



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Biomédical

Laboratoire de Recherche de Génie Biomédical

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de

MASTER en GENIE BIOMEDICAL

Spécialité : Instrumentation Biomédicale

Présenté par : **BENALI Wafa et MAMMAR Amina**

Mesure de salinité par conductimétrie

Soutenu le 15 juin 2016 devant le Jury

| | | | | |
|-------|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| M. | Hamza cherif Lotfi | <i>MCB</i> | Université de Tlemcen | Président |
| M | Debbal Sidi Med | <i>Prof</i> | Université de Tlemcen | Encadreur |
| Melle | Meziani Fadia | <i>MCB</i> | Université de Tlemcen | Examinateur |
| M | Boussaid A | <i>Prof</i> | Université de Tlemcen | Invité |

Année universitaire 2015-2016

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et Le miséricordieux de nous avoir donné la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous souhaitons exprimer notre profonde reconnaissance à notre encadreur monsieur « Debbal Sidi Mohamed » professeur à l'université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen .

Nous voudrions aussi remercier tous les enseignants qui ont Contribué à notre formation « Instrumentation biomédicale ».

Et à monsieur « A.Boussaid » professeur faculté des sciences.

Merci aussi à toute l'équipe de notre département génie biomédicale.

Que tous les membres du jury trouvent ici l'expression de nos profonds Respects pour avoir pris la peine d'examiner notre mémoire.

Nos remerciements vont également à tous ceux et celles qui de près ou de loin nous ont apporté aide et encouragement.

Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Dédicaces

En ce jour solennel, qui vient couronner mes efforts, je profite de l'occasion pour exprimer tous mes gratitudes en vers ma famille

Plus que jamais je dédie ce modeste travail à mes parents et j'aimerais qu'il soit le témoignage de leurs consécration et leurs fois en moi.

À celle qui m'a imprégné de l'essence de son être, de sa générosité, et de sa gentillesse n'a jamais cessée d'être là pour moi: c'est à toi **ma mère** que je dois ce travail.

À celui qui n'a cessé de me procurer son aide durant mes années d'étude : à toi **mon père**, je dédie ce travail qui est le fruit de ta patience et de ton éducation. *Qu'ils seront toujours fiers de moi.*

À ma **chère grande mère** qui ma donner tout son amour ,je l'aime

Je le dédie aussi à mes deux beaux frères : **Zohier** qui est ma joie et mon petit **Bilal** qui est la source de mon sourire

À tous mes amis et mon binôme et ma sœur **Amina**

Pour cel qui ma partagé mes joies et mes peines, qui ma tant aidé et soutenu, et qui était pour moi un coeur veillant pendant toute ma vie, que je ne pourrais jamais assez remercier

Benali Wafa

Dédicaces

Que ce travail témoigne de mes respects :

À mes parents: grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études, aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi

À mon grand père .

À mes sœurs : Fatima et Amaria

À mes frères : Mouhammed et Djamel

À la famille Mammam et à Bouazza.

À tous mes amis. Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie sur tout à: Sabéha, Shaima , Fatiha, Soumia, Karima, Naima

À mes cousines Imen et Hadjer

À mes chères : Aya ; Roumaïssa ; Azizou ; Mouhamed ; Adam.

Et à ma chère binôme Wafa

Mammam Amina

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Introduction générale..... | 1 |
| Chapitre I : Notions sur les capteurs..... | 3 |
| I.1 Introduction | 4 |
| I.2 Définition..... | 4 |
| I.3 Caractéristiques d'un capteur..... | 4 |
| I.4 Les types d'erreurs classiques..... | 7 |
| I.5 Types de grandeurs physiques..... | 8 |
| I.6 Classification des capteurs | 8 |
| a. Les capteurs actifs | |
| b. Les capteurs passifs | |
| I.7 Capteur et chaîne de mesure..... | 11 |
| I.8 Les capteurs chimiques et biochimiques..... | 13 |
| a. Les biocapteurs..... | 13 |
| b. Les transducteurs..... | 14 |
| c. Capteurs électrochimiques..... | 16 |
| c.1. Capteurs potentiométriques..... | 16 |
| c.2. Capteurs ampériques..... | 17 |
| c.3. Capteurs conductimétrique..... | 17 |
| c.4. Capteurs thermodynamiques..... | 18 |
| I.9 Conclusion..... | 19 |
| Chapitre II : La Conductivité..... | 20 |
| II.1 Introduction | 21 |
| II.2 Historique..... | 21 |

| | | |
|--|--|-----------|
| II.3 | Conductivité..... | 21 |
| II.4 | la solution conductrice | 21 |
| II.5 | Unité..... | 22 |
| II.6 | Influence des différents paramètres..... | 22 |
| II.7 | Principe de mesure de conductivité..... | 24 |
| 7.a | Constante de cellules..... | 25 |
| 7.b | Tension alternative..... | 26 |
| 7.c | Cellules de conductimétrie..... | 26 |
| 7.c.1 | La cellule à deux électrodes..... | 27 |
| 7.c.2 | Cellules à quatre électrodes..... | 27 |
| 7.c.3 | Cellule de mesure à induction..... | 28 |
| 7.c.4 | Précautions d'emploi des cellules conductimétriques..... | 29 |
| II.8 | Résistance et conductance..... | 29 |
| II.9 | Étude théorique de la conductivité d'un électrolyte..... | 31 |
| II.10 | Applications..... | 31 |
| II.11 | Conclusion..... | 33 |
| Chapitre III : Mesure de la salinité..... | | 34 |
| III.1 | Introduction..... | 35 |
| III.2 | Historique..... | 35 |
| III.3 | Définition de la salinité..... | 36 |
| III.4 | Mesure de la salinité..... | 36 |
| 4.1 | Mesure directe de la salinité..... | 36 |
| 4.2 | Mesures indirectes de la salinité..... | 36 |
| 4.2.a | L'indice de réfraction | 37 |
| 4.2.b | La conductivité | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.c La masse volumique (densité)..... | 40 |
| III.5 Unité | 42 |
| III.6 Applications | 42 |
| III.7 Conclusion | 43 |
| Chapitre IV : étude théorique du dispositif conductimétrique..... | 44 |
| IV.1 Introduction..... | 45 |
| IV.2 Schéma synoptique | 45 |
| IV.3 Principe de mesure..... | 45 |
| IV.4 Source de courant alternatif..... | 46 |
| IV.5 Adaptateur d'impédances..... | 49 |
| IV.6 Les sondes | 50 |
| 6.aCaractéristiques de l'inox | 51 |
| IV.7 Le convertisseur courant –tension..... | 51 |
| IV.8 Multiplieur analogique..... | 52 |
| IV.9 Filtre passe-bas actif | 53 |
| 9.aCaractéristiques d'un filtre | 53 |
| 9.bDéfinition d'un filtre passe – bas | 53 |
| 9.cRemarque | 55 |
| IV.10Alimentation symétrique..... | 55 |
| IV.11 Affichage..... | 58 |
| IV.12 Conclusion | 61 |

| | |
|---|----|
| Chapitre V : Etude pratique du dispositif conductimétrique | 62 |
| V.1 Introduction | 63 |
| V.2 Source sinusoïdale | 63 |
| V.3 chaîne de mesure | 66 |
| a. L'adaptateur | 67 |
| b. Convertisseur..... | 68 |
| c. Le multiplieur | 68 |
| d. Le filtre | 70 |
| V.4 Circuit d'affichage..... | 70 |
| V.5 Alimentation symétrique | 71 |
| V.6 Partie pratique..... | 73 |
| V.7 Mesure par infra-rouge | 76 |
| V.8 Conclusion | 78 |
| Conclusion générale | 79 |

Annexe

Bibliographie

Liste des tableaux

- ✓ Tableau 1.1 : exemple des grandeurs mesurées et effets physiques utilisés.....10
- ✓ Tableau 1.2 : exemple de grandeurs d'influence.....11
- ✓ Tableau 1.3 : Les différents types de transducteurs.....15
- ✓ Tableau 5.1 : mesure de salinité en fonction de la quantité de NaCl.....73
- ✓ Tableau 5.2 : qualité des eaux.....74
- ✓ Tableau 5.3 : mesure de la conductivité en fonction de la distance.....75

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1.1 : schéma bloc d'un système de mesure..... | 4 |
| Figure 1.2 : Erreur d'hystérésis..... | 5 |
| Figure 1.3 : Les trois domaines de fonctionnement d'un capteur..... | 6 |
| Figure 1.4 : Erreur de zéro (offset)..... | 7 |
| Figure 1.5: Erreur d'échelle ou de gain..... | 7 |
| Figure 1.6 : Erreur de linéarité..... | 7 |
| Figure 1.7 : Erreur de quantification..... | 8 |
| Figure 1.8 : Principe de l'effet piézo-électrique..... | 9 |
| Figure 1.9 : Principe de l'effet photo-électrique..... | 9 |
| Figure 1.10 : Principe de l'effet Hall | 10 |
| Figure 1.11 : schéma bloc d'une chaîne de mesure..... | 12 |
| Figure 1.12 : Principe de fonctionnement d'un capteur bio (chimique)..... | 13 |
| Figure 1.13 : Détection électrochimique..... | 16 |
| Figure 1.14 : Principe mesure de niveau par capteur de conductimétrie..... | 17 |
| Figure 1.15 : Détection de niveau électrique..... | 17 |
| Figure 1.16 : principe de mesure de Ph..... | 18 |
| Figure 2.1 : Accumulation des espèces ioniques sur la surface d'électrode..... | 23 |
| Figure 2.2 : schéma d'une cellule de mesure de conductivité..... | 24 |
| Figure 2.3 : représentation schématique de la surface active..... | 25 |
| Figure 2.4 : cellule conductimétrique..... | 27 |
| Figure 2.5 : schéma d'une cellule à deux électrodes..... | 27 |
| Figure 2.6 : schéma d'une cellule de mesure à quatre électrodes..... | 28 |

| | |
|---|----|
| Figure 2.7 : schéma d'une cellule de mesure à induction..... | 28 |
| Figure 2.8 : conductimètre..... | 30 |
| Figure 3.1: principe d'indice de réfraction..... | 37 |
| Figure 3.2 : réfractomètre..... | 37 |
| Figure 3.3 : méthode d'utilisation d'un réfractomètre..... | 39 |
| Figure 3.4 : relation entre la salinité et la conductivité..... | 40 |
| Figure 3.5 : salinité en fonction de la masse volumique..... | 40 |
| Figure 3.6 : densimètre..... | 41 |
| Figure 4.1 : Schéma synoptique d'un conductimètre..... | 45 |
| Figure 4.2 : Courant alternatif..... | 47 |
| Figure 4.3 : Courant sinusoïdal..... | 47 |
| Figure 4.4 : Brochage de l'XR2206..... | 48 |
| Figure 4.5 : Montage oscillateur sinusoïdal..... | 48 |
| Figure 4.6 : Montage suiveur de tension..... | 49 |
| Figure 4.7 : sondes d'inox | 50 |
| Figure 4.8 : Montage convertisseur courant – tension..... | 51 |
| Figure 4.9 : Principe d'un multiplieur..... | 52 |
| Figure 4.10: Schéma de l'AD633..... | 52 |
| Figure 4.11 : Schéma principe d'un filtre passe bas du premier ordre..... | 54 |
| Figure 4.12 : Réponse d'un filtre passe bas en fonction de son ordre..... | 55 |
| Figure 4.13 : Montage de l'alimentation symétrique..... | 56 |
| Figure 4.14 : chronogramme de l'alimentation | 57 |
| Figure 4.15 :brochage des régulateurs LM7812/LM7912..... | 58 |

| | |
|---|----|
| Figure 5.1 : schéma de générateur sinusoïdal par ISIS | 64 |
| Figure 5.2 : circuit imprimé du générateur sinusoïdal | 65 |
| Figure 5.3 : photo du générateur réalisé..... | 65 |
| Figure 5.4 : signal sinusoïdal de sortie de générateur XR2206 | 66 |
| Figure 5.5 : chaine de mesure par ISIS..... | 66 |
| Figure 5.6 : circuit imprimé du chaine de mesure..... | 67 |
| Figure 5.7 : réalisation pratique du chaine de mesure..... | 67 |
| Figure 5.8 : signal à la sortie du suiveur en tension..... | 68 |
| Figure 5.9 : signal de la sortie de convertisseur courant tension..... | 69 |
| Figure 5.10 : le signal récupéré à la sortie du multiplieur AD633..... | 69 |
| Figure 5.11 : la sortie du filtre passe bas du premier ordre..... | 70 |
| Figure 5.12 : Carte d'Arduino..... | 71 |
| Figure 5.13 : Afficheur LCD..... | 71 |
| Figure 5.14 : réalisation de conductimètre | 72 |
| Figure 5.15 : schéma de conductimètre par ISIS | 72 |
| Figure 5.16 : histogramme de mesure de salinité..... | 73 |
| Figure 5.17 : courbe de la conductivité en fonction de la salinité..... | 74 |
| Figure 5.18 : l'expérience de mesure de salinité par conductimétrie..... | 74 |
| Figure 5.19 : histogramme de qualité des eaux | 75 |
| Figure 5.20 : la courbe de variation de la conductivité en fonction de la distance..... | 75 |
| Figure 5. 21 : histogramme de mesure de salinité..... | 76 |
| Figure5.21 : histogramme de qualité des eaux..... | 77 |
| Figure 5.22 : photo de la maquette du conductimètre..... | 78 |

Introduction générale

De nombreux liquides sont essentielles dans notre vie de tous les jours parmi lesquels l'eau ; les boissons ; les substances chimiques ; les acides ; les bases ou les produits pharmaceutiques. La qualité de ces liquides est déterminée par leurs propriétés chimiques et physiques. Pour évaluer ces propriétés on utilise plusieurs principes de mesure lors de la mesure de la conductivité électrique ou de la salinité.

La conductivité électrique du liquide est due à la dissociation des sels solubles des acides et des bases qui engendrent la formation des anions chargés négativement et des cations chargés positivement, ces ions contribuent au transport des charges dans le champ électrique et donc à la circulation des courants comme les électrons dans un métal. En 1869 le physicien Allemand Fridrik Kaulrant a mis en point le premier conductimètre. En utilisant le courant alternatif pour mesurer la résistivité électrolytique. L'unité physique de conductivité électrique est le S/m. Pour déterminer cette valeur on utilise des principes de mesure de conductivité et induction ; dans le cas du principe de mesure inductive on utilise deux électrodes qui sont placées l'une en face de l'autre, un courant alternatif est appliqué aux électrodes ce qui génère un courant dans le milieu, les cations se déplacent vers l'électrode chargée négativement et les anions vers l'électrode chargée positivement. Plus le liquide contient d'ions et plus la conductivité électrique et le courant sont élevés. Un acide à 10% par exemple étant un très bon conducteur car il contient de nombreux ions, l'eau pure et ultra pure sont de mauvais conducteurs car ils contiennent une faible quantité d'ions. Toutefois si la concentration d'ions devient trop élevée la valeur du courant augmente ; avec une électrostatique qui engendre la répulsion mutuelle des ions et donc une diminution des courants. Cet effet appelé « polarisation » se produit dans des milieux à forte concentration d'ions.

La résistance électrique ou sa valeur inverse (conductance) est calculée à partir des courants mesurés selon la loi d'Ohm. Pour déterminer la conductivité électrique à partir de la conductance il convient de calculer ce qu'on appelle la constante K de la cellule. Elle dépend de la géométrie des électrodes et de leurs surfaces et varie en fonction de la gamme de mesure. La conductivité dépend aussi de la température du milieu ainsi la température mesurée simultanément. Le transmetteur compense la conductivité par rapport à une température de référence de 25°C.

Les capteurs conductifs ont une conception simple et sont très sensibles ce qui est compatible avec un grand nombre d'application de l'eau ultra pure ; l'eau potable et bien d'autres encore.

Le principe de mesure inductive utilise le capteur de conductivité par induction, il utilise une bobine de transmission et de réception électromagnétique dans un corps de protection en plastique , un champ magnétique alternatif est généré dans la bobine de transmission qui induit une tension électrique dans le liquide ; cela provoque le déplacement des ions positifs et négatifs de liquide et génère un courant alternatif , ce courant induit à son tour un champ magnétique alternatif et donc le passage de courant dans la bobine de réception. L'intensité du courant dépend des nombreux ions libres dans le milieu, elle est mesurée par le capteur et elle permet le calcul de la conductivité. L'avantage de la mesure inductive de la conductivité et l'isolation galvanique par rapport au milieu, elle empêche les effets de polarisation sensible à la salissure. Les mesures conductives et inductives permettent le contrôle précis des processus de traitement de l'eau de nettoyage et de rinçage par exemple dans les industries agroalimentaires, biologiques ou chimiques.

