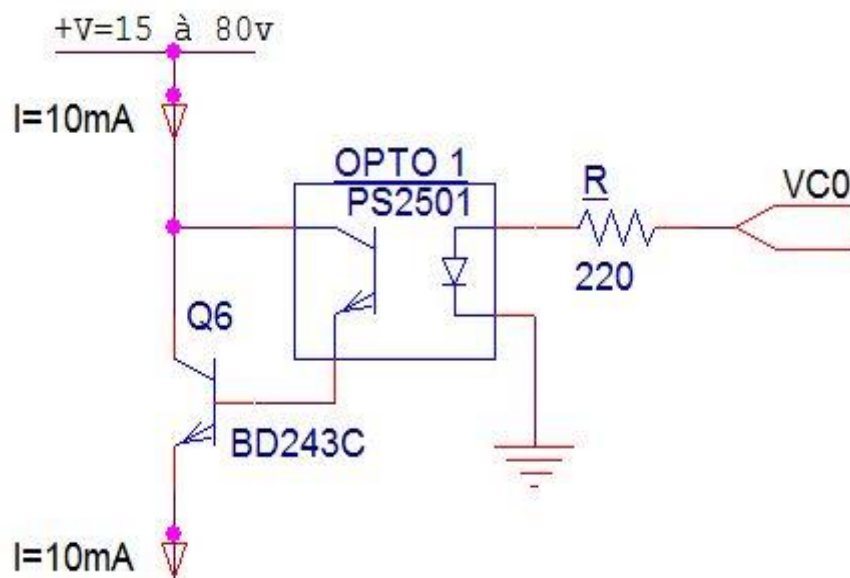


Figure II.18 : Schéma de L'optocoupleur-Darlington commandé par VC0.

II.4.3 L'astable à sorties complémentaires :

Un oscillateur à onde carrées doit être utilisé pour commander le pont en H (les deux sources de courant et les deux transistors Darlington) d'une façon alternative (Q1 active avec S2et Q2 avec S1). Il est construit autour du circuit intégré CD4047avec les deux sorties complémentaires Q et \bar{Q} .

Pour régler la fréquence du signal de sortie près de 137 Hz (figure II.19). Il nécessite un condensateur externe (entre les broches 1 et 3) de valeur $C7=100\text{nF}$, et une résistance externe (entre les broches 2 et 3) de valeur $R20=16.6\text{ K}\Omega$.

Ces sorties complémentaires sont branchées avec le CD40106 (circuit buffer) (voir la figure II.20) pour préserver la forme du signal. Néanmoins ces sorties doivent être bufferées pour attaquer les LED des optocoupleurs et les sources de courant.

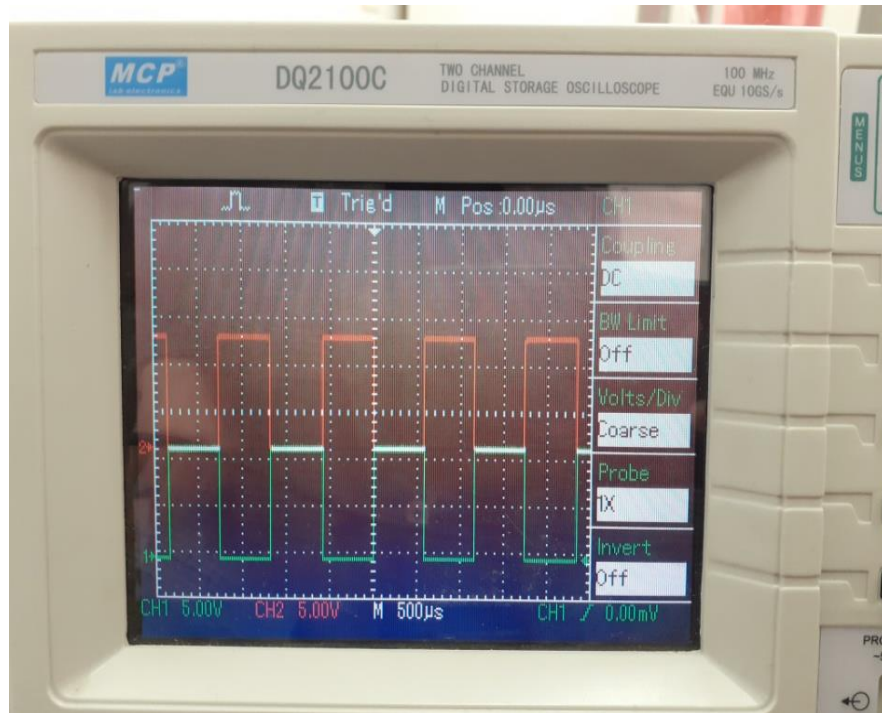


Figure II.19 : Les signaux des sortie Q et \bar{Q} .

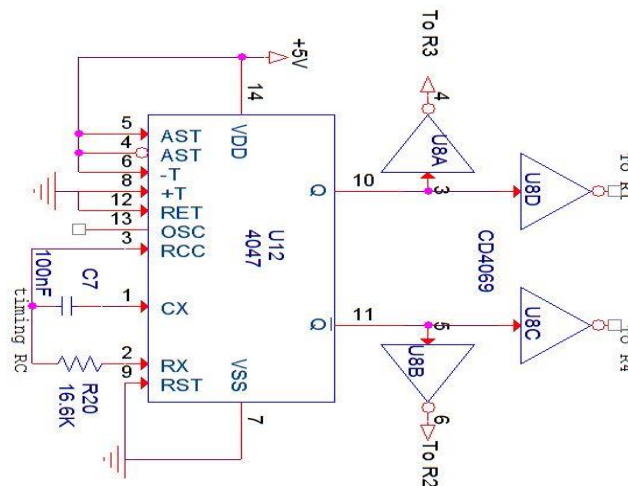


Figure II.20: Le schéma électrique de l'oscillateur avec les buffers.

II.4.4 Le convertisseur DC-DC Booster :

Pour faire les mesures deux paires d'électrodes sont plantées dans le sol où la distance entre ces électrodes dépend de la méthode de mesure utilisée. La tension générée par l'alimentation n'est pas suffisante quand on augmente la distance entre les électrodes donc on ajoute un convertisseur DC-DC boost à base d'un MC34063 pour régler le problème de voltage (figure II.21), il converti une entrée nominale de 12V à n'importe quelle tension de 15V à 80V. Le circuit nécessite une bobine de 470μH, une résistance et un potentiomètre comme diviseur de tension pour le feedback et la régulation de la tension de sortie.

La tension de sortie est réglable, lorsqu'on augmente la distance en éloignant les électrodes de courant AB(C1C2), on augmente celle-ci simultanément afin d'alimenter ces électrodes à travers le pont. La variation de la tension de sortie est obtenue en calculant les résistances du diviseur de tension pour le feedback. On peut calculer la tension de sortie V_{out} D'après la fiche technique on a $V_f=1.25v$

$$V_f = \left(\frac{R_v1 + R21}{R_{20} + R_v1 + RV0 + R21} \right) V_{out} \quad (II. 5)$$

$$V_{out} = \left(\frac{R20 + RV0}{RV1 + R21} + 1 \right) 1.25 \quad (II. 6)$$

RV0 : partie de RV du côté de R20

RV1 : partie de RV du côté de R21

V_f : tension de feedback

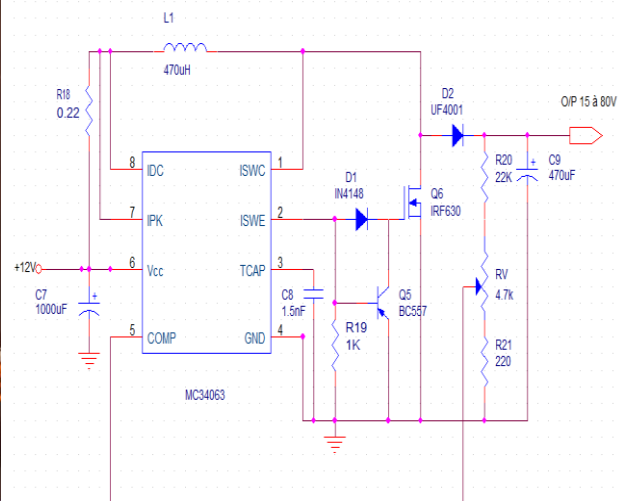
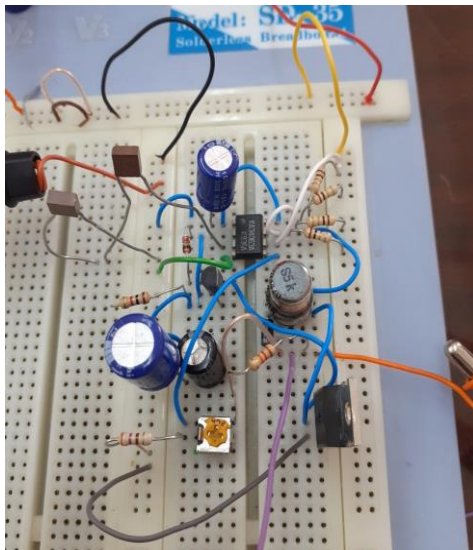


Figure II.21 : Le schéma électrique du convertisseur DC-DC.