L'objectif de notre projet de fin d'études va utiliser cette mesure de la conductivité au niveau des liquides (l'eau) afin de mesurer le taux de salinité qui est en fait proportionnel à la valeur de la conductivité

Chapitre 1
*Notions sur
les capteurs*

1. Introduction

Dans de nombreux domaines (industrie, recherche scientifique, médecine, services, loisirs..), on a besoin de contrôler de nombreux paramètres physiques (température, force, position, vitesse, luminosité) Le capteur est l'élément indispensable à la mesure de ces grandeurs physiques.

2. Définition :

Un capteur est un élément d'un appareil mesureur servant à la prise d'informations relatives à la grandeur à mesurer, selon cette définition, le capteur constitue nécessairement le premier élément transducteur. On pratique le mot capteur représente un objet isolé recevant la grandeur à mesurer et fournissant une information relative à cette grandeur. Généralement l'information obtenue (grandeur de sortie) est de type électrique, Elle peut être soit : Une charge, une tension, un courant ou une impédance (R, L, C).[1]

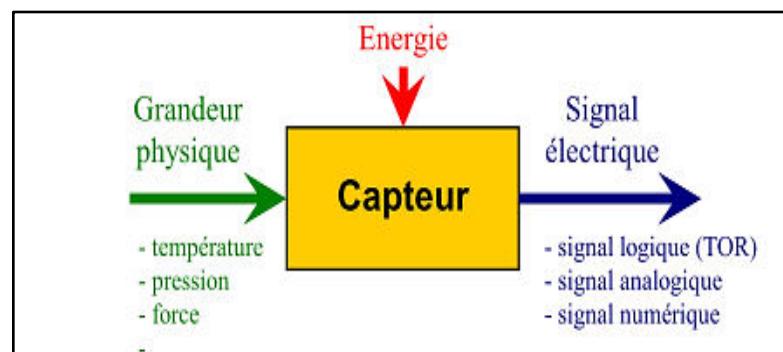


Figure1.1 : schéma bloc d'un système de mesure

3. Caractéristiques d'un capteur

- **Mesurande :** est la grandeur physique qui fait l'objet de la mesure, elle est en générale une grandeur essentielle du processus ou du système. La grandeur de sortie du capteur est l'image plus ou moins fidèle du mesurande dans la représentation [2]
- **Etendue de mesure :** l'étendue de mesure est l'intervalle des valeurs du mesurande à l'intérieur duquel l'erreur de l'instrument (capteur + conditionneur) reste inférieure à une valeur précisée par le constructeur. La valeur maximale définit de non détérioration [2]
- **Sensibilité :** Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée. pour une mesure donnée. C'est donc la pente de la courbe de réponse de ce capteur [2]

$$S = \frac{\Delta \text{ sortie}}{\Delta \text{ entrée}} \quad (1.1)$$

- **Linéarité** : on dit qu'un capteur est linéaire lorsque la valeur de la sortie est directement proportionnelle à celle du mesurande, donc la sensibilité est constant dans la plage d'utilisation (étendue de mesure). Pour les capteurs dont la sensibilité n'est pas constante dans l'étendue de mesure, on donne les plages linéaires (parties de l'étendue de mesure linéaire)[2]
- **Résolution** : Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur[2]
- **L'hystérésis** : lorsque les courbes de transfert du capteur pour une variation croissante et décroissante de la grandeur physique ne sont pas identiques, on parle d'une erreur due à l'hystérésis du capteur cette erreur est exprimée en % par rapport à l'étendue de mesure (figure 1.2)[2]

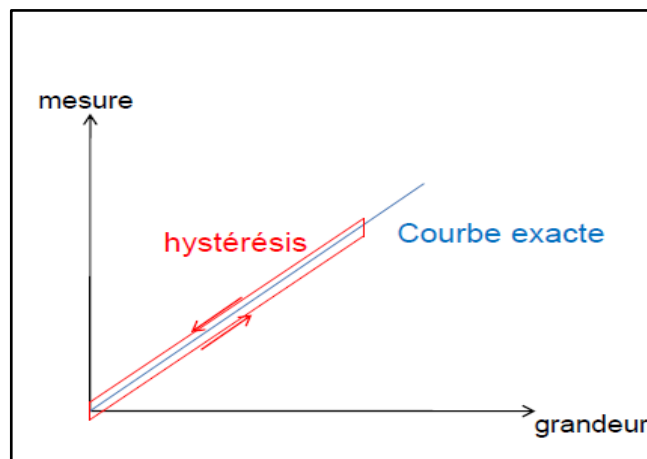


Figure 1.2 : Erreur d'hystérésis

- **Rapidité** : La rapidité indique l'aptitude d'un capteur à suivre dans le temps les variations de la grandeur physique à mesurer. En effet, il faut toujours un certain temps pour qu'un changement à du signal à l'entrée soit perçu à la sortie. On l'exprime de l'une des trois façons suivantes : [2]
 - Le temps de réponse (ou constante de temps)
 - La bande passante du capteur
 - La fréquence de coupure (ou fréquence propre)
- **Finesse** : Un capteur a tendance à influencer la grandeur physique qu'il doit mesurer. Moins un capteur influence son environnement, meilleure est sa finesse. La finesse et la sensibilité sont deux antagonistes et il est nécessaire de faire un compromis.[2]

- **Justesse** : La justesse d'un capteur correspond à la différence entre la valeur moyenne d'un ensemble de mesures faites pour un mesurande donné et celle-ci. La justesse représente les erreurs systématiques du système de mesure. Ces erreurs peuvent être réduites par la calibration du capteur.[2]
- **Fidélité** : La précision est un des paramètres les plus importants d'un système de mesure. Elle permet d'évaluer la qualité de mesure en donnant l'idée de l'ampleur de l'erreur affectant la mesure. La précision fait appel à la notion de fidélité et de justesse, puisqu'un capteur précis est juste et fidèle [2]
- **Les domaines de fonctionnement** : Chaque capteur (ou élément de mesure) présente certaines caractéristiques métrologiques qui définissent ses limites d'utilisation et de précision. Ces limites dépendent non seulement du mesurande, mais aussi des grandeurs d'influence qui viennent perturber l'élément de mesure. On peut définir trois domaines de fonctionnement[2]

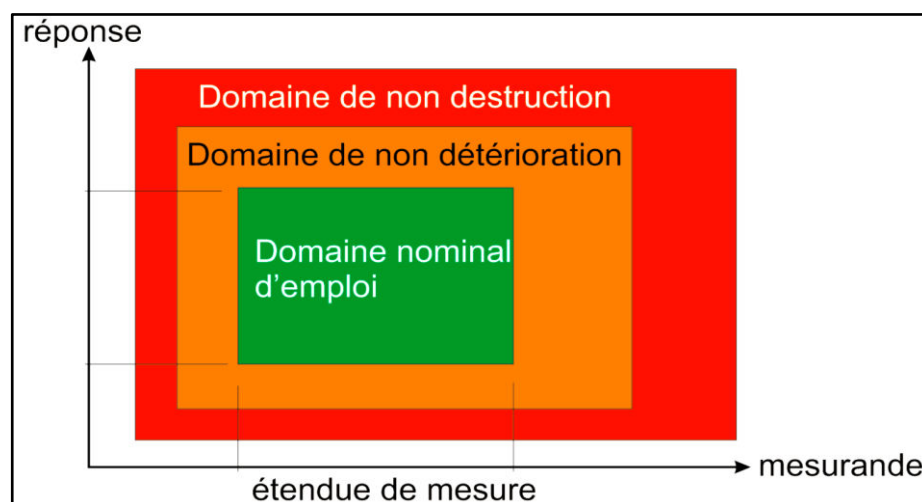


Figure 1.3 : Les trois domaines de fonctionnement d'un capteur

- **Le domaine nominal d'utilisation** : représente la zone de travail normale du capteur. Il est défini pour la grandeur physique à mesurer (ou mesurande) par son étendue de mesure et pour les grandeurs d'influence par la plage de travail. [3]
- **Le domaine de non détérioration** : est une zone de fonctionnement du capteur qui entoure le domaine nominal d'utilisation (Figure 2.3). Le capteur entre dans ce domaine si le mesurande et/ou les grandeurs physiques d'influence excèdent les valeurs minimales et/ou maximales définissant le domaine nominal. [3]

4. Les types d'erreurs classiques^[1]

- ✓ L'erreur de zéro (offset) : L'erreur sur le zéro (zéro offset) appelée aussi "dérive" est généralement due au vieillissement des composantes d'un capteur et aux variations de température (figure ci-dessous)

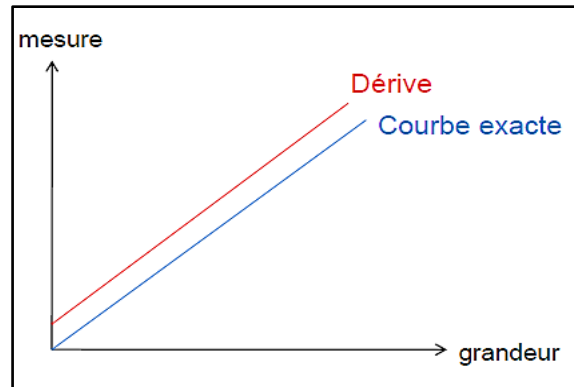


Figure 1.4 : Erreur de zéro (offset)

- ✓ L'erreur d'échelle (gain) : C'est une erreur qui dépend de façon linéaire de la grandeur mesurée

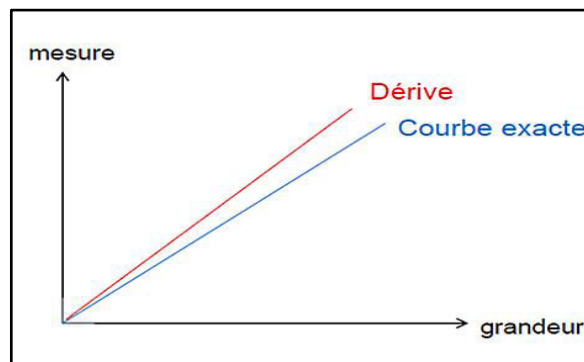


Figure 1.5: Erreur d'échelle ou de gain

- ✓ L'erreur de linéarité : La caractéristique n'est pas une droite.

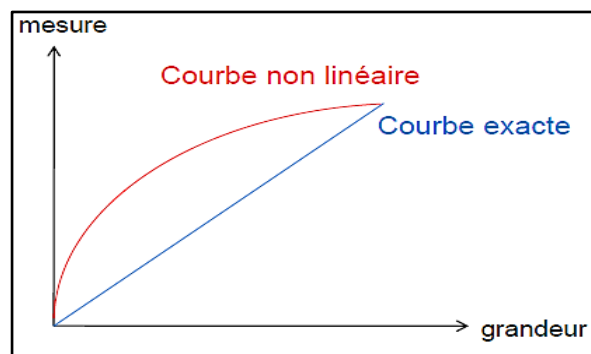


Figure 1.6 : Erreur de linéarité

- ✓ L'erreur de quantification : La caractéristique est en escalier, cette erreur est souvent due à une numérisation du signal.

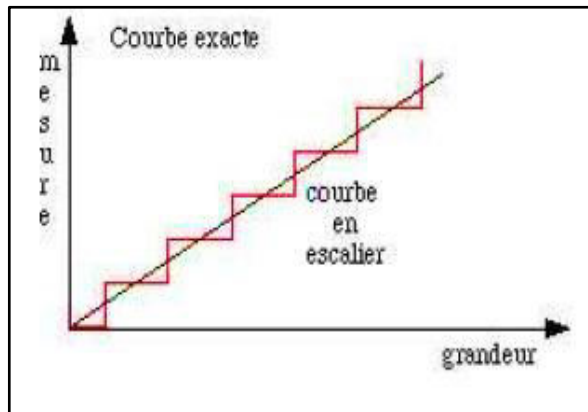


Figure 1.7 : Erreur de quantification

5. Types de grandeur physique (mesurande)

On peut classer les grandeurs physiques en 6 familles, chaque capteur s'associant à l'une d'entre elles :

- ✓ Mécanique : déplacement, force, masse, débit...
- ✓ Thermique : température, capacité thermique, flux thermique...
- ✓ Electrique : courant, tension, charge, impédance, diélectrique...
- ✓ Magnétique : champs magnétique, perméabilité, moment magnétique...
- ✓ Radiatif : lumière visible, rayon X, micro-onde...
- ✓ (Bio) chimique : humidité, gaz, sucre, hormone...

6. Classification des capteurs :

a) Les capteurs actifs (capteur direct) :

On parle de capteurs actifs lorsque le phénomène physique qui est utilisé pour la détermination du mesurande effectue directement la transformation en grandeur électrique, c'est la loi physique elle-même qui relie mesurande et grandeur électrique de sortie

Un capteur actif fonctionne assez souvent on électromoteur et dans ce cas la grandeur de sortie est une différence de potentiel. Le nombre des lois physiques permettant une telle transformation est évidemment limité mais les domaines d'applications sont par contre très étendus, par exemple des lois ou phénomènes : effet piézoélectrique, électromagnétique, photovoltaïque, effet hall, effet pyroélectrique[2]

- ✓ **Effet thermoélectrique** : Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à des températures T_1 et T_2 , est le siège d'une force électromotrice d'origine thermique $e(T_1, T_2)$. Domaine d'application : Thermomètre à thermocouple, Thermistance [1]
- ✓ **Effet piézo-électrique** : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électriques (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées. Domaine application : mesure de faibles variations de pression dans les objets vibrants, mesure de forces évoluant rapidement, mesure d'accélération [1]

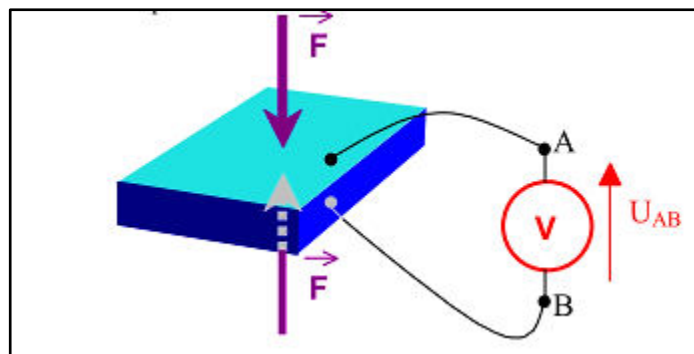


Figure 1.8 : Principe de l'effet piézo-électrique

- ✓ **Effet d'induction électromagnétique**: La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique (détection de passage d'un objet métallique).
- ✓ **Effet photo-électrique** : La libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique. le principe (la figure 1.8). Domaine d'application : télécommande IR, transmission de données par fibre optique, détection de passage [1]

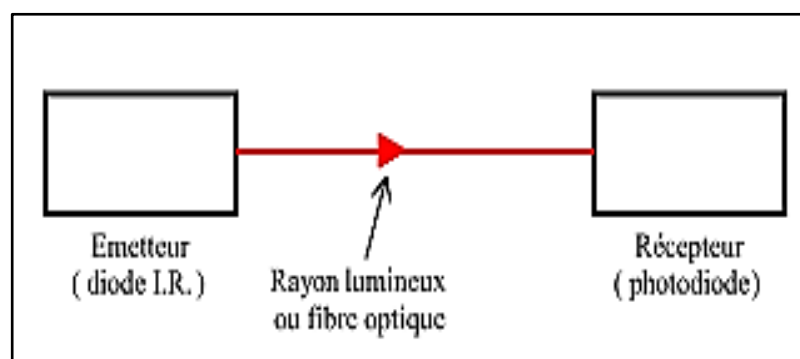


Figure 1.9 : Principe de l'effet photo-électrique

- ✓ **Effet Hall** : Un champ magnétique B et un courant électrique I créent dans le matériau une différence de potentiel U_H . Domaine d'application : capteur de pression, de déplacement, touche clavier, mesure de l'angle de rotation, interruption de fin de course [1]

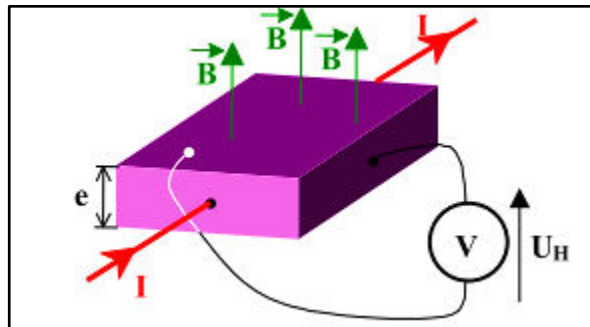


Figure 1.10 : Principe de l'effet Hall

- ✓ **Effet photovoltaïque** : Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction PN illuminée, leur déplacement modifie la tension à ses bornes. [1]

| Grandeur physique mesurée | Effet physique utilisé | Grandeur de sortie |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Température | thermoélectricité | Tension |
| Flux de rayonnement optique | Photoémission | Courant |
| | Effet photovoltaïque | Tension |
| | Effet photoélectrique | Tension |
| Force | Piézo-électricité | Charge électrique |
| Pression | | |
| Accélération | Induction électromagnétique | Tension |
| Vitesse | | |
| Position | Effet Hall | Tension |
| Courant | | |

Tableau 1.1 : exemple des grandeurs mesurées et des effets physiques utilisés

b) Les capteurs passifs (capteur indirect) :

Les capteurs indirects utilisent l'influence de la modification que le mesurande provoque sur un des trois paramètres électrique fondamentaux : la résistivité ρ (ou son inverse la conductivité électrique) la permittivité électrique ϵ et la perméabilité magnétique

μ .ainsi la température T est une grandeur d'influence importante sur la résistivité des matériaux métalliques ou des semi-conducteurs. Une mesure de résistance soumise à une variation de température permettra donc de déterminer via la variation ΔP , la valeur de ΔT correspondante. On parle alors de mesure indirecte de température ce qui caractérise également les capteurs passifs est la nécessité de les alimenter par une source d'énergie auxiliaire cette source peut être une tension alternative auquel cas la tension de sortie pourra être modulée en amplitude ou en fréquence [2]

Grandeurs d'influence : Grandeur physique autre que le mesurande dont la variation peut modifier la réponse du capteur :

- ✓ Température : modifications des caractéristiques électriques, mécaniques et dimensionnelles
- ✓ Pression, vibrations : déformations et contraintes pouvant altérer la réponse
- ✓ Humidité : modification des propriétés électriques (constante diélectrique ou résistivité).
Dégradation de l'isolation électrique
- ✓ Champs magnétiques : création de force électromotrice d'induction pour les champs variables ou modifications électriques (résistivité) pour les champs statiques
- ✓ Tension d'alimentation : lorsque la grandeur de sortie du capteur dépend de celle-ci directement (amplitude ou fréquence) nécessité de réduire les grandeurs d'influence (tables anti-vibration, blindages magnétiques...)

| Grandeur mesurée | Caractéristique électrique sensible | Types de matériaux utilisés |
|---------------------|-------------------------------------|--|
| Température | Résistivité électrique | Platine, Nickel, cuivre ... |
| Rayonnement optique | Résistivité électrique | Semi-conducteur |
| Déformation | Résistivité électrique | Alliage de Ni, Si dopé |
| | Perméabilité magnétique | Alliage ferromagnétique |
| Position | Résistivité électrique | Matériaux magnéto résistants (Bismuth, antimoine d'indium) |
| Humidité | Résistivité électrique | Chlorure de lithium |

Tableau 1.2 : exemple de grandeurs d'influence

7. Capteur et chaîne de mesure [1]

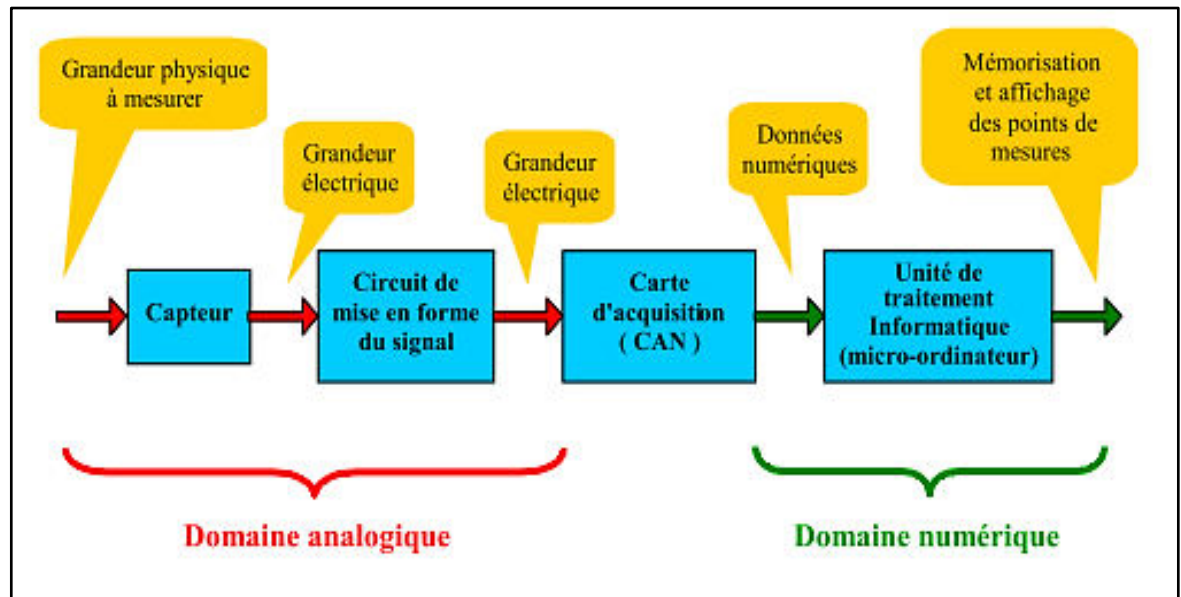


Figure 1.11 : schéma bloc d'une chaîne de mesure

La structure de base d'une chaîne de mesure comprend au minimum quatre étages :

- ✓ Un capteur sensible aux variations d'une grandeur physique et qui, à partir de ces variations, délivre un signal électrique.
- ✓ Un conditionneur de signal dont le rôle principal est l'amplification du signal délivré par le capteur pour lui donner un niveau compatible avec l'unité de numérisation; cet étage peut parfois intégrer un filtre qui réduit les perturbations présentes sur le signal.
- ✓ Une unité de numérisation qui va échantillonner le signal à intervalles réguliers et affecter un nombre (image de la tension) à chaque point d'échantillonnage.

L'unité de traitement informatique peut exploiter les mesures qui sont maintenant une suite de nombres (enregistrement, affichage de courbes, traitements Mathématiques, transmissions des données ...). De nos jours, compte tenu des possibilités offertes par l'électronique et l'informatique, les capteurs délivrent un signal électrique et la quasi-totalité des chaînes de mesure sont des chaînes électroniques et informatiques.

8. les capteurs chimiques et biochimiques :[4]

Les biocapteurs :

Le terme « biocapteurs » représente la fusion de deux des plus importantes technologies de ce siècle : l'électronique et les biotechnologies. Leur association permet des dosages rapides, sensibles et spécifiques. Les premiers biocapteurs, développés au début des années 1960, sont des électrodes enzymatique permettant le dosage du glucose dans une solution biologique. Depuis, les biocapteurs ont connu un développement considérable en raison de leurs nombreuses applications potentielles, que ce soit dans les domaines médical, agro-alimentaire ou contrôle de l'environnement. Ils peuvent ainsi devenir des outils complémentaires et apporter des avantages par rapport aux techniques classiques d'analyses disponibles en laboratoire.

Un biocapteur est un dispositif analytique conçu pour transformer un phénomène biochimique en un signal mesurable .Il combine un composant biologique appelé «bio récepteur» et un «transducteur» représentant le mode de détection. Même si les enzymes restent fréquemment employées, des nouveaux bio récepteurs sont aujourd'hui étudiés, comme l'ADN, les anticorps-antigènes, les cellules entières voire les organites.

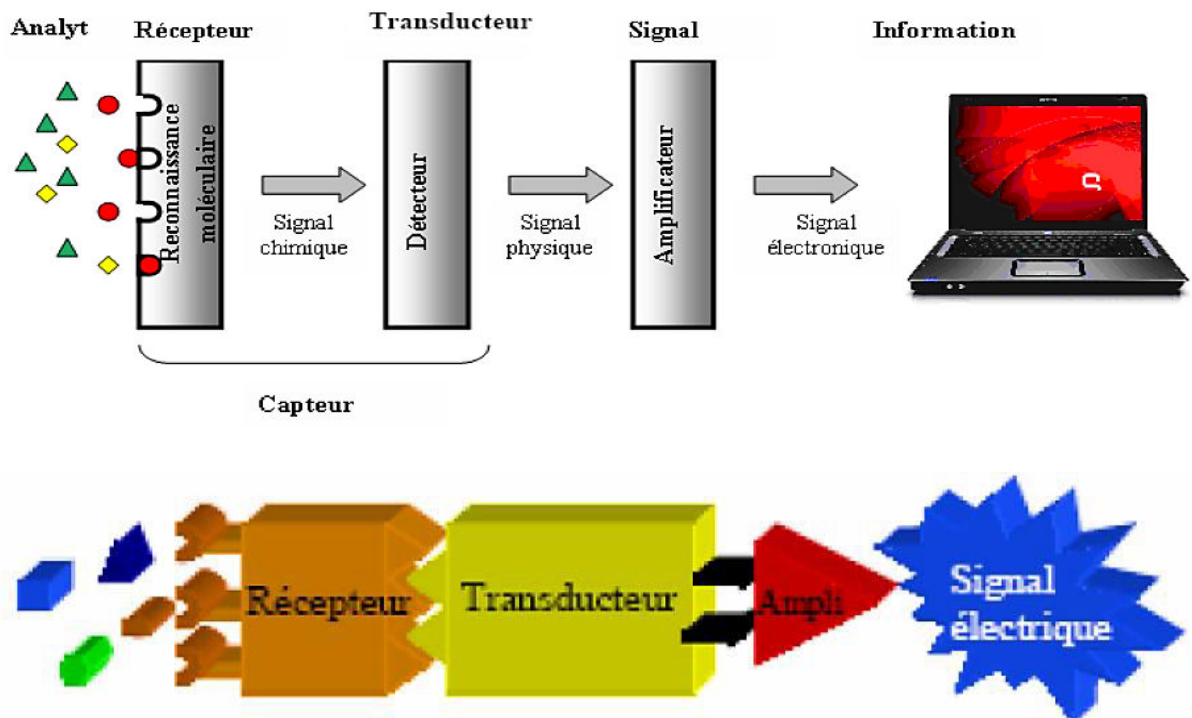


Figure 1.12 : Principe de fonctionnement d'un capteur bio (chimique)

En ce qui concerne les transducteurs, des avancées majeures ont été faites grâce à la miniaturisation qui a notamment permis de développer des microélectrodes. Les fibres optiques ont, pour leur part, facilité la détection de signaux biologiques par absorbance ou fluorescence. Dans les nombreux travaux existants sur les biocapteurs, le choix du transducteur et du bio récepteur dépend de plusieurs facteurs. A l'heure actuelle, une grande partie des études menées sur les biocapteurs tend à optimiser leurs caractéristiques pour répondre au mieux aux exigences de leur domaine d'application, notamment en travaillant sur la stabilité de la réponse, la sélectivité et la sensibilité des biocapteurs.

Toutes les combinaisons ne sont évidemment pas équivalentes et certaines sont préférentielles. Par exemple, les biocapteurs enzymatiques comprennent généralement un système de transduction électrochimique, et les biocapteurs à microorganismes un système de transduction optique (fluorescence par exemple). Le choix d'un type de biocapteur va ensuite dépendre de l'application visée. Par exemple, les biocapteurs enzymatiques sont généralement plus résistants aux conditions opératoires difficiles que les biocapteurs à microorganismes (variation d'humidité, de température,...). Par contre, les mesures de toxicité globales ne peuvent se faire qu'avec des microorganismes, répondant de manière intégrée aux polluants. Du fait de leur nature biologique, les biocapteurs présentent une grande sensibilité permettant de détecter de très faibles concentrations, avec une grande et une grande sélectivité. Ces caractéristiques distinguent les biocapteurs des capteurs physico-chimiques classiques, auxquels on reproche généralement leur manque de sensibilité. De plus, ces éléments biologiques octroient aux biocapteurs la capacité d'effectuer des nouveaux types de mesure, permettant par exemple l'obtention d'éléments de toxicité globale, d'informations sur la biodisponibilité des polluants, ou encore une prise en compte d'expositions multiples.

Les transducteurs :

D'une manière générale un transducteur est un instrument qui sert à transformer, suivant une loi déterminée la grandeur mesurée (ou bien une grandeur déjà transformée de la grandeur mesurée) en une autre grandeur ou un ensemble pouvant être utilisé séparément.

Les transducteurs électrochimiques sont très fréquemment utilisés, on distingue les capteurs potentiométriques, conductimétriques et ampérométriques.

| Eléments sensibles | Transducteur | Exemples d'éléments détectés dans l'environnement |
|--|--|---|
| <p>Enzyme</p> <p>-Micro-organisme</p> <p>-Tissu (plante ou animale)</p> <p>-Anticorps marqué avec enzyme</p> | <p><u>Electrochimie</u></p> <p>Potentiomètre</p> | <p>Pesticides organophosphorés</p> <p>paraaxon, triclofon, ammonium</p> |
| <p>-Enzyme</p> <p>-Micro-organisme</p> <p>-Tissu</p> | <p>Ampèremètre</p> | <p>Carbamates, Pesticides organophosphorés</p> |
| <p>-Anticorps marqué avec enzyme</p> <p>-Enzyme</p> <p>-Bicouche lipidique</p> | <p>conductimétries</p> | <p>Nitrate, Cd^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+}</p> <p>phosphate</p> |
| <p>-Anticorps</p> <p>-Acide nucléide</p> | <p><u>Optique</u></p> <p>Fluorescence</p> | <p>Cu^{2+}, Cd^{2+}, Pb^{2+}, Zn^{2+}, Ni^{2+}</p> <p>atrazine, paraaxon</p> |
| <p>-Anticorps</p> <p>-Antigène</p> <p>-Enzyme</p> <p>-Acide nucléide</p> | <p>Résonance plasmonique de surface (SPR)</p> | |
| <p>-Anticorps</p> <p>-Antigène</p> <p>-Enzyme</p> <p>-Acide nucléide</p> | <p><u>Acoustique</u></p> <p>Piézo-électrode microbalance à quartz.</p> | <p>Pesticide, métaux lourds</p> |
| <p>-Enzyme</p> <p>-Micro-organisme</p> <p>-cellule</p> | <p><u>Calorimétrie</u></p> <p>Thermistor</p> <p>Thermopile</p> | <p>Hg^{2+}, Cu^{2+}, Ag^{2+}, pesticide, glucose</p> |

Tableau 1. 3 : Les différents types de transducteurs.

Capteurs électrochimiques

Les équilibres électrochimiques réalisés à des interfaces électrode électrolyte sont mis à profit pour la réalisation de capteurs permettant la mesure de la concentration d'une espèce en solution. Ces capteurs comprennent une électrode sélective d'une espèce et une électrode de référence de potentiel mesurée aux bornes du capteur, proportionnelle à l'activité de l'espace concernée, suit une relation analogue, Les capteurs électrochimiques sont classés selon leur mode de transduction: Potentiométrique, conductimétrique ou ampérométrique comme dans la figure suivante

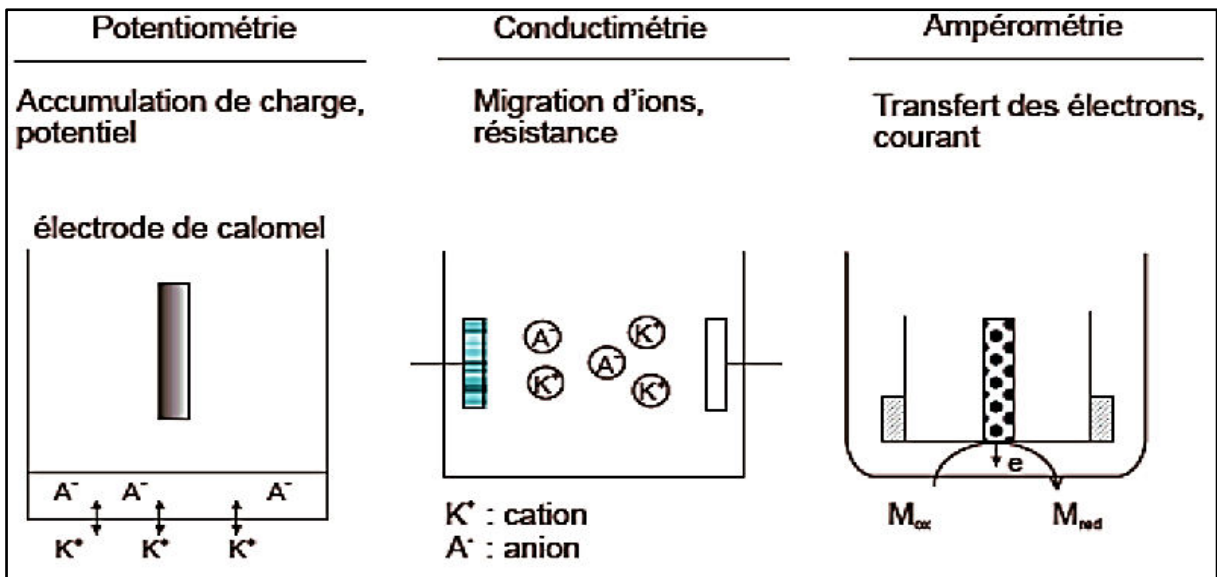


Figure 1.13 : Détection électrochimique

Le capteur potentiométrique et ampérométriques sont les plus répandus mais il y a peu de travaux portant sur les capteurs conductimétrique. Toutefois, depuis les années 1980, les capteurs conductimétrique commencent à être à leur tour de plus en plus utilisés compte tenu de leur facilité d'élaboration

1. Capteurs potentiométriques :

Le potentiel du capteur ou électrode (qui n'est parcourue par aucun courant) est mesuré par rapport à un potentiel de référence. Ce dernier est obtenu par une électrode de référence. Cette condition de courant nul est d'autant mieux respectée que la résistance aux bornes de laquelle sont branchées les électrodes est plus grande. En pratique, les voltmètres aux entrées desquels sont reliées les électrodes ont des impédances d'entrée très grandes ($> 10^{12}\Omega$).