II.4.5 Détecteur de surcharge :

Comme indiqué sur la figure II.22 le détecteur est basé sur un comparateur de tension qui est généralement un amplificateur opérationnel sans contre réaction. La surcharge consiste en la résistance R_x lorsqu'elle dépasse $R_{x\max}$ ce qui se traduit par un courant de source I_s inférieur au courant de source I_s choisi ce qui signifie que $V'_{\text{réf}} = R_s I'_s < V_{\text{réf}} = 2.5\text{V} = R_s I_s$.

Dans ce cas, le comparateur vérifie toujours que la tension de référence ne baisse pas en dessous d'un certain seuil arbitraire (nous avons choisi 2.45 V).

Dès que la tension $V_{\text{réf}} = 2.45\text{V}$ le comparateur bascule à +12V en sortie ce qui allume une LED rouge pour indiquer le dépassement. Pour remédier au problème il faut augmenter la tension +V, si la tension +V est maximale, alors il faut sélectionner un courant de source plus faible.

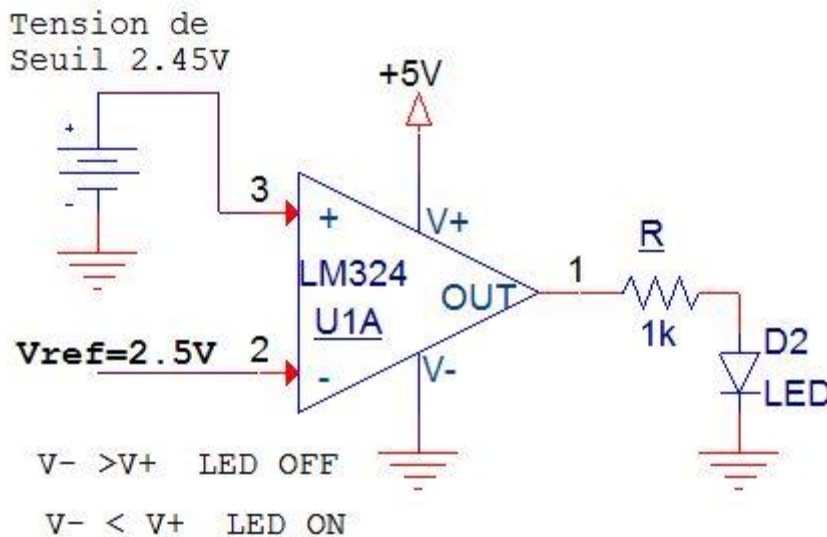


Figure II.22 : Schéma du détecteur de surcharge.

II.4.6 Le pont en H :

Pour éviter l'effet de batterie qu'on a déjà exprimé dans le chapitre précédent, on doit inverser le courant dans les électrodes et pour éviter de le faire manuellement on utilise le pont en H pour alimenter alternativement les électrodes.

Notre pont H est un assemblage de deux transistors (Q_1 et Q_3) et deux sources de courant (S_1 et S_2) montés de telle façon que le courant puisse circuler dans les deux sens au travers de la charge résistive.

Si Q1 et S2 sont activés alors que Q3 et S1 sont désactivés, le courant circulera de A vers B,

Si Q3 et S1 sont activés alors que Q1 et S2 sont désactivés, le courant circulera de B vers A.

Q1 et S1 ne doivent jamais être commutés en même temps (tout comme Q3 et S2) car cela provoquerait un court-circuit franc et cela est destructeur pour l'alimentation.

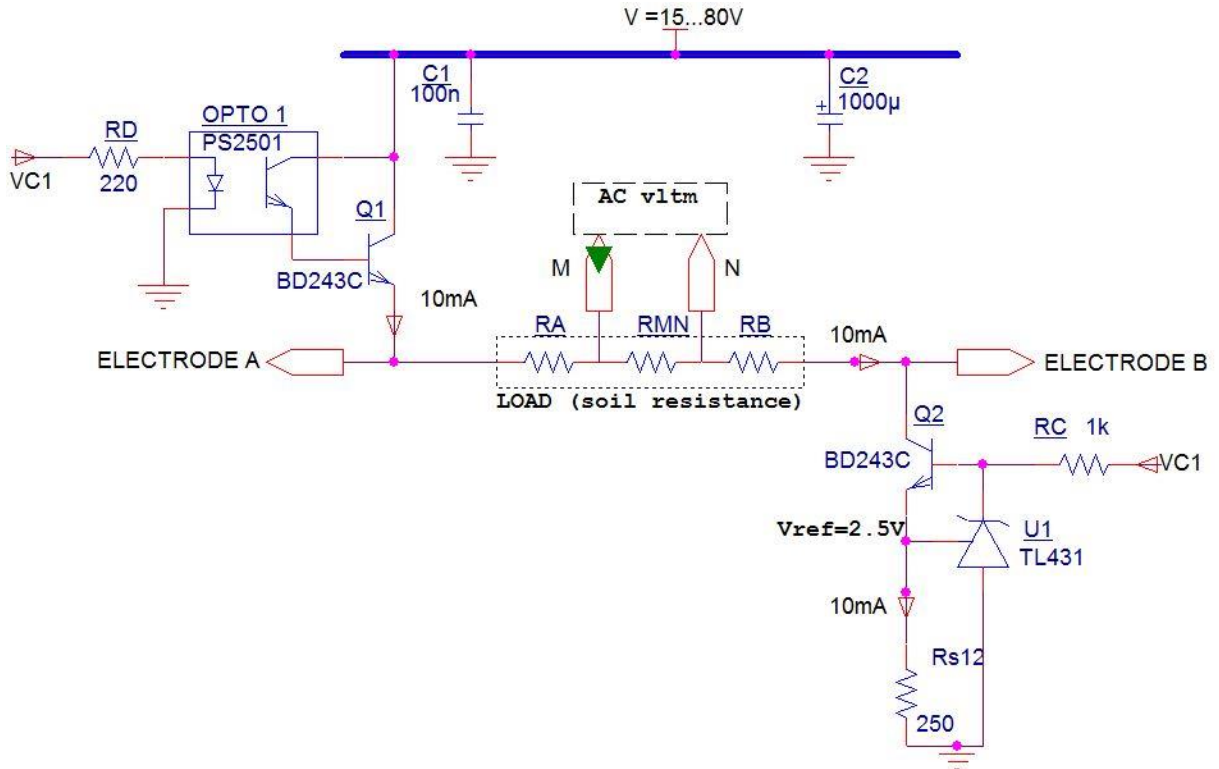


Figure II.23 : Le schéma d'une section active du pont.

D'après le schéma de la figure II.23 on a :

$$+V = V_{ce1} + R_x I_s + V_{ce2} + R_s I_s \tag{II. 7}$$

Sachant que : $R_s I_s = V_{réf} = 2.5V$, $R_x = R_A + R_{MN} + R_B$ et que V_{ce} est la tension collecteur-émetteur.

L'optocoupleur Ph1 avec T1 forment un transistor hybride de type Darlington et l'utilisation de l'optocoupleur élimine les résistances de polarisation qui doivent être changées lorsque la tension +V change. Avec la valeur choisie de RD (200) l'optocoupleur mène Q1 à la saturation pour chaque impulsion de commande VC1.

Donc :

$$+V = V_{ce1} + R_x I_s + V_{ce2} + V_{réf} \tag{II. 8}$$

Avec $V_{ce1sat} = 0.2 \text{ à } 0.5 V$

On a alors :

$$+V = R_x I_s + V_{ce2} + 2.8V \quad (\text{II. 9})$$

Avec I_s Constant on peut voir que : à la limite lorsque Q2 est saturé on a

$$+V = R_x I_s + V_{ce2sat} + 2.8V \quad (\text{II. 10})$$

Approximativement on peut dire que :

$$+V = R_x I_s + 3V \quad (\text{II. 11})$$

Alors on peut déduire que R_x est maximale dans cette condition :

$$R_{x\max} = \frac{(+V - 3)}{I_s} \quad (\text{II. 13})$$

C'est-à-dire que pour chaque $+V$ on a un $R_{x\max}$ lorsque Q2 atteint la saturation.

Exemple pour $I_s=10\text{mA}$ et $+V=15\text{ V}$ (tension minimale).

La résistance R_x entre les électrodes A et B qu'on peut mesurer est :

$$R_{x\max} = \frac{(15 - 3)}{10^{-2}} = 1200\Omega \quad (\text{II. 14})$$

Pour $+V=80\text{ V}$ (tension maximale) :

$$R_{x\max} = \frac{(80 - 3)}{10^{-2}} = 7700\Omega \quad (\text{II. 15})$$

Il n'y a pas de résistance R_x minimale puisque pour $R_x=0$ on a $+V = V_{ce2} + 3$.