2. Capteurs ampérométriques :

L'allure d'une courbe intensité-potentiel de réduction d'une espèce réductible dissoute, obtenue en appliquant une surtension entre une électrode indicatrice (conducteur électronique) et une électrode de référence. Pour une surtension suffisamment importante ($\gg EA$), on atteint un palier limite de diffusion pour lequel l'intensité est proportionnelle à la concentration de l'espèce réductible. Les techniques d'ampèremètre, de voltamétrie et de polarographie sont basées sur la mesure de courants limites de diffusion d'espèces électro actives.

3. Capteurs conductimétriques :

Présentation : La sonde est formée de deux électrodes cylindriques, le rôle de l'une d'elles pouvant être assuré par le réservoir lorsqu'il est métallique. La sonde est alimentée par une faible tension (10 V) alternative afin d'éviter la polarisation des électrodes. En mesure continue, la sonde est placée verticalement et sa longueur s'étend sur toute la plage de variation de niveau. Le courant électrique qui circule est d'amplitude proportionnelle à la longueur d'électrode immergée, mais sa valeur dépend de la conductivité du liquide.

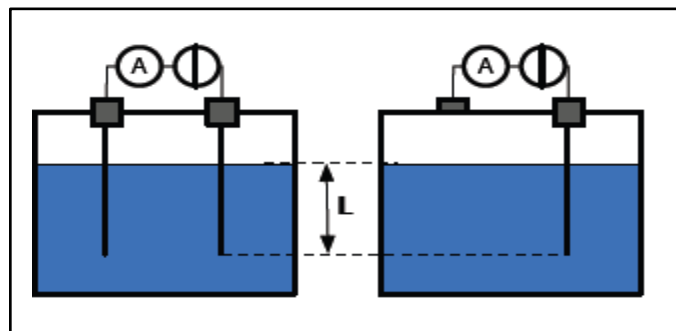


Figure 1.14 : Principe mesure de niveau par capteur de conductimétrie

Détection : En détection, on peut, par exemple, placer une sonde courte horizontalement au niveau seuil. Un courant électrique d'amplitude constante apparaît dès que le liquide atteint la sonde

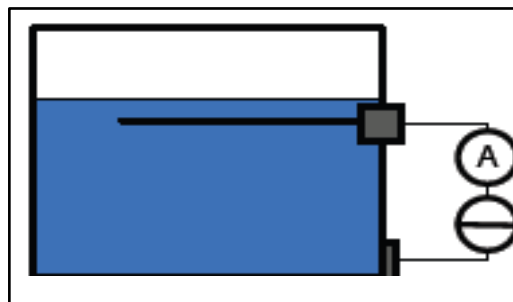


Figure 1.15 : Détection de niveau électrique

Principe : La conductance électrique G d'un corps, inverse de sa résistance, est proportionnelle à la surface S de la section perpendiculaire à la direction du courant et inversement proportionnelle à sa longueur l

$$G = \frac{\lambda S}{L} \quad (1.2)$$

Avec G conductance (S), λ conductance spécifique ou conductivité, caractéristique du corps ; elle est exprimée en siemens par centimètre lorsque la surface est donnée en cm^2 et la longueur en cm . La mesure de la conductance d'une solution électrolytique s'effectue en immergeant dans la solution une cellule de mesure comportant deux électrodes dont la surface S et la distance sont déterminées par étalonnage dans une solution de conductivité connue. En première approximation, pour des solutions de concentration faible, la conductivité est proportionnelle à la concentration de l'électrolyte. Ces capteurs conductimétriques détectent toutes les espèces ioniques présentes dans la solution, leur utilisation demande de bien connaître la composition ionique des solutions puisqu'ils n'ont aucune sélectivité intrinsèque.

4. Capteurs thermodynamiques :

Présentation : les capteurs type de cette famille est certainement celui destiné à la mesure de pH caractérise la concentration d'ions H^+ dans une solution et qu'on va la déterminer à partir de la mesure de différence de potentiel entre deux électrodes le plus fréquemment utilisé est celui à l'électrode de mesure dite électrode de verre , d'une part et électrode de référence du côté d'autre part , qui présente ainsi les caractéristiques métrologiques les plus satisfaisantes dans la majorité des cas

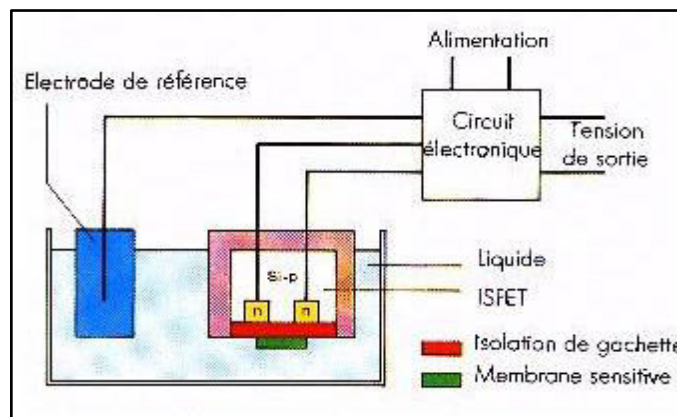


Figure 1.16 : principe de mesure de pH

9. Conclusion générale :

Les capteurs sont très utilisés dans le domaine de la chimie analytique et d'industrie agro-alimentaire pour le control ou la fabrication des produits. Ces capteurs électrochimiques font actuellement l'objet de nombreuses recherches et développements dans le domaine de la biologie et de la médecine. Des résultats prometteurs ont déjà été obtenus et le domaine d'utilisation des biocapteurs est très large : mesures de PH, de pression d'oxygène, de taux de glucose, de pénicilline, de certain enzyme dans les tissus, le sang, la salive ou l'urine et pour des mesures en vivo. Ces capteurs ont pour avantage de permettre une analyse rapide et sélective. On peut ainsi effectuer une analyse d'un produit en continue, suivre la cinétique d'une réaction biochimique et l'état physiologique d'un patient. Fonctionnement sur très faible courant, ils peuvent dans certains cas être miniaturisés et implantés dans des zones d'accès difficile du corps humain

Nous avons pu , à travers ce chapitre , voir les différents types de capteurs et leurs différentes caractéristiques métrologiques .

Les types de capteurs pouvant être utilisés dans la mesure de la conductivité ont été également abordés et détaillés à ce niveau et pouvant servir ultérieurement lors de l'élaboration de notre dispositif de mesure conductimétrique .

Chapitre 2
La
conductivité

1. Introduction :

La mesure de la conductivité est une méthode extrêmement répandue et utile, tout particulièrement dans des applications de contrôle de la qualité

Dans ce chapitre, nous abordons les aspects théoriques de la mesure de la conductivité, les facteurs qui ont une influence sur la fiabilité des résultats, et les techniques de mesure . Pour un chapitre complète, nous avons aussi ajouté des parties spécifiques qui couvrent des applications, des définitions qui sont en relations avec la mesure de la conductivité , et les cellules qui sont la base la plus importante dans la mesure

2. Historique :

C'est Friedrich Wilhelm Georg Kohlrausch grand physicien allemand qui en 1874 trouva la loi de Kohlrausch sur la conductivité des électrolytes et contribuera à la compréhension de leur comportement.

En 1874, Kohlrausch démontra qu'un électrolyte possède un coefficient de résistance électrique défini et constant. En déterminant la variation de la conductivité en fonction de la dilution, il put déterminer la vitesse de transfert des ions en solution. Afin d'obtenir des résultats de haute précision, il utilisa des courants alternatifs qui prévenaient les dépôts d'électrolytes. Ces résultats aboutirent à la formulation de la loi de Kohlrausch.[5]

3. Conductivité

La conductivité exprime la capacité d'un matériau de conduire le courant électrique. Dans les cas des métaux, c'est le mouvement des électrons qui assure le passage du courant. Dans les solutions aqueuses, ce sont les ions qui effectuent le transport des charges. Les ions résultent de la dissolution de sels, acides et bases. Plus le liquide contient d'ions, mieux il conduit le courant.[6]

4. solution conductrice :

La conductivité est typiquement mesurée dans les solutés des électrolytes .Les électrolytes sont des substances contenant des ions, c.-à-d. solutions des sels ioniques ou des composés qui s'ionisent en solution. Les ions formés en solution sont responsables de produire un courant électrique. Les électrolytes incluent des acides, des bases et des sels.

Le plus conducteur les solutions mesurées sont les solutés, car l'eau à les possibilités de stabiliser les ions constitués par une solubilisation. À quel point une solution conduit l'électricité en fonction d'un certain nombre de facteurs : concentration ; mobilité des ions ; valence des ions ; la température.

Toutes les substances possèdent un certain degré de conductivité. Dans les solutés le niveau de la concentration ionique varie de la basse conductivité de l'eau ultra pure à la conductivité élevée des échantillons chimiques concentrés.

$$\sigma = \sum_i^n \lambda_i \times C_i \quad (2.1)$$

Où λ_i et C_i sont respectivement la conductivité molaire et la concentration de l'ion i présent en solution.[7]

5. Unité :

Son unité dans le Système international d'unités est le siemens par mètre ($A^2s^3m^{-3}kg^{-1}$). C'est le rapport de la densité de courant par l'intensité du champ électrique. C'est l'inverse de celle de la résistivité. Le symbole généralement utilisé pour désigner la conductivité est la lettre grecque sigma (σ). Selon les matériaux, σ varie de $10^8 S.m^{-1}$ à $10^{-22} S.m^{-1}$. [8]

6. Influence des différents paramètres :

- **Température** : Les mesures de conductance sont très sensibles à la température. Il est donc nécessaire que la cellule, le récipient et la solution soient en équilibre thermique
- **Agitation** : Il est conseillé d'arrêter l'agitation lors de la lecture.
- **Bulles d'air** : Prendre soin de ne pas piéger de bulle d'air lorsque l'on plonge la cellule dans la solution (La valeur lue est alors trop faible et non reproductible).
- **Entretien de la cellule** : Les électrodes doivent être conservées dans de l'eau distillée ou déminéralisée pour éviter leur dessèchement
- **Polarisation** : Appliquer un courant électrique aux électrodes en solution peut causer une accumulation des espèces ioniques près des surfaces d'électrode et des réactions chimiques sur les surfaces. Ainsi, une résistance de polarisation surgit sur la surface d'électrode, qui peut mener à des résultats incorrects car c'est un composant parasite à la résistance de la solution.

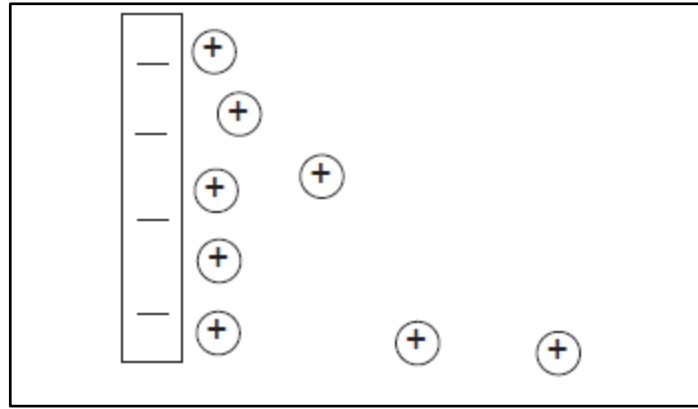


Figure2.1 : Accumulation des espèces ioniques sur la surface d'électrode

➤ **Empêchement de la polarisation** : Des effets de polarisation peuvent être réduits ou empêchés par

- Application d'un courant alternatif
- Ajustement de la fréquence de mesure
- Linéarisation des secteurs d'électrode
- Utilisant une cellule de conductivité de 4 poteaux
- Contamination des surfaces d'électrode

Les dépôts sur la surface d'électrode d'une cellule de 2 poteaux ont un effet semblable aux erreurs de polarisation, c'est-à-dire la lecture de conductivité est inférieure habituelle. Ces effets peuvent également être empêchés avec une cellule de conductivité de 4 poteaux.

➤ **Erreurs relatives de la géométrie - effets de champ** : Des erreurs sont également provoquées par les effets de champ - la partie du champ de mesure qui tombe en dehors de l'espace géométrique des 2 cellules de poteau. Ces lignes de champ peuvent affecter la mesure si quelque chose interfère les lignes de champ, telles que murs de béccher.

➤ **Changement de fréquence** : Les basses fréquences sont appliquées à de basses conductivités, où la résistance de polarisation est négligeable comparée à la résistance de la solution. Elles contribuent également à réduire l'effet de capacité de câble, qui est plus grand quand la conductivité est basse (résistance de solution élevée). Les hautes fréquences sont appliquées aux conductivités élevées, où la résistance de solution est basse.

Dans la plupart des conductimètres, la fréquence est automatiquement augmentée avec l'augmentation de la conductibilité de l'échantillon, pour éviter des erreurs de polarisation à la conductivité élevée.

- **Résistance de câble** : Un câble a une longueur donnée, donc une résistance donnée. La résistance de câble induit l'erreur sur le résultat et doit être tenue compte. Compenser la résistance de câble quand :
 - La résistance de solution est basse (en-dessous de 50Ω), c.-à-d. pour des mesures élevées de conductivité,
 - On effectue des mesures utilisant 2 ou 3 cellules de poteau, La résistance de câble d'une cellule est normalement spécifiée par le fabricant.
- **Capacité de câble** : Un câble protégé d'une longueur donnée a une capacité donnée. Quand la conductibilité mesurée est basse (en-dessous de μS 4), la capacité de câble n'est pas négligeable et doit être tenue compte .Compenser la capacité de câble quand :
 - utilisant une cellule de 4 poteaux,
 - basses conductivités de mesure,
 - la capacité de câble de la cellule de conductivité est plus grande que 350 pf,

7. principe de mesure de la conductivité

Le principe de base de la mesure de conductivité est le même dans toutes les méthodes : l'appareil de mesure applique une tension électrique à la solution à mesurer. Un courant électrique circule en fonction de la conductivité. Suivant la méthode ou l'application, l'appareil de mesure impose une tension constante et enregistre la variation du courant électrique, ou bien l'appareil de mesure impose un courant constant et évalue la variation de tension.[6]

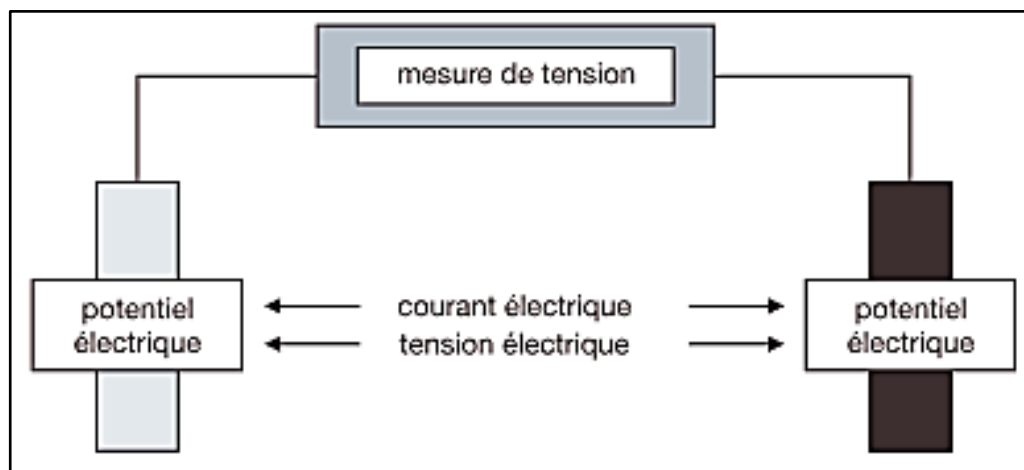


Figure 2.2 : schéma d'une cellule de mesure de conductivité

Les deux principes s'appuient sur la loi d'ohm :

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1}{G} \quad (2.2)$$

- R : résistance électrique
- I : intensité du courant électrique
- U : tension électrique ou conversion pour la conductivité
- G : Conductance

$$\lambda = \frac{I}{U} \times k' \quad (2.3)$$

- J : conductivité électrique (spécifique)
- I : intensité du courant électrique
- U : tension électrique
- k' : constante de cellule

À tension constante, le courant augmente proportionnellement à la conductivité. À courant constant, la tension diminue quand la conductivité augmente. Comme le montre la loi d'Ohm, la mesure de conductivité est en fait une mesure de résistance. La valeur inverse I/U donne la conductivité à partir de la résistance

✓ Constante de cellule

La conductivité, comme la résistance, dépend des dimensions physiques des conducteurs électriques. La longueur et la section du conducteur déterminent la constante de cellule

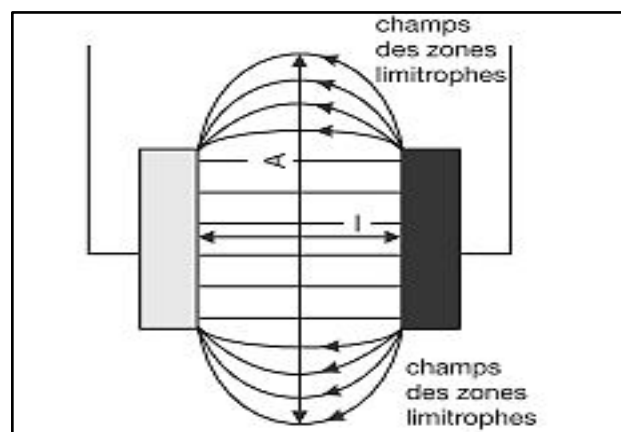


Figure 2.3 : représentation schématique de la surface active

Avec une faible longueur de conducteur, les électrodes sont proches l'une de l'autre. Plus la distance entre les électrodes est faible, plus faible est la résistance de la solution soumise à la mesure. L'effet des électrodes sur les ions augmente. Une grande section de conducteur équivaut à une grande surface des électrodes. Plus la surface des électrodes est grande, plus faible est la résistance de la solution soumise à la mesure. Plus la surface augmente, plus nombreux sont les ions qui se trouvent dans la zone d'influence des électrodes. La section du conducteur électrique est en règle générale supérieure à la surface des électrodes.