Ce qui mène à dire que Q2 doit avoir comme caractéristique $V_{ce}>80\text{V}$ et que le circuit fonctionne normalement pour les faibles valeurs de R_x quel que soit la valeur de la tension d'alimentation $+V$.

On peut conclure alors que pour une tension quelconque $+V$ il y a une résistance maximale mesurable, lorsque la résistance R_x dépasse la valeur $R_{x\max}$ il faut augmenter la valeur de $+V$.

Autrement, le courant de source I_s n'a plus la valeur choisie et d'après l'équation (II.13), on tire.

$$I_s = \frac{(+V - 3)}{R_{x\max}} \quad (\text{II. 16})$$

Il est clair que I_s ne garde pas la valeur de courant de source choisi lorsque R_x dépasse $R_{x\max}$. Dans cette condition on peut dire que la tension $+V$ n'est pas suffisante pour générer le courant I_s demandé à travers R_x lorsqu'elle dépasse la valeur $R_{x\max}$.

I.5 Schéma électrique du résistivimètre :

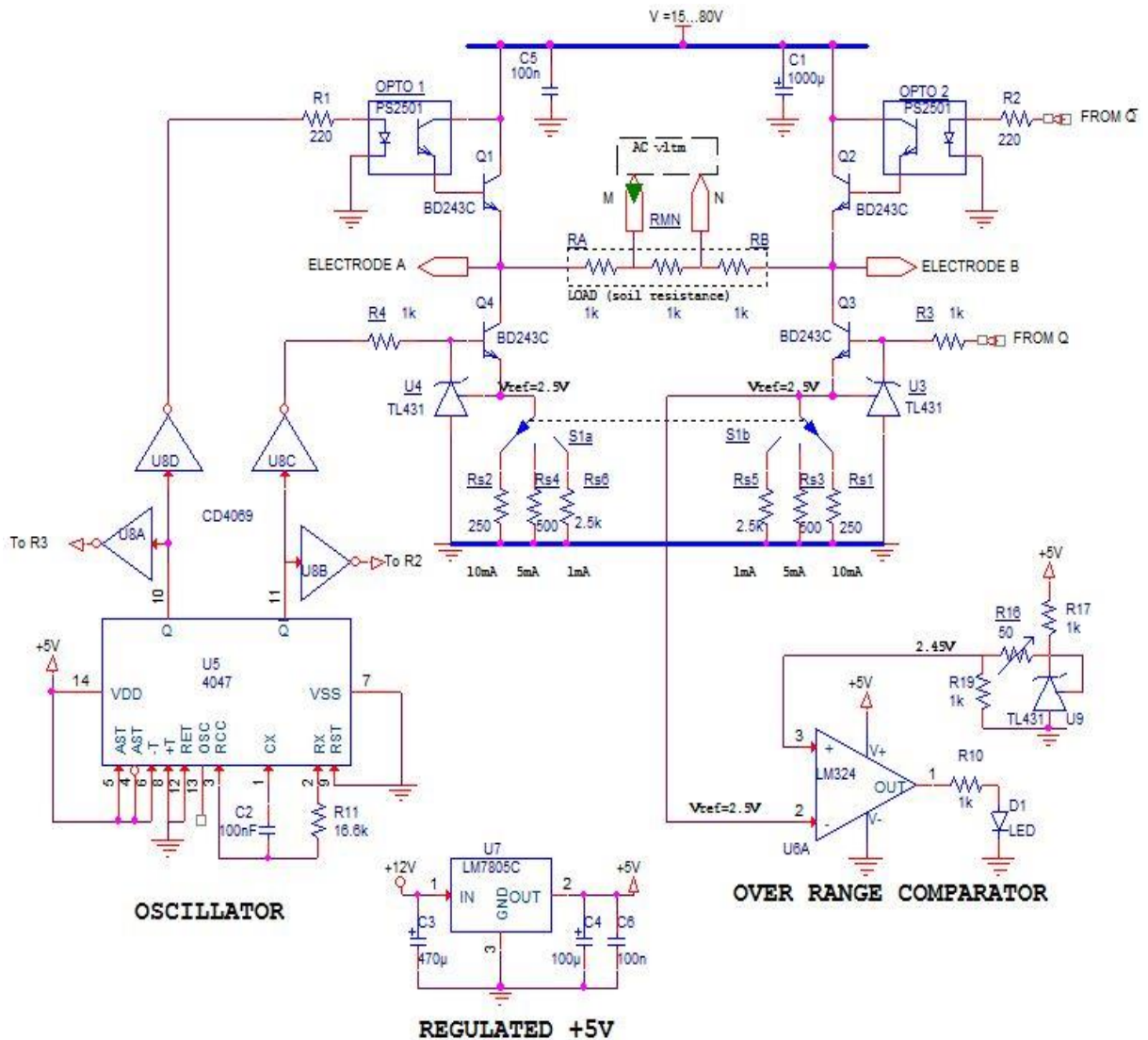


Figure II.24 : Schéma électrique du circuit.

II.5.1 La description du circuit électrique :

Le schéma de circuit (figure II.24) est composé de 6 blocs, la première partie de celui-ci est la source de courant constant, elle est construite à l'aide du régulateur TL431 et un transistor NPN, et commandé par un oscillateur donnant une sortie d'onde carrée qui varie entre 0V et 5V et à une fréquence de 137Hz. La fréquence précise est réglée par R11 et C2. Les sorties complémentaires sont adéquates pour commander les branches du pont alternativement.

Les broches 10,11 de ce CI sont associés à des buffers de type CD40106 dont les sorties attaquent alternativement une source de courant d'une part et un optocoupleur-Darlington d'autre part.

La photo Darlington est activée par la diode LED de l'optocoupleur de la même façon quel que soit sa tension d'alimentation +V et pour la même tension de commande $V_c=5\text{ V}$.

La source de courant génère un courant constant. La plage de courant de sortie est sélectionnable de 1mA, 5mA ou 10mA grâce aux résistances Rs1, Rs3 et Rs5. Le courant sélectionné est disponible directement au niveau des électrodes AB (C21C2) pour être injecté directement au sol.

Le détecteur est basé sur un comparateur de tension qui est un amplificateur opérationnel (LM324) sans contre réaction avec un TL431. Il est utilisé pour vérifier la tension $V_{\text{réf}}$. Si $V_{\text{réf}} > 2.45\text{v}$ alors la tension de sortie est $V_s=0\text{V}$ et le LED ne s'allume pas. Si $V_{\text{réf}} < 2.45\text{v}$ alors le comparateur bascule, $V_s=12\text{V}$ et la LED rouge s'allume pour indiquer un dépassement.

Par ailleurs on a configuré Le circuit intégré MC34063A comme step up (Booster) pour générer la tension variable +V à partir d'une tension de batterie rechargeable de 12 V. Les valeurs choisies ont donné des tensions allant de 15 V à 80 V. La variation de la tension de sortie est obtenue en calculant les résistances du diviseur de tension pour le feedback.

II.6 Simulation du montage :

On a utilisé Orcades Pspice Ver17.2 pour la simulation du montage afin de visualiser les tensions importantes suivantes $V_{réf1,2}$ aux bornes des émetteurs de Q4 et Q3 ((VQ4 : e), VQ3 : e)), V_A , V_B aux bornes des collecteurs de Q4 et Q3 ((VQ3 : c),(VQ4 : c)) et V_M , V_N aux bornes de la résistance R_{MN} ((VR10: 1),(VR10 : 2)) comme indiqué sur la figure II.23. Pour chaque courant de source I_s choisi ($I_s=1\text{ mA}$, 10 mA , 100 mA) on change la tension $+V$ du minimum au maximum avec le choix de R_x (résistance totale entre les électrodes AB).

✓ Pour 1 mA :

- Pour $I_s=1\text{ mA}$, $+V=15\text{ v}$.

En appliquant l'équation II.13 :

$$R_{x\text{max}} = \frac{(15 - 3)}{1.10^{-3}} = 12\text{ k}\Omega$$

.On choisi $R_x=11\text{ k}\Omega < R_{x\text{max}}$.

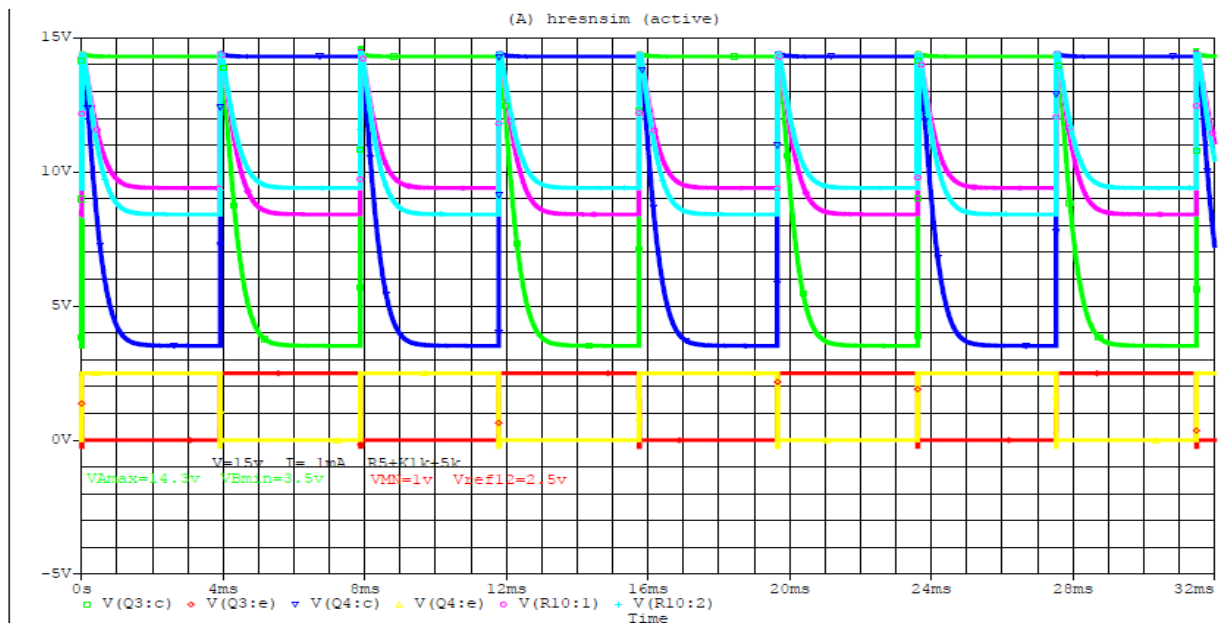


Figure II.25 : Les tensions V_A , V_B , V_M , V_N , $V_{réf1, 2}$ pour un courant de 1 mA , une tension de 15 v et $R_x=11\text{ K}\Omega$.

On peut observer que la fermeture (conduction) des transistors de source n'est pas parfaite pour la simple raison que le courant collecteur est trop faible (courbes bleue et verte). Les tensions de références sont parfaitement égales à 2.5 V (courbes rouge et jaune). La DDP_{MN} peut être observée sur les courbes Cyan et magenta (1 V pour $R_{MN}=1\text{ K}$ et $I_s=1\text{ mA}$).

- Pour $I_s = 1\text{mA}$, $+V = 15\text{V}$.

$$R_x = 21\text{k}\Omega > R_{x\text{max}} = 12\text{k}\Omega.$$

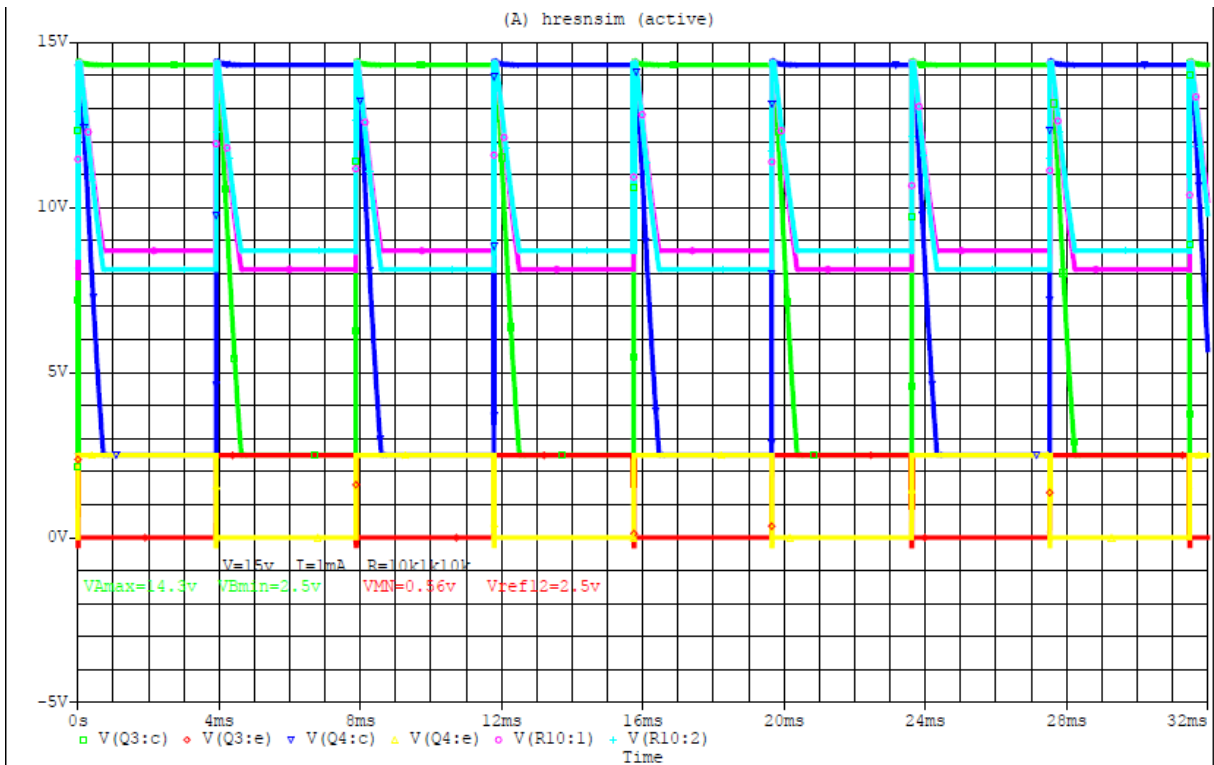


Figure II.26 : Les tensions V_A , V_B , V_M , V_N , $V_{\text{réf}1, 2}$ pour un courant de 1mA , une tension de 15V et $R_x = 21\text{k}\Omega$.

On principe $V_{\text{réf}}$ doit être $< 2.5\text{V}$ parce que :

$$I_s = \frac{(15 - 3)}{21 \cdot 10^3} = 0.57\text{mA} < 1\text{mA}$$

Vu que I_s est trop faible, la commande V_C peut toujours alimenter le régulateur à travers le V_{be} pour générer $V_{\text{réf}} = 2.5\text{V}$.

- Pour $I_s = 1\text{mA}$, $+V = 40\text{V}$, $R_x = 22\text{k}\Omega$.

$$R_{x\text{max}} = 37\text{k}\Omega.$$

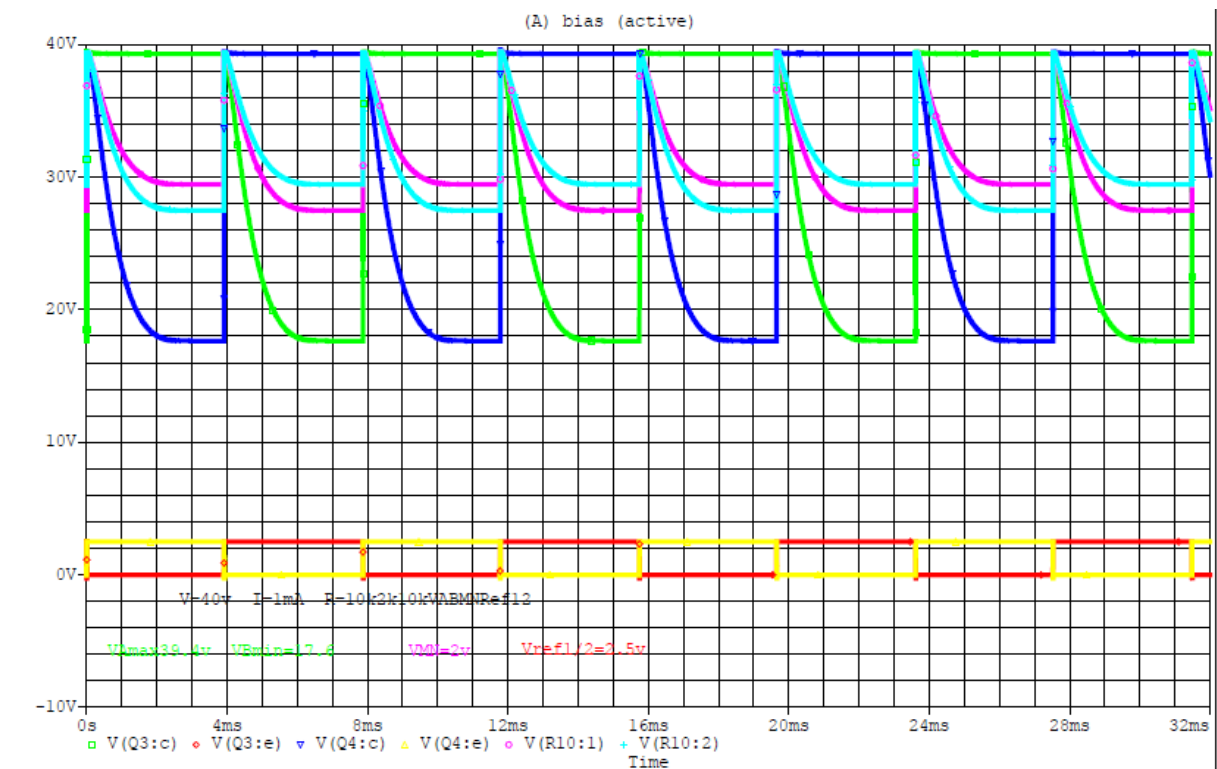


Figure II.27 : Les tensions V_A , V_B , V_M , V_N , $V_{\text{réf}1, 2}$ pour un courant de 1mA , une tension de 40V et $R_x = 22\text{k}\Omega$.