Les électrodes n'agissent pas seulement sur les ions qui se trouvent directement entre les électrodes, mais aussi sur ceux des zones limitrophes. L'effet du champ des électrodes sur les ions diminue avec la distance. Les champs limitrophes peuvent être délimités par la conception de la cellule ou l'endroit où elle est installée ; Ces effets sont pris en compte dans la constante de cellule.[6]

$$k' = \frac{L}{A} \quad (2.4)$$

- k' : constante de cellule
- l : longueur du conducteur
- A : section du conducteur

✓ Tension alternative

Le courant électrique entre les électrodes dépend du mouvement des ions à travers la solution à mesurer. Les ions se déplacent pendant la mesure vers l'électrode de charge opposée. Chaque ion qui appartient à une surface d'électrode équilibre une partie de la tension entre les électrodes. Comme il n'est plus en mouvement, il bloque le courant électrique. Cet effet (polarisation) peut être combattu par une tension alternative. Grâce à l'inversion constante de la polarité, seule une faible quantité d'ions atteint les électrodes, et encore pendant une courte durée. Plus la solution est riche en ions, plus grande est la conductivité, plus la fréquence fournie par l'appareil de mesure devra être élevée pour prévenir la polarisation.[6]

✓ Cellules de conductimétrie

C'est un ensemble de deux plaques (en cuivre ou en platine) qui trempe dans une solution ionique. S est leur surface immergée dans la solution, l est la distance entre les deux plaques.

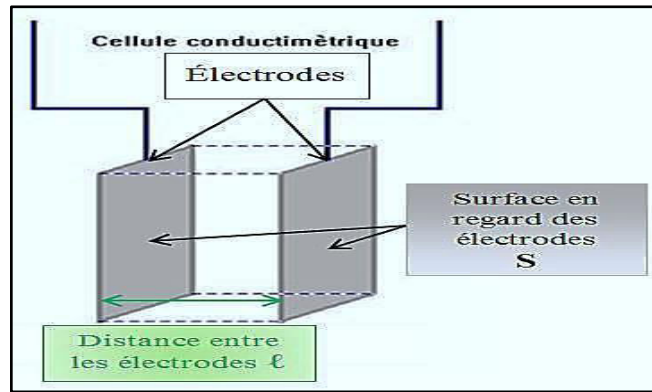


Figure 2.4 : cellule conductimétrique

La cellule à deux électrodes : est la forme la plus simple des cellules de mesure de la conductivité.

Elle est parfaitement suffisante pour les mesures industrielles générales. Cette cellule est constituée de deux électrodes et d'un plongeur qui les réunit. Les deux électrodes sont soumises à une tension alternative constante. Le signal de mesure est le courant qui circule à travers la solution à mesurer.

Ces cellules se distinguent suivant les applications par la constante de cellule et la nature des électrodes.[6]

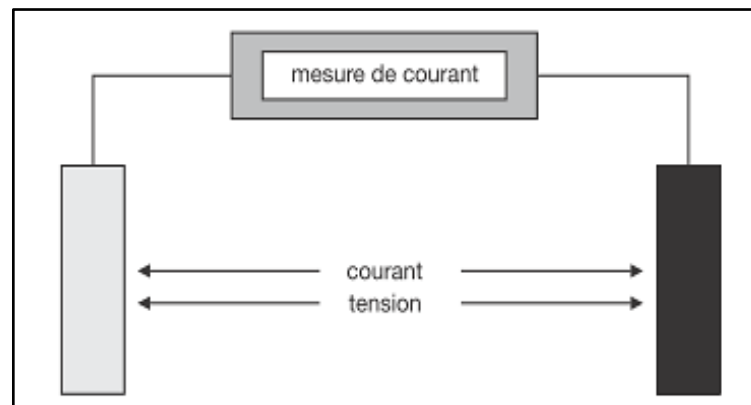


Figure 2.5 : schéma d'une cellule à deux électrodes

Cellules à quatre électrodes : Ces cellules de mesure comportent deux paires d'électrodes. L'une mesure le courant qui traverse la solution, l'autre mesure la tension dans la solution.

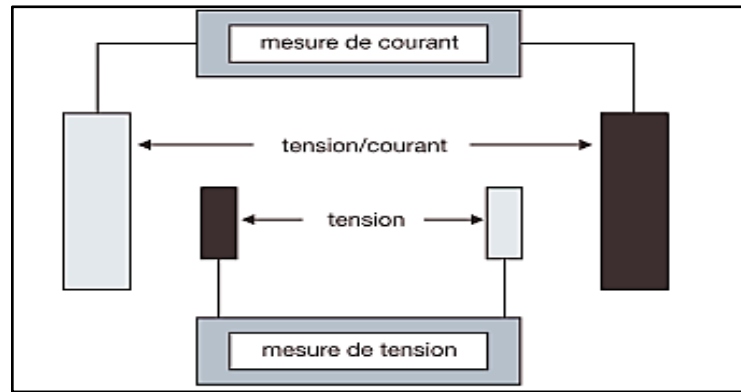


Figure 2.6 : schéma d'une cellule de mesure à quatre électrodes

L'avantage de la cellule de mesure à quatre électrodes est son insensibilité aux résistances parasites, telles que celles de longs câbles de raccordement, salissures ou polarisation. Ces effets donnent des résultats sous-évalués car ils réduisent la tension appliquée par les électrodes à la solution à mesurer. La deuxième paire d'électrodes détecte la tension dans la solution à mesurer. L'appareil de mesure peut prendre en compte une résistance parasite par une adaptation électronique basée sur les rapports mesurés entre les tensions et courants des deux paires d'électrodes.[6]

Cellule de mesure à induction :

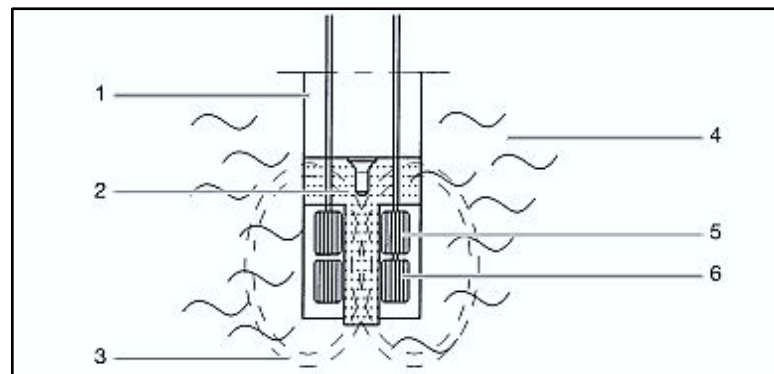


Figure 2.7 : schéma d'une cellule de mesure à induction.

1. Corps
2. Canal de circulation en T
3. Boucle de liquide produite par le courant de mesure
4. Solution à mesurer
5. Bobine réceptrice
6. Bobine d'excitation

Dans ces cellules, les électrodes sont remplacées par deux bobines. L'une des bobines sert à l'excitation. Elle est parcourue par un courant alternatif qui produit un champ magnétique dans son environnement. La solution à mesurer se trouve dans le noyau de la bobine. Le champ magnétique de la bobine induit dans la solution à mesurer le courant électrique nécessaire à la mesure.

Le courant qui traverse la solution produit de son côté un champ magnétique. Ce champ magnétique induit à son tour dans la deuxième bobine (réceptrice) un courant alternatif et la tension alternative qui l'accompagne. La tension de la bobine réceptrice dépend directement du courant qui circule dans la solution à mesurer, donc de la conductivité.

Comme un champ magnétique agit aussi bien à travers un tube de plastique ou de téflon, tout contact direct avec la solution à mesurer est inutile. Les avantages de cette technique de mesure sans contact sont évidents. La mesure dans les milieux agressifs, comme les acides et les bases, est possible sans problème. Les fortes conductivités ne peuvent pas provoquer d'effets de polarisation, donc pas de résultats sous-évalués.[6]

Précautions d'emploi des cellules conductimétriques :

- La cellule ne doit jamais sécher : prévoir un récipient contenant de l'eau distillée où la cellule sera plongée lorsqu'on ne l'utilise pas.
- Ne jamais toucher les électrodes : pour nettoyer la cellule, un simple rinçage avec un jet de pissette suffit, suivi d'un essuyage extérieur.
- Lorsque, dans les calculs, la constante k_c de la cellule intervient, il est prudent de la mesurer plutôt que de se fier à l'indication gravée par le constructeur. En effet, une utilisation maladroite de la cellule a pu modifier ses caractéristiques géométriques et, par conséquent, la valeur de k_c . La valeur indiquée par le constructeur est généralement exprimée avec le centimètre pour unité de longueur et peut constituer un ordre de grandeur à prendre en compte.[9]

8. Résistance et conductance

On considère la colonne de liquide entre les deux plaques de la cellule. Il est possible de mesurer la résistance électrique de cette portion de liquide à l'aide du montage suivant :

On mesure l'intensité du courant passant entre les deux plaques et la tension entre les deux plaques et on accède à : R mesurée en Ohm (Ω) [10]

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.5)$$

La conductance est donnée par l'inverse de cette résistance :

$$G = I/U = 1/R \quad (2.6)$$

- G : Conductance mesurée en mho^{-1} (Ω^{-1}) ou en siemens (S).
- I : intensité du courant en Ampère (A).
- U : Tension entre les plaques en volt (V).

La résistance de la solution électrolytique piégée dans la cellule de mesure du conductimètre s'exprime en fonction de la surface des électrodes et de la distance qui les sépare par la relation : (Où ρ est la résistivité)

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (2.7)$$

$$K = l/S \quad (2.8)$$

K est appelé constante de la cellule et a pour unité le m^{-1} .

$$G = 1/R = \sigma/K \quad (2.9)$$

On utilisera généralement des sous multiples du siemens (mS ou μS). Pour les mesures de conductance, on utilisera du courant alternatif (500Hz) . Un conductimètre est constitué

- d'un G.B.F (générateur basse fréquence) en courant alternatif,
- d'un ampèremètre en courant alternatif A C
- d'un voltmètre en courant alternatif A C

Le tout est relié aux deux électrodes, 2 plaques de platine platinées rectangulaires plongées dans une solution aqueuse.

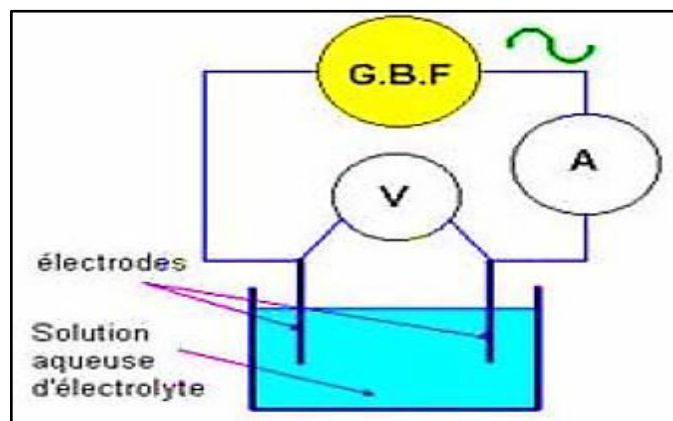


Figure 2.8 : conductimètre

On applique, par un générateur de basse fréquence (GBF), une tension alternative sinusoïdale (pour éviter le phénomène d'électrolyse). La loi d'ohm reste valable en régime alternatif en utilisant les valeurs efficaces de I et U mesurables avec un multimètre réglé sur alternatif (AC) ($U_{\text{eff}} = U_{\text{max}} / \sqrt{2}$). En maintenant une tension égale à 1,0 V, on accède directement à la valeur de G en " lisant " la valeur de l'intensité.[4]

9. Étude théorique de la conductivité d'un électrolyte :

Rappelons qu'un électrolyte est un milieu conducteur caractérisé par la présence de plusieurs types de porteurs de charges : les anions et les cations.

Conductivité molaire d'un ion :

Sous l'action d'un champ électrostatique. Un ion acquiert une vitesse limite.

- ✓ = $+\mu^+$ pour les cations
- ✓ = $-\mu^-$ pour les anions

(Voir annexe 1)

10. Applications [6]

Les principales applications de la mesure de la conductivité sont les suivants :

✓ **Pharmacie** : L'industrie pharmaceutique utilise de l'eau qui doit être conforme aux exigences USP (water conductivity<645>, United States Pharmacopeia). Le critère de conformité dépend de la conductivité et du pH.

✓ **Médecine** : La conductimétrie est très utilisée en Médecine dans les machines de dialyse pour la mesure de la conductivité de l'eau avant et après traitement et aussi après injection des concentrés pour maintenir la valeur du dialysat à une valeur constante .Le dialysat est un liquide de composition connue. Il est obtenu en ajoutant de l'eau ultra-pure et divers solutés (ex : bicarbonate, acide glucosé, Na Cl...) dans des proportions requises

✓ **Stations de déminéralisation totale** : L'eau dés-ionisée correspond dans les laboratoires d'analyse et dans de nombreux domaines de l'industrie à une donnée qui va de soi.

L'eau provient surtout d'installations de dés-ionisation, mais aussi d'inversion-osmose et de distillation. La conductivité doit être adaptée à l'utilisation envisagée. Diverses«

qualités d'eau de laboratoire » sont définies par exemple dans la norme DIN ISO 3696 (Eau pour laboratoire à usage analytique) ou dans la norme ASTM D 1193-99e1 (« Standard specification for reagent water »).

Les échangeurs d'ions n'ont qu'une capacité limitée. Si elle est dépassée, la barrière que représente l'échangeur est franchie d'abord par les ions de sodium ou les ions chlorure. La conductivité de l'eau augmente et accuse l'épuisement du matériau échangeur. Une surveillance constante évite l'utilisation d'une eau de qualité diminuée.

✓ **La notion de salinité :** est usuelle dans le domaine de l'analyse de l'eau de mer. Initialement la valeur de salinité en ‰ se rapportait aux International Océanographique Tables (IOT), dans lesquelles la conductivité est rapportée à une solution saline dont la composition correspond à la composition moyenne de l'eau de mer. Aujourd'hui la valeur de salinité est sans dimension

✓ **Mesure de la concentration :** Une mesure de conductivité ne donne aucune information sur la nature des substances dissoutes. La valeur peut être due à des ions quelconques. Pour les solutions de composition variable ou inconnue, la mesure de conductivité tient lieu de mesure de concentration. Il en va autrement pour les solutions de composition connue. Dans ce cas, la mesure de conductivité peut fournir une mesure très précise de la concentration. Un tableau ou une fonction de calibrage permettent de convertir directement la mesure de conductivité en une valeur de concentration. Dans certains domaines d'application, on affiche la concentration au lieu de la conductivité (par ex. pour doser avec précision des acides ou des bases). La relation entre conductivité et concentration des acides et bases est en grande partie non linéaire et ne peut donc être représentée avec la précision reproductible nécessaire qu'avec des appareils à microprocesseur.