Donc la valeur de R_x ne dépasse pas la valeur de $+V$ alors le courant ne change pas et le $V_{\text{réf}} = 2.5\text{V}$.

- Pour $I_s = 1\text{mA}$, $+V = 60\text{V}$, $R_x = 55\text{k}\Omega$.

$$R_{x\text{max}} = 57\text{k}\Omega.$$

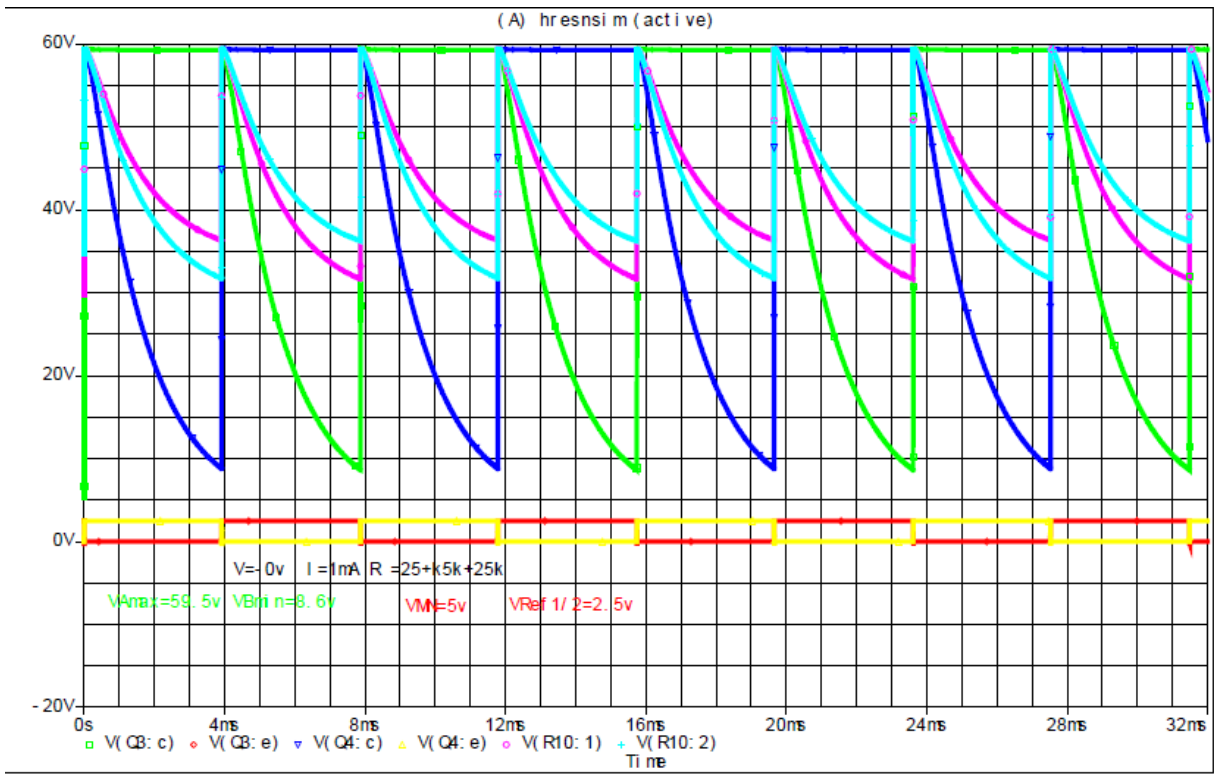


Figure II.28 : Les tensions V_A , V_B , V_M , V_N , $V_{\text{réf}1, 2}$ pour un courant de 1mA , une tension de 60V et $R_x = 55\text{k}\Omega$.

On peut observer que la commutation des transistors n'est plus acceptable lorsque la tension d'alimentation $+V$ augmente.

On peut donc conclure qu' $I_s = 1\text{mA}$ n'est pas un bon choix pour les transistors de source qui ont un courant de quelques ampères.

✓ Pour 10mA :

- Pour $I_s = 10\text{mA}$, $+V = 15\text{V}$, $R_x = 1.2\text{k}\Omega$.

$$R_{x\text{max}} = 1.2\text{k}\Omega.$$

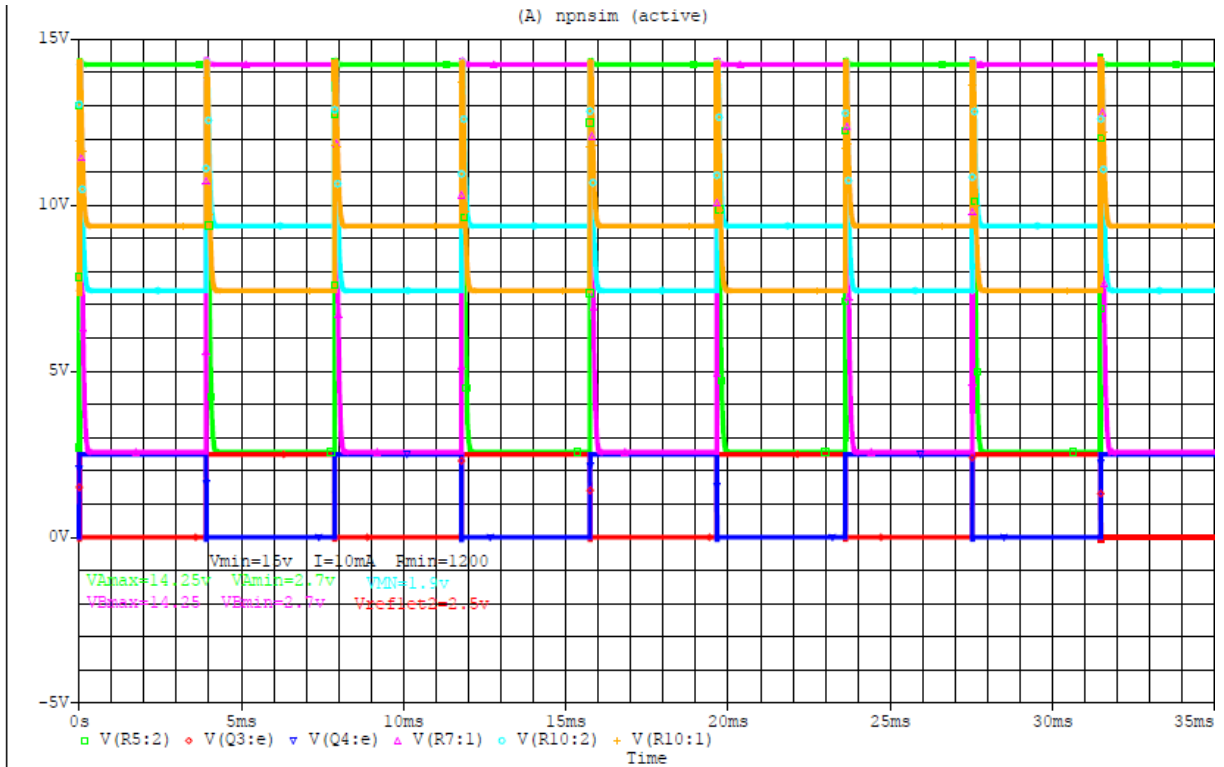


Figure II.29 : Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 10mA, une tension de 15v et $R_x = 1.2\text{k}\Omega$.

La valeur de R_x étant maximale, on peut remarquer que $V_{\text{réf}} = 2.5\text{V}$ et que $V_{MN} = 2\text{V}$ $R_{MN} = 200\Omega$.