✓ **Propriétés des liquides :** de nombreux liquides sont essentiels dans notre vie de tous les jours (l'eau, les boissons, les acides, les bases, les produits pharmaceutiques) la qualité de ces liquides est déterminée par leurs propriétés chimiques et physiques, pour évaluer cette propriété en utiliser plusieurs méthodes l'une d'eux est la mesure de la conductivité.

11. Conclusion

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau ou électrolytes à conduire un courant électrique. La conductivité varie en fonction de la température. Elle est reliée à la concentration et à la nature des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique et colloïdale, qui conduisent peu. Par conséquent, dans le cas des eaux usées fortement chargées en matière organique, la conductivité ne donnera pas forcément une idée immédiate de la charge du milieu. Dans les autres cas, elle permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation d'une eau et d'estimer le volume d'échantillon nécessaire pour certaines déterminations chimiques

La mesure des conductivités sert à plusieurs applications, parmi ces applications : la mesure de salinité par conductivité, comme la salinité est la masse de sels (Na Cl) (composés ioniques) dissous dans 1 L d'eau, donc on va mesurer la conductivité de Na Cl est en déduire par la suite la quantité de ce dernier. (Voir chapitre 3).

Chapitre 3
*Mesure de
la salinité*

1. Introduction

Depuis l'introduction des systèmes de monitoring de la salinité, plusieurs recherches ont été élaborées pour améliorer la précision des résultats, la méthode conductimétrique consiste à déduire la salinité à travers la mesure de conductivité, ainsi que d'autres méthodes citées dans ce chapitre (méthode par indice de réfraction ,masse volumique) Nous allons aborder les principales applications de mesure de la salinité

2. Historique

Dittmar a analysé 77 échantillons d'eau de mer prélevés par le Challenger pendant son tour du monde (1873-1876). Il en a déduit en 1884 une loi, dite loi de Dittmar :

Dans l'eau de mer, quelle que soit la salinité, à condition qu'elle ne soit pas trop faible, les proportions relatives des principaux constituants sont pratiquement constantes et le dosage de l'un d'eux donne la teneur des autres et aussi la salinité.

En 1903 Knudsen a mis au point une méthode chimique pour mesurer la salinité et la densité. La salinité (S) est, d'après la loi de Dittmar, proportionnelle à la chlorinité (Cl). Nous considérons actuellement que :

$$S = 1.806655 Cl \quad (3.1)$$

La chlorinité est déterminée en précipitant les halogènes par du nitrate d'argent. Le dosage se fait en valeur relative par rapport à une eau de référence. Cette eau, dite « eau standard », est préparée par le Laboratoire Hydrographique de Copenhague. Sa chlorinité est proche de 19,381 g/kg qui correspondent à une salinité de 35 g/kg.

Après avoir remarqué qu'à pression atmosphérique la conductivité de l'eau de mer variait avec la salinité et la température, en 1930 Frank Wenner conçoit les premiers salinomètres de laboratoire. Ils mesurent le rapport entre la conductivité de l'eau standard et de l'eau à analyser à une même température connue (15°C). Depuis, la mesure de la salinité S se fait toujours en calculant d'abord ce rapport de conductivité R_{15} . Dans le cas de mesures obtenues avec des capteurs de conductivité, une correction doit être apportée en fonction de la température t et, éventuellement, de la pression p. La

salinité S est donc une fonction du rapport de conductivité G (1), de la température t et de la pression p :

$$S = f(G, t, p) \quad (3.2)$$

La conductivité est l'inverse de la résistivité. La conductivité de l'eau de mer est :

$$C = 42.914 G \text{ (C est en milli-Siemens par cm)} \quad (3.3)$$

La conductance a pour unité le Siemens (S) qui remplace le Mho (ertèm rap ohM el uo) [11]

3. Définition de la salinité

C'est la masse de sels (composés ioniques) dissous dans 1 L d'eau c'est-à-dire leur teneur globale en sels. Elle s'exprime en g par kg d'eau, L'eau douce et l'eau salée contiennent de nombreux sels minéraux, présents en concentration différentes [12]

4. Mesure de la salinité

4.1 [Mesure directe de la salinité](#) :

La première méthode qui vient à l'esprit pour mesurer cette salinité, est de laisser évaporer un kg d'eau salée et de peser le résidu qui subsiste mais elle ne fonctionne pas car certains composés s'évaporent aussi au lieu de cristalliser.

Sachant que la proportion entre les éléments est constante, il suffit d'en mesurer un, par exemple le potassium, pour connaître la teneur de tous les autres composants. Cette méthode convient à l'eau de mer naturelle mais pas pour nos bacs dont la composition n'est pas uniforme par exemple certains ont trop de calcium, d'autres pas assez.

4.2 [Mesures indirectes de la salinité](#) :

Ne sachant pas mesurer directement la salinité nous sommes obligés d'utiliser un autre moyen : mesurer un paramètre qui dépend de la salinité, par exemple l'indice de réfraction, la conductivité, le volume, le poids, ... [13]

✓ **L'indice de réfraction** : Quand un rayon lumineux passe d'un milieu transparent à un autre, par exemple de l'air à l'eau, le faisceau est dévié. Cette déviation dépend de l'indice de réfraction des deux milieux traversés. L'indice de réfraction de l'eau dépend de la salinité. Ainsi en mesurant l'indice de réfraction de l'eau on peut en déduire sa salinité et c'est ce que fait un réfractomètre.[13]

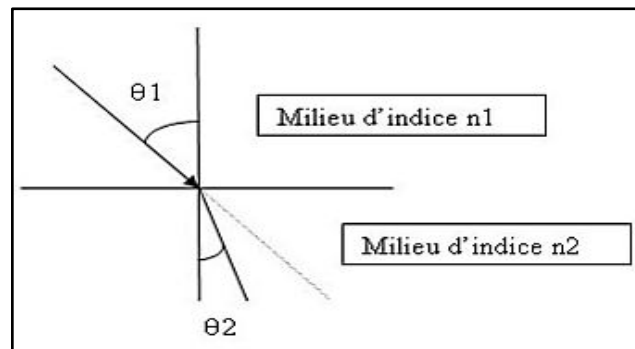


Figure 3.1: principe d'indice de réfraction

Le réfractomètre mesure efficacement la concentration de sel dans une solution. Le principe du réfractomètre est de mesurer l'indice de réfraction de la lumière lorsqu'elle entre en contact avec le liquide, plus ce dernier contient de sels (ou d'autres matériaux dissous), plus la lumière rencontrera de résistance et sera réfractée. On peut aussi utiliser un hydromètre. C'est une alternative moins onéreuse, mais également moins précise.[14][15]



Figure 3.2 : réfractomètre

Vous devez vous procurer un réfractomètre adapté au liquide que vous avez à tester. En effet, l'indice de réfraction varie d'un liquide à l'autre, même en l'absence de

sels (ou d'autres éléments), d'où l'importance d'utiliser le bon réfractomètre. Si l'emballage ne donne aucune précision, c'est vraisemblablement que le réfractomètre est conçu pour de l'eau salée.[13]

Certains réfractomètres mesurent le taux de chlorure de sodium dissous dans l'eau, tandis que d'autres modèles sont conçus pour l'eau de mer et les différents types de sels qu'elle contient. Si vous n'utilisez pas le bon modèle, vous risquez d'obtenir une mesure avec un taux d'erreur d'environ 5 %, ce qui n'est pas forcément très grave à moins que vous n'ayez besoin d'une précision extrême.

Certains réfractomètres peuvent compenser la température (qui influe sur la dilatation thermique de l'échantillon à mesurer).

Comment utiliser un réfractomètre :Le réfractomètre se présente sous la forme d'un petit tube avec un œillette à une extrémité, et une pointe biseautée (qui contient un prisme) à l'autre. Prenez l'appareil à la verticale, œillette vers le bas, et soulevez le cache du prisme.

Si vous utilisez votre réfractomètre pour la première fois, vous devez probablement l'étalonner avant de commencer à vous en servir.

Déposez une ou deux gouttes de l'eau à tester sur le prisme. Utilisez un compte-gouttes pour prélever un échantillon d'eau et le déposer sur le prisme après avoir soulevé le cache. Vous devez complètement recouvrir la surface du prisme (d'une couche d'eau fine, inutile de le submerger)

Refermez le cache sur le prisme avec délicatesse. Un réfractomètre comprend des pièces qui peuvent être fragiles, Regardez dans l'œillette pour obtenir l'indice de salinité. Vous devriez apercevoir au moins une échelle graduée. Une échelle de salinité se note le plus souvent en ‰, soit "pour mille", et est graduée de 0 à 50 ou 100. Vous pourrez voir une zone blanche et une zone bleue , votre mesure est le nombre au niveau duquel les deux zones se rencontrent.

Lorsque vous avez terminé, ouvrez le cache à nouveau et essuyez le prisme avec un chiffon doux et humide. Il ne doit pas subsister de gouttelettes. Vous pouvez endommager votre appareil si vous l'immergez complètement ou si vous n'essuyez pas correctement le prisme.

Le réfractomètre doit être calibré régulièrement. Entre deux utilisations, calibrez votre appareil avec de l'eau distillée. Il vous suffit de mettre quelques gouttes de solution sur le prisme comme d'habitude, mais le résultat obtenu doit être "0". Si ce n'est pas le cas, vous devez tourner la vis de calibrage (qui est protégée par un petit capuchon) avec un tournevis jusqu'à ce que l'indicateur soit sur "0".

Certains réfractomètres doivent être calibrés avec un échantillon d'eau à une température précise. Si vous n'avez pas d'instruction spécifique à ce sujet, utilisez de l'eau à température ambiante.[14]

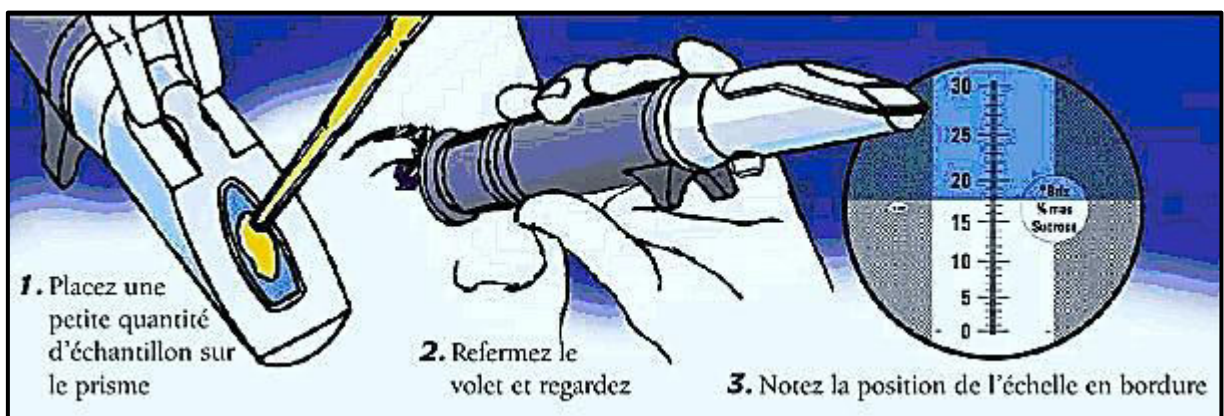


Figure 3.3 : méthode d'utilisation d'un réfractomètre

✓ **La conductivité :** Si on plonge 2 électrodes dans l'eau et qu'on y applique une tension électrique, un courant va circuler entre ces électrodes ; ce courant dépend de :

- la tension appliquée
- la distance entre les électrodes
- la température
- la salinité de l'eau

Le rapport entre le courant et la tension pour une distance donnée s'appelle la conductivité ; par exemple si on applique une tension de 1 volt à 2 électrodes écartées de 1 mètre et qu'il circule un courant de 1 ampère on dira que la conductivité est de un ampère par volt par mètre ou encore un Siemens par mètre [S/m]. Ainsi en mesurant la conductivité de l'eau on peut en déduire sa salinité et c'est ce que fait un conductimètre

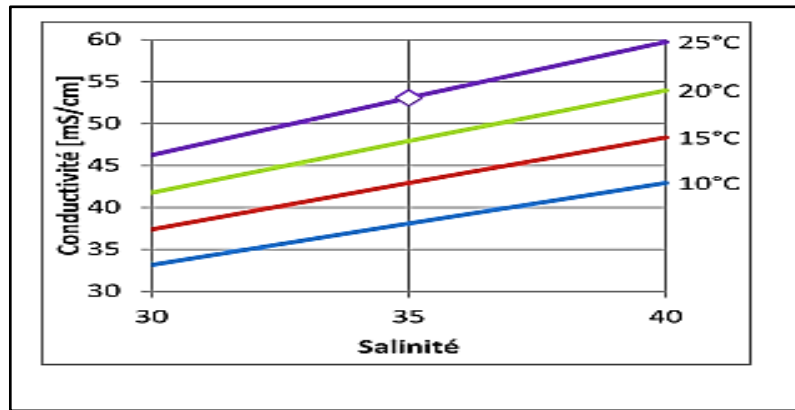


Figure 3.4 : relation entre la salinité et la conductivité

Cette méthode peut être utilisée pour mesurer la salinité d'une solution ou d'un matériau. On utilise pour cela un conductimètre électronique – il s'agit d'ailleurs du seul appareil qui permette de tester la salinité d'un sol. Il n'est pas forcément judicieux d'opter pour cette méthode si vous êtes un aquariophile du fait qu'un conductimètre de bonne facture peut être bien plus cher qu'un réfractomètre ou un densimètre. Certains aquariophiles combinent toutefois conductimètre et réfractomètre ou densimètre pour être sûrs de la fiabilité de leurs mesures.

- ✓ **La masse volumique :(densité)** Une autre méthode consiste à peser un litre d'eau salée. Le poids d'un litre d'eau s'appelle «masse volumique » Elle s'exprime en kg par litre ou en grammes par litre [g/l]. Une difficulté pour faire cette mesure est que le poids d'un litre d'eau dépend de sa température : à la température de 3,98°C un litre d'eau pèse un kg mais à 25°C il ne pèse plus que 997 grammes et ces 3 grammes font toute la différence !

La figure ci-dessous montre la masse volumique de l'eau de mer en fonction de sa salinité pour différentes températures.[13]

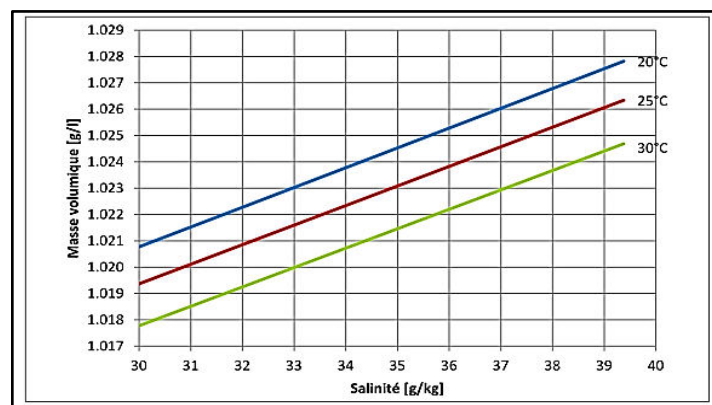


Figure 3.5 : salinité en fonction de la masse volumique

Un densimètre (voir annexe2), ou aréomètre (annexe 3), est un appareil peu onéreux qui vous donnera des mesures assez précises. Le principe du densimètre est de mesurer la densité de l'eau, ou sa densité par rapport à celle de l'eau pure (H_2O). Presque tous les sels ont une densité supérieure à celle de l'eau, ce qui fait qu'un densimètre peut indiquer la concentration de sels présente dans un échantillon. Cette méthode offre une précision suffisante pour la plupart des situations, comme mesurer la salinité d'une eau d'aquarium. Notez toutefois qu'il arrive souvent qu'un densimètre ne soit pas très fiable, et qu'il n'est pas toujours facile de s'en servir correctement.