- Pour $I_s = 10\text{mA}$, $+V = 25\text{V}$, $R_x = 3.2\text{k}\Omega$.

$$R_{x\text{max}} = 2.2\text{k}\Omega.$$

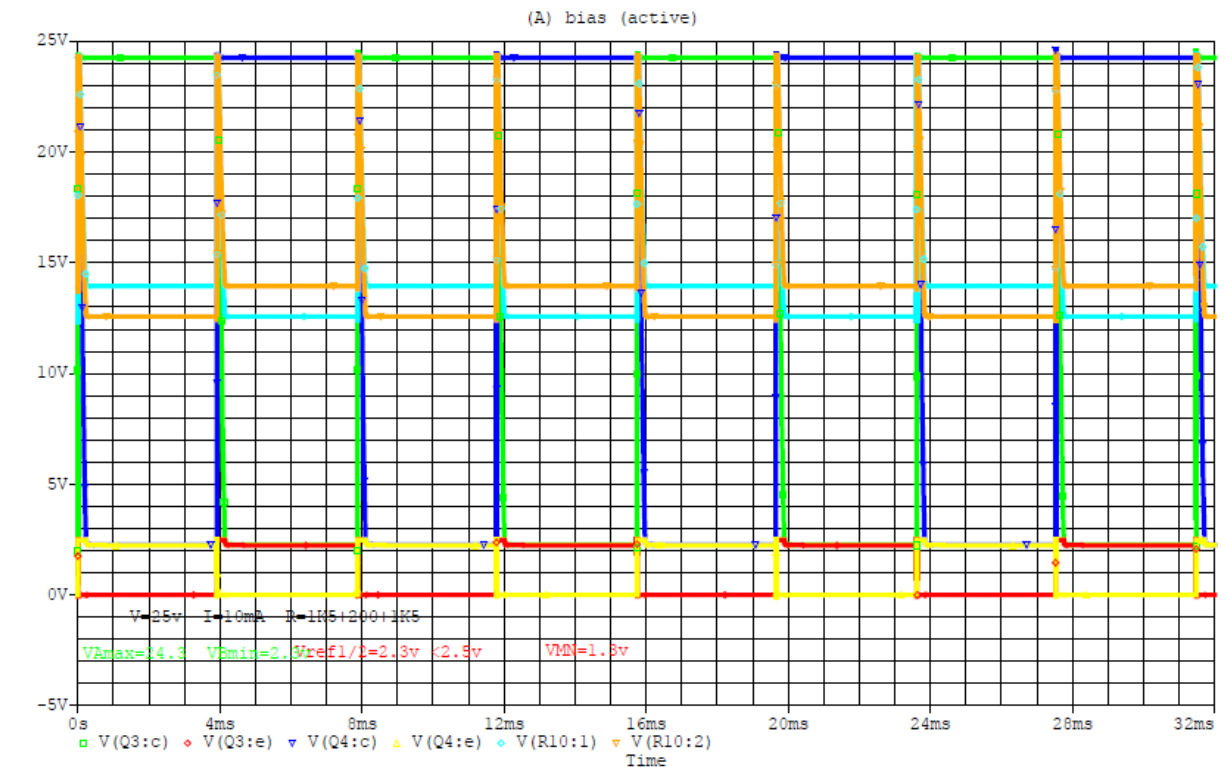


Figure II.30 : Les tensions V_A , V_B , V_M , V_N , $V_{\text{réf}1, 2}$ pour un courant de 10mA , une tension de 25V et $R_x = 3.2\text{k}\Omega$.

On peut observer ici que lorsque R_x dépasse la valeur de $R_{x\text{max}}$ le courant de source n'est plus le courant choisi I_s et $V_{\text{réf}} = 2.3\text{V} < 2.5\text{V}$

$$\frac{V_{MN}}{R_{MN}} = \frac{1.3}{200} = 6.5\text{mA} < I_s = 10\text{mA}$$

- Pour $I_s = 10\text{mA}$, $+V = 80\text{V}$, $R_x = 7.7\text{k}\Omega$

$$R_{x\text{max}} = 7.7\text{k}\Omega$$

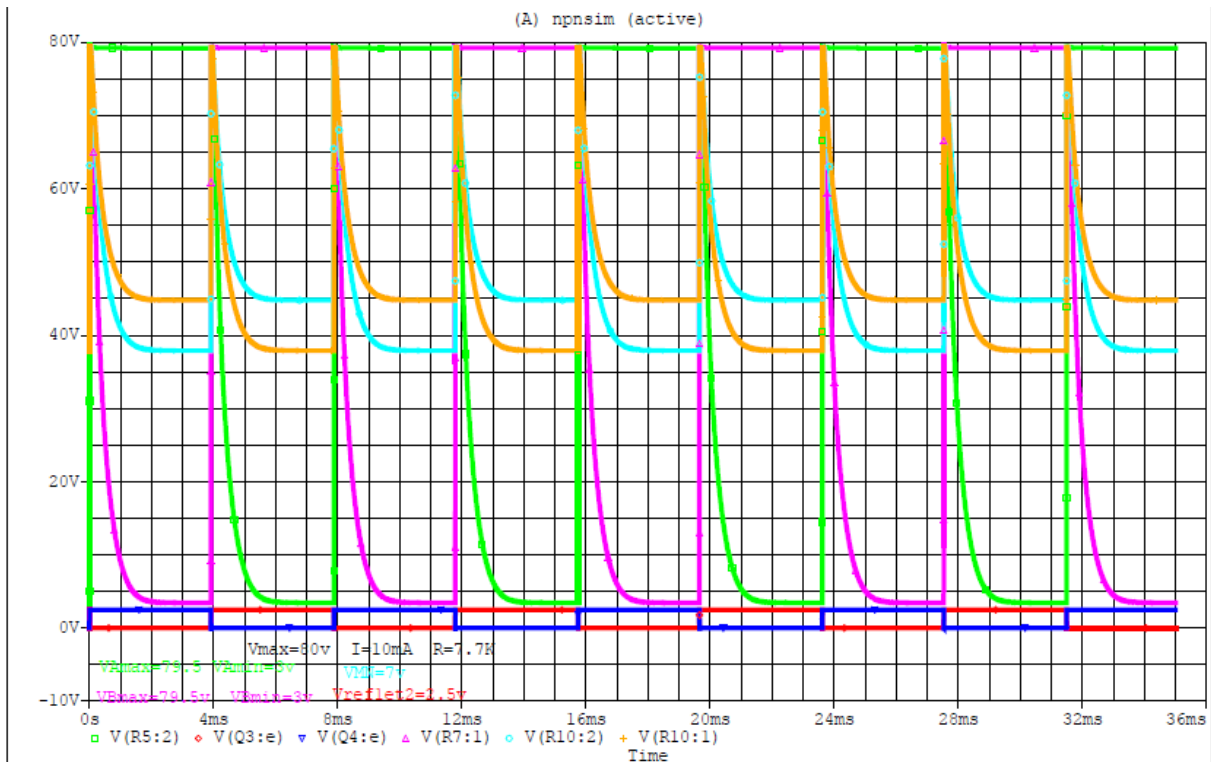


Figure II.31 : Les tensions VA, VB, VM, VN, Vr_{éf}1, 2 pour un courant de 10mA, une tension de 80v et $R_x = 7.7\text{k}\Omega$.

Pour la valeur maximale de tension, la commutation n'est plus parfaite mais il reste que les tensions et courants sont justes.

On peut conclure que pour $I_s = 10\text{mA}$ on peut utiliser l'instrument tout en évitant les grandes tensions.

✓ Pour 100mA :

- Pour $I_s = 100\text{mA}$, $+V = 30\text{V}$, $R_x = 420\Omega$

$$R_{x\text{max}} = 270\Omega$$

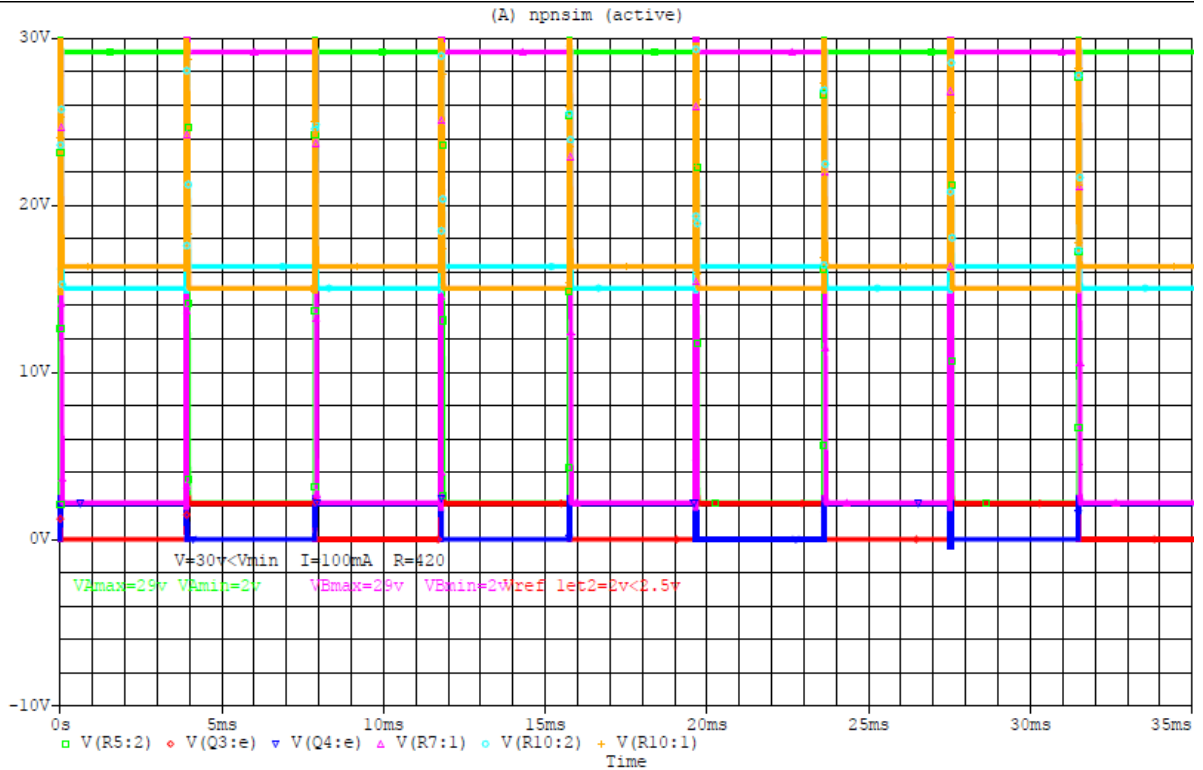


Figure II.32 : Les tensions V_A , V_B , V_M , V_N , $V_{\text{réf}1, 2}$ pour un courant de 100mA, une tension de 30v et $R_x = 420\Omega$.