Vous ne pouvez pas vous servir d'un densimètre pour tester des matériaux solides. Si vous souhaitez tester la salinité d'un sol, utilisez la méthode de la conductivité

Il existe plusieurs types de densimètre. Les plus fiables, en général, sont les modèles en verre que l'on met à flotter à la surface du liquide que l'on souhaite tester. Malheureusement, leur niveau de précision (nombre de décimales) est souvent limité. Les densimètres à aiguille sont faits de plastique et sont plus résistants. Ils sont également moins chers que les modèles en verre, mais ils ont tendance à perdre en précision au fil du temps. [14]

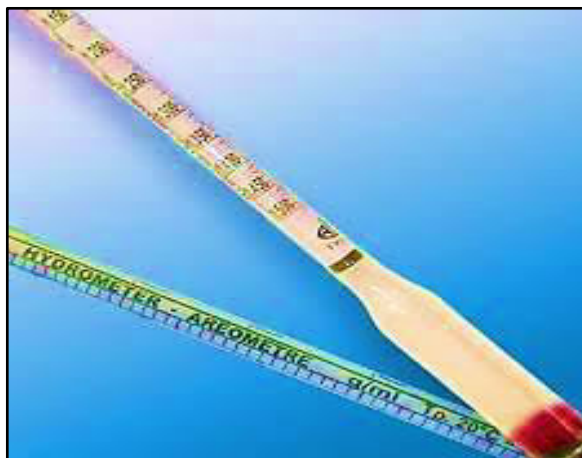


Figure 3.6 : densimètre

Choisissez un modèle qui indique pour quelle température d'eau il est calibré, car cette dernière influe sur la masse volumique des corps et liquides. Il s'agit d'un élément important à prendre en compte lorsque vous mesurez la salinité de l'eau. La température doit être clairement indiquée sur l'emballage ou sur le densimètre lui-même. Les deux

températures de calibrage les plus courantes sont 15.5 °C et 25 °C pour les densimètres destinés à mesurer la salinité de l'eau de mer.

Prélevez un échantillon d'eau et placez-le dans un bocal propre et transparent, assez grand et profond pour que vous puissiez y placer le densimètre (il doit pouvoir être submergé presque complètement). Assurez-vous au préalable que le bocal a été correctement nettoyé et qu'il ne contient pas de poussières, de traces de savon ou d'autres résidus.

Prenez tout d'abord la température de votre échantillon avec un thermomètre. Vous pourrez connaître la teneur en sels de votre solution du moment que vous connaissez sa température et la température pour laquelle votre hydromètre est calibré. Si vous désirez obtenir le résultat le plus précis possible, vous pouvez chauffer la solution ou la faire refroidir afin qu'elle atteigne la température exacte pour laquelle votre densimètre est calibré. Attention toutefois à ne pas trop la faire chauffer. En effet, cela peut modifier considérablement la densité de votre échantillon.[14]

5. Unité

La salinité est sans unité (comme le pH) , mais elle est encore souvent en gramme de sel par kilogramme d'eau (g/ kg) , en gramme de sel par litre d'eau (g/L) , en pour mille ou encore en unité pratique de salinité (practicalsalinity unit psu)[16]

6. Applications

- ✓ La teneur en sel dans l'eau d'irrigation : L'excès de teneur en sel est l'un des soucis principaux avec l'eau utilisée pour l'irrigation. Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines.
- ✓ Les océans : La salinité est un des paramètres très importants , elle permet d'identifier une masse d'eau particulière et avec la pression ils permettent de déterminer sa masse volumique ou sa densité Elle est un paramètre fondamental pour l'étude dynamique des océans

Nous pensons que chacun comprend l'intérêt de connaître la salinité d'un aquarium marin. En revanche, il faut décrire pourquoi une mesure la plus précise possible amène à un meilleur contrôle des paramètres globaux.

Il suffit déjà de considérer (ou d'établir comme règle et préambule) que tout organisme peut exister dans une gamme de salinités assez étendue, mais qui lui est propre. Restrictivement, seule une faible plage des valeurs de salinités convient complètement à la prospérité réelle de ces organismes. Lorsque cette gamme de valeurs est connue, il suffit alors de conserver ces organismes à l'intérieur de cet intervalle pour les voir prospérer

7. Conclusion

la salinité, est une qualité appréciée par les chercheurs d'océanographie en particulier, cette mesure va passer par plusieurs étapes jusqu'à l'obtention d'une valeur bien précise afficher devant notre écran. La mesure de cette qualité dépend principalement de la quantité de NaCl dans le liquide a utilisé, l'eau salée contiennent de nombreux sels minéraux, présents en concentration différentes ; mais le plus souvent mesuré est le Na Cl car il est le toujours présent.

Chapitre 4

Etude théorique du dispositif conductimétrique

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons le principe que nous avons adopté pour la mesure de la salinité par une méthode conductimétrique . Nous décrirons par la suite les différents blocs qui constituent notre conductimètre pour obtenir une valeur finale proportionnelle à la salinité

2. Schéma synoptique

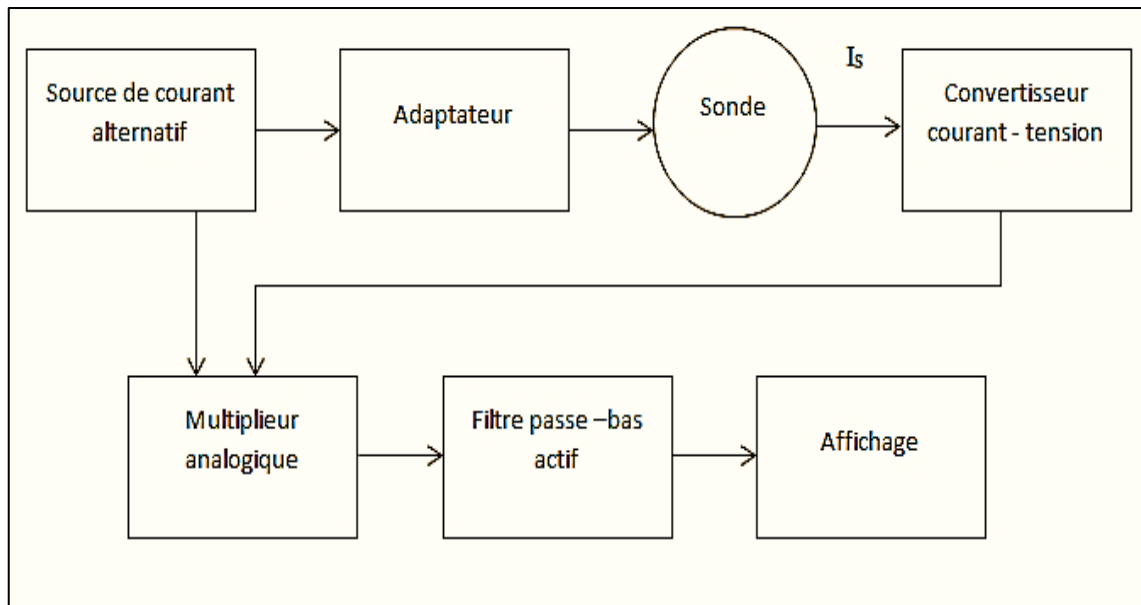


Figure 4.1 : Schéma synoptique d'un conductimètre

3. Principe de mesure

Le principe de mesure de salinité s'impose à élaborer un signal sinusoïdal par le XR2206 d'une amplitude de 2v et une fréquence de 1 KHz qui sera appliqué aux sondes (surface de 1 cm² utilisées pour nôtre mesure. Le courant I_S récupéré à la sortie des sondes sera convertie en une tension E_M (pour faciliter la tâche d'affichage) via un montage inverseur (utilisation d'une résistance R_M) .

$$I_S = E_S \times G \quad \text{et} \quad E_M = R_M \times I_S \quad (4.1)$$

Nous obtenons donc :

$$E_M = R_M \times E_S \times G \quad (4.2)$$

Sachant que

$$G = \sigma \times S / L \quad \text{et} \quad \sigma = \frac{G}{S/L} \quad (4.3)$$

La tension E_M sera proportionnelle à la conductivité σ :

$$E_M = K \times \sigma \quad \text{et} \quad K = E_M / \sigma = \frac{R_M \times E_S \times G}{\sigma} \quad (4.4)$$

$$\text{Avec} \quad K = \frac{R_M \times E_S \times G}{G} \times S / L = R_M \times E_S \times S / L \quad (4.5)$$

Avec :

- K la constante de la cellule
- S la surface de la cellule , L la distance entre les deux cellules
- G la conductance , σ la conductivité
- I_S le courant à la sortie des sondes
- R_M la résistance R2 du convertisseur courant – tension

Par la suite, à l'aide de l'AD633 (annexe 5) la tension va être multiplié à celle générer par l'oscillateur pour obtenir les variations de la tension.

Ainsi la tension à la sortie du multiplieur sera filtrée par un filtre passe bas du premier ordre pour éliminer la composante continue

4. Source de courant alternatif

4.1 Définitions :

Un courant est alternatif s'il change de sens au cours du temps t ; en outre, il est périodique si son intensité i reprend la même valeur à des intervalles de temps égaux à T .

On a alors :

$$i = f(t) = f(t + n.T) \quad (4.6)$$

n est un nombre entier. T est la période et son inverse f est la fréquence :

$$f = 1/T \quad (4.7)$$

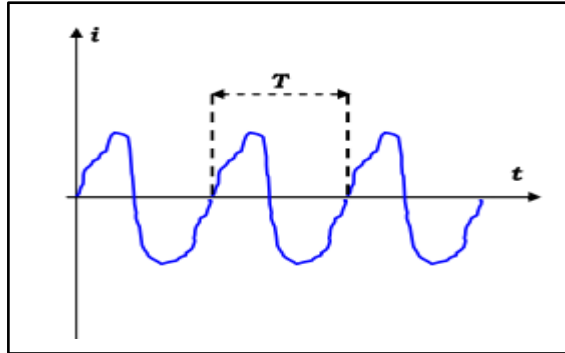


Figure 4.2 : Courant périodique

Les courants sinusoïdaux :Un courant alternatif est sinusoïdal, lorsque son intensité est une fonction sinusoïdale du temps :

$$i = I_M \sin(\omega.t + \varphi) \quad \text{ou} \quad i = I_M \cos(\omega.t + \varphi) \quad (4.8)$$

i est la valeur instantanée du courant

I_M sa valeur maximale ou amplitude

ω La pulsation ou fréquence angulaire et φ la phase :

$$\omega = 2.\pi.f = 2.\pi/T \quad (4.9)$$

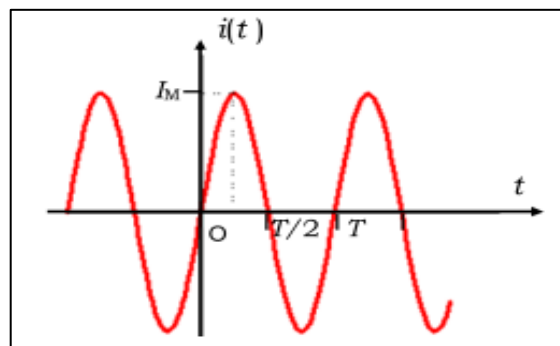


Figure 4.3 : Courant sinusoïdal alternatif

Selon l'application à laquelle ils sont destinés, les courants sinusoïdaux peuvent être produits de plusieurs manières, on utilise des générateurs (XR 2206) dont le principe, décrit ci-dessous, [17]

Le XR2206 se présente sous la forme d'un circuit intégré dual-in-line 16 broches dont une description sommaire est faite dans l'annexe (plus de détails dans l'annexe4)

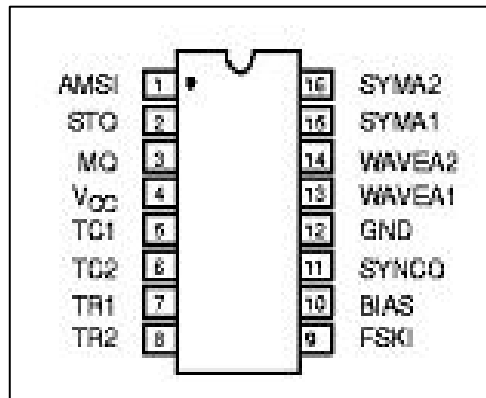


Figure 4.4 : Brochage de l'XR2206

L'usage d'une tension variable s'impose donc, et la plus classique d'entre elle, la tension sinusoïdale, est universellement retenue. À une tension assez faible pour qu'il n'y ait pas électrolyse, on considère que le passage du courant est de nature purement ohmique. Durant une demi-période, une électrode repousse les cations et attire les anions ; il se produit l'inverse lors de la demi-période suivante. Il y a donc déplacements de charges au sein de l'électrolyte [10]

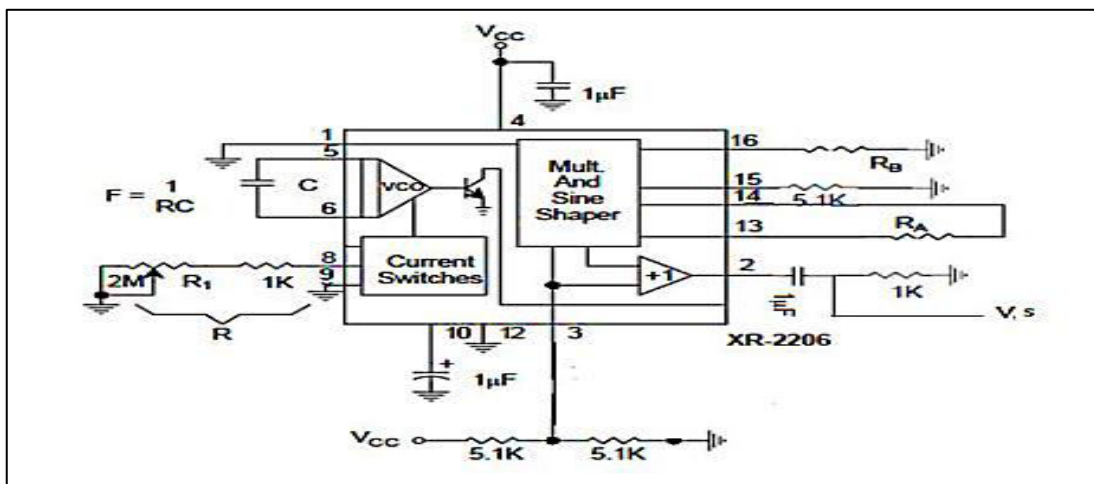


Figure 4.5 : Montage oscillateur sinusoïdal

$V_s = 2 \text{ V}$, $f = 1 \text{ KHz}$, $C = 10 \text{ nf}$, $R = 100 \text{ K } \Omega$, $f = 1/RC = 1 \text{ KHz}$ $V_{cc} = 12 \text{ V}$

5. Adaptateur d'impédances :

L'adaptateur d'impédances est un suiveur en tension. On considère le schéma de l'amplificateur non inverseur indiqué à la figure 4.6

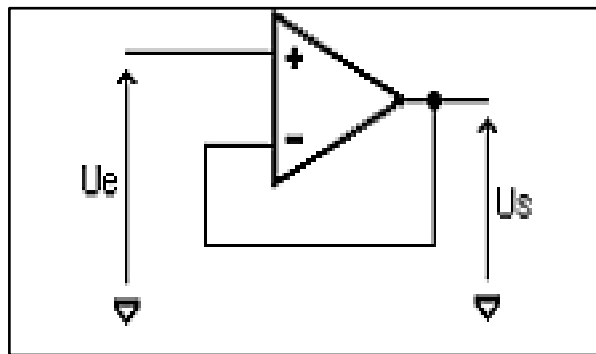


Figure 4.6 : Montage suiveur de tension

Le gain est de :

$$A = \frac{V_S}{V_E} = 1 \quad (4.10)$$

Il y a donc un transfert de toute tension d'entrée vers la sortie, c'est pourquoi on appelle ce circuit « suiveur en tension ». La résistance d'entrée qui présente ce dispositif est donnée par

$$R_E = \frac{V_E}{i_E} \quad (4.11)$$

Le courant d'entrée est pratiquement nul, ce qui rend la résistance d'entrée infinie. Par contre la résistance de sortie du circuit est nulle ainsi toute variation de la charge connectée en sortie du circuit ne va pas influencer sur l'amplitude du signal V_E qu'on veut transférer à cette charge. Ce circuit joue le rôle d'un adaptateur d'impédance, d'où le second nom qui lui est attribué [18]

6. Les sondes

C'est un ensemble de deux plaques (dans notre cas c'est de l'inox) qui trempe dans une solution ionique. S est leur surface immergée dans la solution, l est la distance entre les deux plaques

$$G = 1/R = \sigma/K \quad (4.12)$$

$$K = l/S \quad (4.13)$$

K est appelé constante de la cellule et a pour unité le m⁻¹

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (4.14)$$

On applique, par le générateur XR2206, une tension alternative sinusoïdale (pour éviter le phénomène de corrosion). La loi d'ohm reste valable en régime alternatif en utilisant les valeurs efficaces de I et U mesurables avec un multimètre réglé sur l'alternatif (AC)[4]

$$U_{\text{eff}} = U_{\text{max}} / \sqrt{2} \quad (4.15)$$

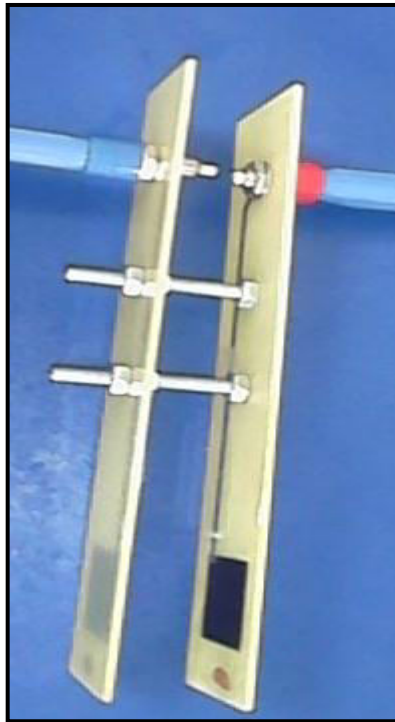


Figure 4.7 : sondes d'inox

✓ **Caractéristiques de l'inox** : on a opté pour l'inox pour :

Résistance à la corrosion : avec une teneur en chrome d'au moins 10,5%, l'acier inoxydable est protégé en permanence par une couche de passivation d'oxyde de chrome qui se forme naturellement sur la surface grâce à l'association de chrome et de l'humidité dans l'air. Si la surface est altérée, la couche passive se régénère elle-même. Cette particularité confère aux aciers inoxydables leur résistance à la corrosion [19]

A savoir :

- ✓ résistance à la corrosion dans des environnements hautement corrosifs
- ✓ résistance à l'oxydation et au fluage à des températures élevées
- ✓ résistance et ductilité à basse température,
- ✓ de bonnes propriétés mécaniques
- ✓ facilité de transformation (emboutissage, pliage, hydroformage, soudage, brasage, etc.)