Le dépassement de $R_{x\text{max}}$ est signalé ici par la tension $V_{\text{réf}} = 2\text{V} < 2.5\text{V}$.

D'après le graphe :

$$\frac{V_{MN}}{R_{MN}} = \frac{1.25}{20} = 62.5\text{mA} < 100\text{mA}$$

- Pour $I_s = 100\text{mA}$, $+V = 45\text{V}$, $R_x = 420\Omega$.

$$R_{x\text{max}} = 420\Omega.$$

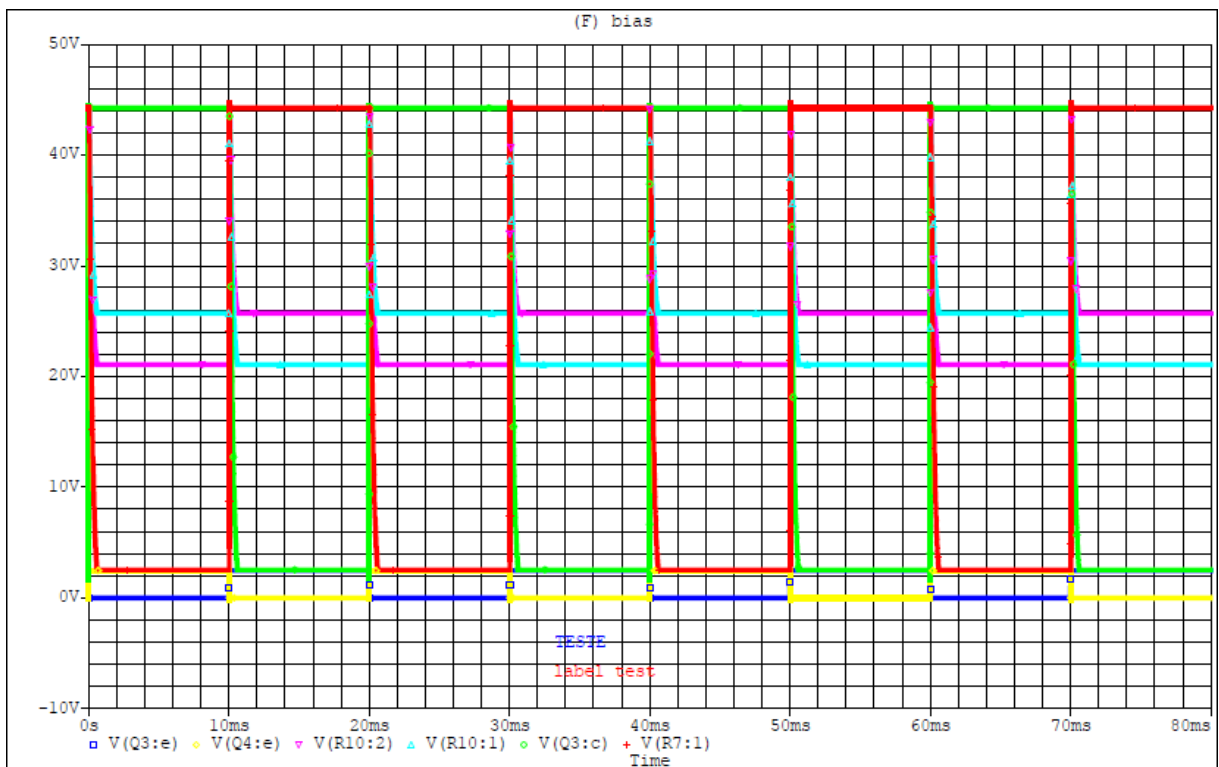


Figure II.33 : Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 100mA, une tension de 45v et $R_x = 420\Omega$.

Les valeurs de tension et courant sont adéquates avec une commutation acceptable.

- Pour $I_s = 100\text{mA}$, $+V = 80\text{V}$, $R_x = 420\Omega$.

$$R_{x\text{max}} = 770\Omega.$$

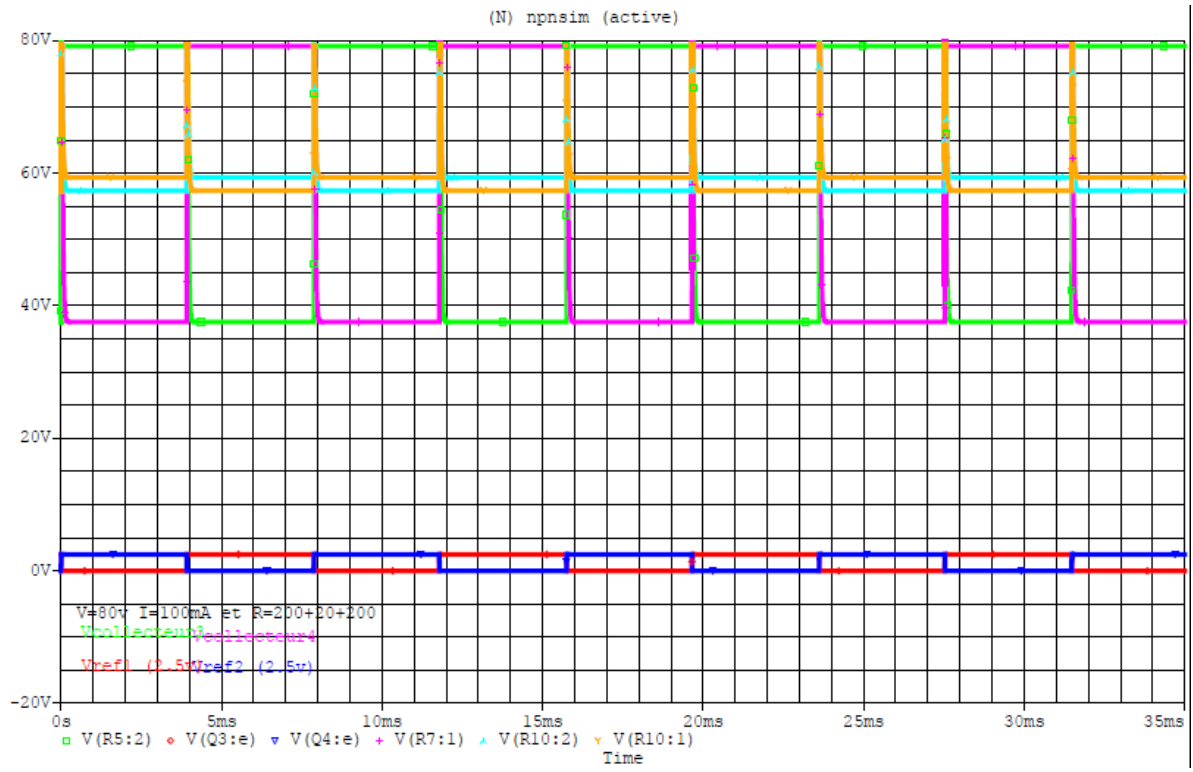


Figure II.34 : Les tensions VA, VB, VM, VN, Vréf1, 2 pour un courant de 100mA, une tension de 80v et $R_x = 420\Omega$.

Jusqu'à la valeur maximale de tension et avec des valeurs de R_x ne dépassant pas $R_{x\text{max}}$ on peut conclure que le choix de $I_s = 100\text{mA}$ donne les meilleurs résultats de simulation.

II.7 mode opératoire

La mesure avec le résistivimètre nécessite deux bobines de fils conducteurs d'une longueur pouvant atteindre quelques centaines de mètres, mais dans notre cas et pour des raisons de tests une dizaine de mètres est largement suffisante. Pour commencer on doit d'abord placer les électrodes MN dans le sol à une vingtaine de centimètres de profondeur avec un espacement de 30 à 40 cm, puis les électrodes AB de part et d'autre de MN à des distances de 5 à 10 fois la distance MN.

Une fois les électrodes placées, on les connecte à l'instrument à leurs points respectifs (AB MN), et il faut s'assurer que les électrodes sont placées sur une même ligne. On connecte ensuite un voltmètre de préférence numérique et à auto calibrage aux points MN en mode AC. On sélectionne un courant de source et on ajuste la tension d'alimentation pour le minimum (15V) puis on alimente le système. Le voltmètre indiquera la tension VMN mesurée, et avec les valeurs du courant choisi et les différentes distances utilisées on calcule la valeur de la résistivité apparente selon la méthode choisie. La mesure suivante s'effectue de la même manière mais, après le déplacement des électrodes AB à une distance plus grande de part et d'autre des points MN. La collection de plusieurs points de mesure est utilisée pour tracer la variation de résistivité sur un graphe. Lorsque l'indicateur de dépassement est actif (LED rouge allumée) il faut augmenter la tension d'alimentation. Et dans le cas où la tension est maximale (80V) et l'indicateur reste actif il est nécessaire de choisir un courant de source plus faible (d'après la loi d'Ohm, $V=RI$ la tension d'alimentation n'est pas suffisante pour générer la courant de source demandé à travers la résistance de terrain entre les électrodes AB). Lorsque l'indicateur de dépassement est actif avec une tension d'alimentation forte on comprendra simplement que le terrain est sec et c'est ce qui se traduit par une résistance élevée.

Il faut mentionner que l'exploration en profondeur est liée à la distance AB des électrodes. Plus les électrodes sont éloignées des point MN plus la résistivité en profondeur est mesurée. D'autre part, il faut savoir que l'interprétation des valeurs des résistivités apparentes calculées reste aux experts du domaine de la géologie.

II.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de bien détaillé le principe de fonctionnement du résistivimètre proposé tout en se basant sur les fiches techniques des composants utilisés.

Les tests réels sur terrain n'ont pas été faits, alors que la simulation du montage nous a déjà montré les grands problèmes du montage. Pour citer que les transistors de source utilisés doivent avoir des courant collecteur de l'ordre de 100mA avec des tensions $V_{ce} > 80V$ et ce genre de transistors est pratiquement indisponible.

D'après les figures de simulation on est parvenu à conclure que le montage proposé fonctionne correctement si on peut adapter les transistors de source aux conditions de mesures.

Un courant de source faible à l'avantage de permettre la mesure de grandes résistances, tandis qu'un courant fort limite l'instrument aux résistances de sol de faibles valeurs.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Le résistivimètre réalisé autour du pont en H avec les options spéciales qui commencent par les sources de courant constant contrôlées qui constituent les branches inférieures du pont, les photo-darlington qui constituent les branches supérieures et l'utilisation d'une alimentation variable tout en maintenant les tensions de commandes à leurs mêmes niveaux. Ces options constituent des contributions de notre part dans l'utilisation élargie du pont en H.

Le résistivimètre réalisé autour de composants standards nous a permis une conception facile avec des résultats satisfaisants. Du point de vue pratique, l'instrument fonctionne avec des tensions allant jusqu'à 80V et même plus avec des courants constants délectables de 1mA à 100mA. Les résistances maximales à mesurer dépendent uniquement du courant choisi et de la tension appliquée au pont.

Les figures de simulation montrent que les transistors utilisés ne sont pas adaptés aux faibles courants c'est pourquoi les figures de 1mA montrent que les transistors ne conduisent pas rapidement (temps de descente très grand) par contre leur blocage est parfait. On peut remarquer encore que lorsque la résistance maximale à mesurer est dépassée le courant de source sélectionné n'est plus vrai et que dans cette condition le circuit de surcharge indique le dépassement.

Bien que les tests sur terrain n'ont pas été faits on estime que la simulation a révélé les défauts majeurs de l'instrument qui est l'utilisation de transistors bipolaires à forts courants de base alors que les courants de collecteur sont trop faibles.

Pour cela, nous proposons pour un travail futur une conception à base de transistors Mosfet ($V_{DS} > 200V$ et I_{DS} de l'ordre de 1 Ampère) comme source de courant car ces derniers sont commandés par des tensions, ce qui évite encore le problème de "bufferage" du courant de commande nécessaire pour les transistors bipolaires.

La conception future peut être gérée par un système à microcontrôleur pour le timing des commandes, la sélection du courant de source, la mesure de la tension VMN par un convertisseur A/N, l'indication de dépassement s'il y a lieu et le calcul de la résistivité tout en affichant sa valeur finale.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] : <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9sistivit%C3%A9>
- [2] : Maud Seger, Hocine Bourennane, Marie Noelle Mistou, Catherine Pasquier, Guillaume Giot, Marjorie Ubertosi « La mesure de résistivité électrique: un outil d'aide à la cartographie des sols. L'exemple de l'Unité expérimentale d'Epoisses », pdf.
- [3]: Everyday Practical Electronics, Jan 1997 Windborne Publishing Ltd.
- [4]: <https://www6.val-de-loire.inrae.fr/ur-sols/Equipements/Geophysique/Resistivimetre>
- [5] : <http://wiklimat.developpementdurable.gouv.fr/index.php/Wikigeotech:Tomographie> de résistivité électrique
- [6] : Guide des méthodes géophysiques pour la détection d'objets enfouis sur les sites pollués, 2017, pdf.
- [7] : <https://www.gexplore.fr/fr/la-polarisation-provoquee/>
- [8] : Véronique Naudet, « Les méthodes de résistivité électrique et de potentiel spontané appliquées aux sites contaminés », Thèse doctorat, Université Paul Cézanne, France, le 16 Novembre 2004.
- [9] : Guy Marquis, EOST Strasbourg « Prospection électrique », Le 19 Avril 2005.
- [10] : MOHAMMED Djilali Morad « utilisation des dispositifs de géophysique électrique non classiques pour l'étude des couches géologiques profondes cas chotts el gharbi et chergui », Thèse doctorat, département de science de la terre, spécialité de géophysique appliquée, université d'Oran, le 18/10/2012.
- [11] : <http://www.geophyguyane.fr/pages/techniques-utilisees/page-5.html>
- [12] : Fiche technique, Texas instruments.
- [13] : Fiche technique, Fairchild Semiconductor.
- [14] : Fiche technique, SHARP.
- [15] : <https://microcontrollerslab.com/cd4047-monostable-astable-multivibrator-ic/>
- [16] : Fiche technique, HTC.
- [17] : <https://www.theengineeringprojects.com/2017/08/introduction-to-mc34063.html>
- [18] : Fiche technique, New Jersey Semi-Conductor Products, Inc.
- [19] : Fiche technique, Motorola.
- [20] : Fiche technique, Vishay.

Bibliographie

[21] : Fiche technique, Semtech Electronics LTD.

تلخيص

الجيوفيزياء هي الفرع التطبيقي العملي لعلم فيزياء الأرض و يمكن استخدامها للتنقيب عن المعادن و النفط و الغاز, الهندسة المدنية. علم الآثار, الطب الشرعي (للكشف عن مواقع المقابر), الكشف عن الذخائر غير المنفجرة بالاعتماد على عدة طرق(مثل الزلزالية , المغناطيسية , الكهرومغناطيسية , الجاذبية و الكهربائية). بالنسبة لمشروعنا هذا فقد قمنا بانجاز جهاز قياس مقاومة التربة و هو عبارة عن أداة تستخدم لقياس مقاومة التربة، أي عكس التوصيل الكهربائي بواسطة أربعة إلكترودات. و يعتبر من أهم الأجهزة لكشف المقاومة الكهربائية للأرض و كذلك تناولنا شرح لطرق القياس الكهربائية التي تعتمد على هذا الجهاز.

Résumé

La géophysique est la branche pratique appliquée de la géophysique et elle peut être utilisée pour la prospection de minéraux miniers, de pétrole et de gaz, archéologie de génie civil, médecine légale (pour détecter les lieux des cimetières), détection de munitions non explosées à l'aide de plusieurs méthodes (sismique, magnétique, électromagnétique, gravitationnelle, électrique).

Pour notre projet, nous avons réalisé un résistivimètre qui est un instrument qui sert à mesurer la résistivité du sol, c'est-à-dire l'inverse de la conductivité électrique par quatre électrodes. Il est l'un des dispositifs les plus importants pour détecter la résistivité électrique de la terre et on a également décrit les méthodes de mesure électrique qui dépendent de cet instrument.

Abstract

Geophysics is the applied practical branch of geophysics and can be used for prospecting mining minerals, petroleum and gas, Civil archaeology, forensic medicine (to detect the places of the Cemeteries), detection of unexploded ammunitions using several methods(seismic, magnetic, electromagnetic, gravitational, electrical).

For our project, we realized a resistivity meter which is an instrument used to measure the resistivity of the soil, that is to say the inverse of the electrical conductivity by four electrodes. It is one of the most important devices for detecting the electrical resistivity of the earth and also described the electrical measurement methods that depend on this instrument.