7. Le convertisseur courant –tension

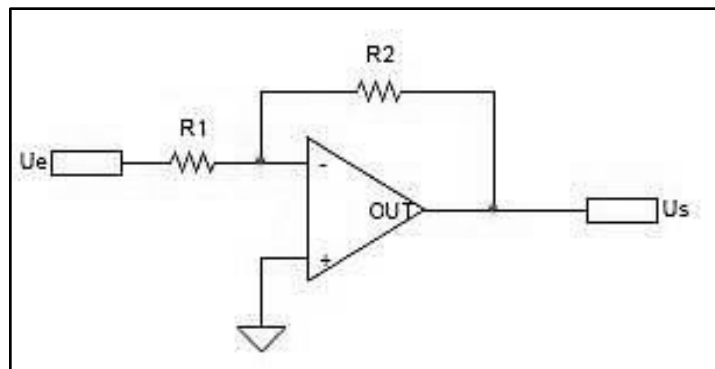


Figure 4.8 : Montage convertisseur courant - tension

Comme son nom l'indique, il s'agit d'un montage qui amplifie le signal fournit en entrée et inverse sa phase ce qui se traduit par l'inversion du signal. Le gain de ce montage est définie par la relation suivante :[20]

$$-R_2 \times I \quad (4.16)$$

Il s'agit d'un montage inverseur, d'où la présence du signe "moins"

8. Multiplieur analogique

On appelle multiplieur analogique un composant à deux entrées (V_X et V_Y) et une sortie W tel que : (en absence de défaut)

$$W = k \cdot V_X(t) \cdot V_Y(t) \quad (4.17)$$

Avec V_X et V_Y sont alors les différences de potentiel entre les bornes du composant

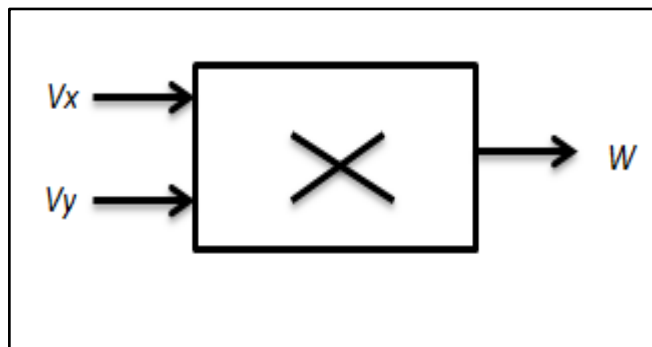


Figure 4.9 : Principe d'un multiplieur

Le multiplieur utilisé dans notre circuit est l'AD633 dont le schéma fonctionnel est le suivant

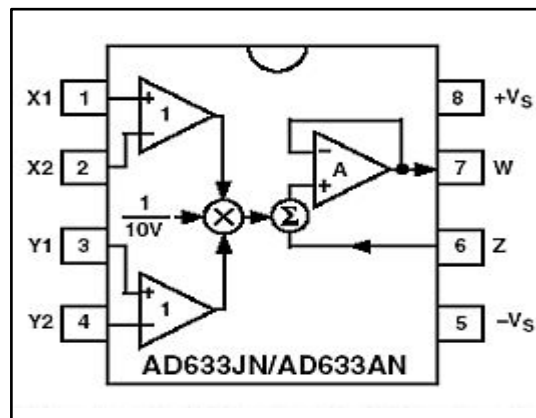


Figure 4.10 : Schéma de l'AD633

Le multiplieur est un composante actif, il faut lui appliquer les tensions d'alimentations $+V_S$ et $-V_S$ avant d'appliquer par les signaux (les tensions d'alimentation ne sont pas flottantes, il est nécessaires de tenir compte de la masse pour elles) (le rôle de chacune des huit pattes est indiqué dans l'annexe5)

K (équation 4.17) est un coefficient homogène à l'inverse d'une tension, l'ordre de la grandeur usuel est $k = 0.1 \text{ V}^{-1}$ (c'est le cas de l'AD633) [21]

L'AD633 est bien adapté pour des applications telles que la modulation et la démodulation, le contrôle automatique de gain, la mesure de puissance, doubleurs commandés en tension des amplificateurs, et de fréquence [data sheet]

Le rôle pratique de ce multiplieur est de mettre le signal de générateur et le signal récupérer à la sortie de convertisseur courant tension en phase et ajuster l'amplitude.

9. Filtre passe-bas actif

Le filtrage a pour but de séparer ou de trier des signaux (en général électriques dans le cas des télécommunications) en fonction de leurs fréquences. Les filtres actifs comme dans notre cas sont surtout utilisés dans le domaine des basses fréquences. Ils sont réalisés presque exclusivement à l'aide de transistors, de circuits intégrés, de condensateurs et de résistances [22]

L'efficacité d'un filtre dépend de la qualité de l'atténuation des fréquences indésirables, cette qualité est définie par l'ordre du filtre, il faut signaler que l'atténuation des fréquences indésirables s'effectue avec une pente de 20dB par décade pour un filtre du premier ordre [18]

Caractéristiques d'un filtre : Les principales caractéristiques d'un filtre actif sont :

- sa ou ses fréquence(s) de coupure,
- sa bande passante (filtres passe-bande et coupe-bande),
- son coefficient d'amplification en tension maximal.

Elles ne dépendent, en première approximation, que des composants passifs utilisés.[23]

- ✓ **Définition d'un filtre actif passe – bas :** le filtre passe bas est un dispositif qui démontre une réponse en fréquence relativement constante (gain fixe) aux basses fréquences et un gain décroissant aux fréquences supérieures à la fréquence de coupure. La décroissance plus ou moins rapide dépend de l'ordre du filtre
- ✓ Idéalement, le filtre passe bas passif aurait un gain (ou fixe) aux basses fréquences et un gain nul aux fréquences supérieures à la fréquence de coupure « f_c » [24]

Un filtre actif à un gain > 1 .

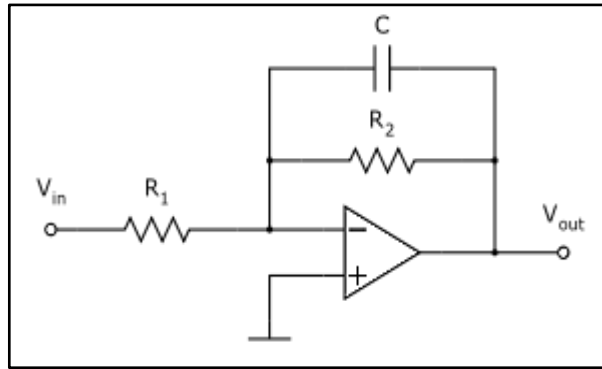


Figure 4.11 : Schéma principe d'un filtre actif passe bas du premier ordre

$$V_{in} = R_1 \times i$$

$$V_{out} = -Z \times i \quad (4.18)$$

Avec :

$$Z = \frac{1}{1+j R_2 C \omega} \quad (4.19)$$

Un filtre passe bas du premier ordre est défini par la fonction de transfert suivante :

$$FT(f) = \frac{1}{j\left(\frac{f}{f_c}\right)+1} \quad (4.20)$$

Donc :

$$FT(f) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{jR_2C \omega+1}$$

Avec :

$$\omega C = \frac{1}{R_2 C} \quad (4.21)$$

La fréquence de coupure correspond à :

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C} \quad (4.22)$$

Le gain statique ($f \ll f_c$) est : (inverseur)

$$K = -R_2/R_1 \quad (4.23)$$

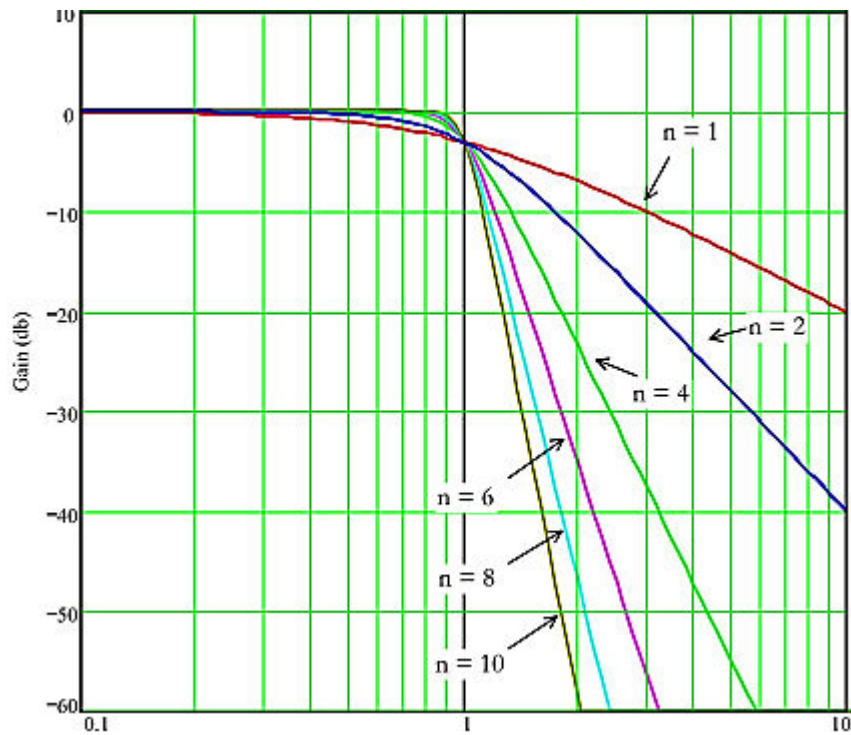


Figure 4.12 : Réponse d'un filtre passe bas en fonction de son ordre

Remarque : [23]

- Une pente de -20 dB/ décade équivaut à une pente de -6 dB/ octave ou un octave correspond à doubler la fréquence
- Un gain de 0 dB correspond à un gain de 1 (unitaire) (normalisé)
- Un gain supérieur à 0 dB correspond à un gain linéaire > 1 (amplification)
- Un gain inférieur à 0 dB correspond à un gain linéaire < 1 (atténuation)

Plus la pente est raide plus on tend vers un filtre parfait . (> 20 dB ; 40 dB ; 60 dB ;.....)

10. Alimentation symétrique stabilisé:

Cette réalisation convient pour alimenter tout montage analogique (domaine audio ou mesure) nécessitant une alimentation symétrique, c'est à dire une alimentation double, avec une sortie positive et une sortie négative.

L'étage de régulation : contient le régulateur de tension 78XX, qui assure de gardé la tension de sortie constante quelques soit le courant demandé. Les constructeurs de composants électroniques proposent des régulateurs intégrés à trois bornes, très répandus, tels que la série 78XX positives et la 79XX négatives. Ces régulateurs sont faciles à utiliser et avec un prix dérisoire. En effet, les trois bornes sont : une pour la tension non régulée d'entrée, une pour la tension régulée de sortie et une pour la masse. Le schéma de principe est représenté sur la figure (4.13) et (4.14) [25]

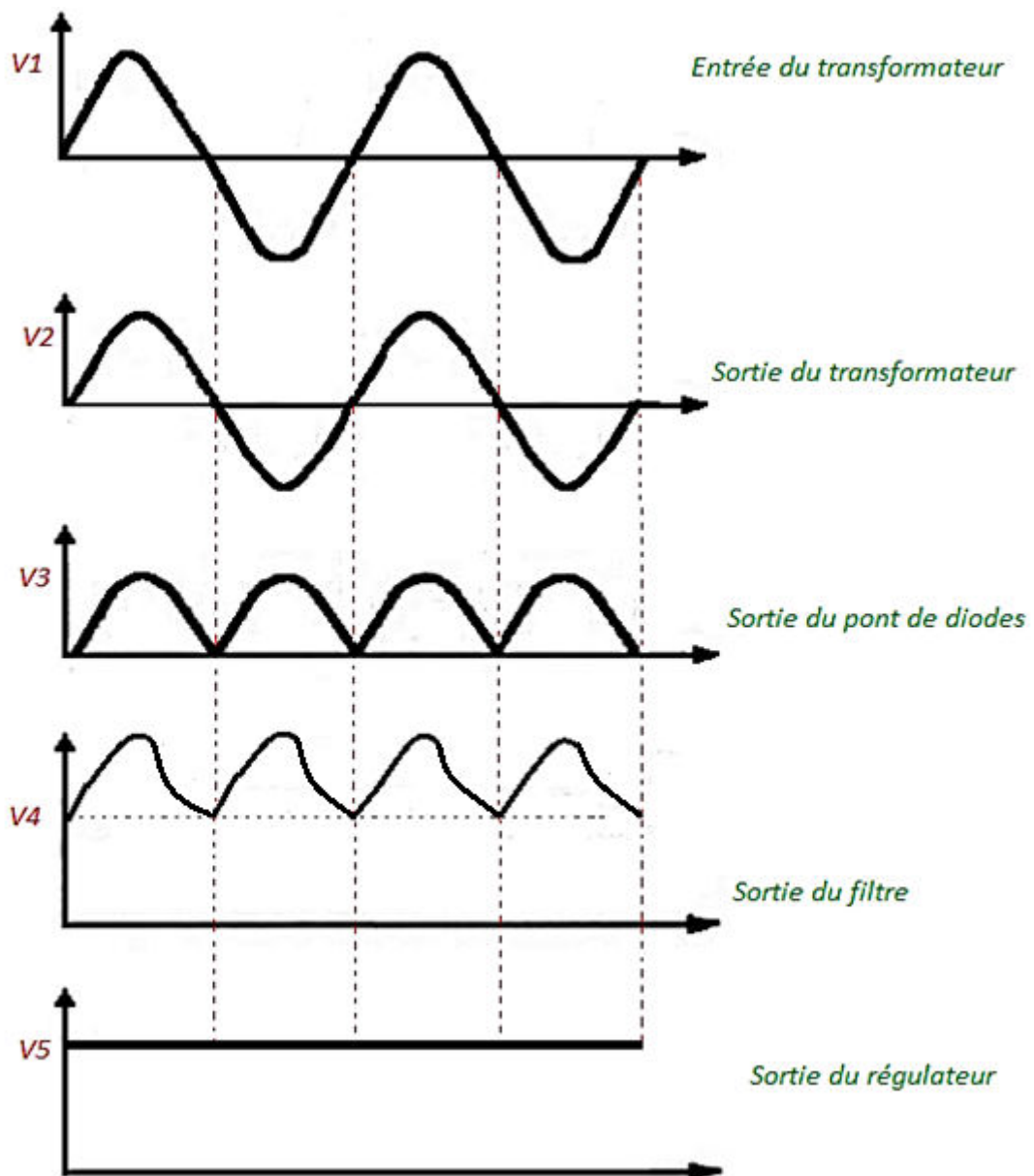


Figure 4.14 : chronogramme de l'alimentation

Brochage: Il faut faire très attention, le brochage des régulateurs négatifs n'est pas le même que le brochage des régulateurs positifs ! Voici ci-dessous le brochage des régulateurs fixes les plus communs LM7812 / LM7912

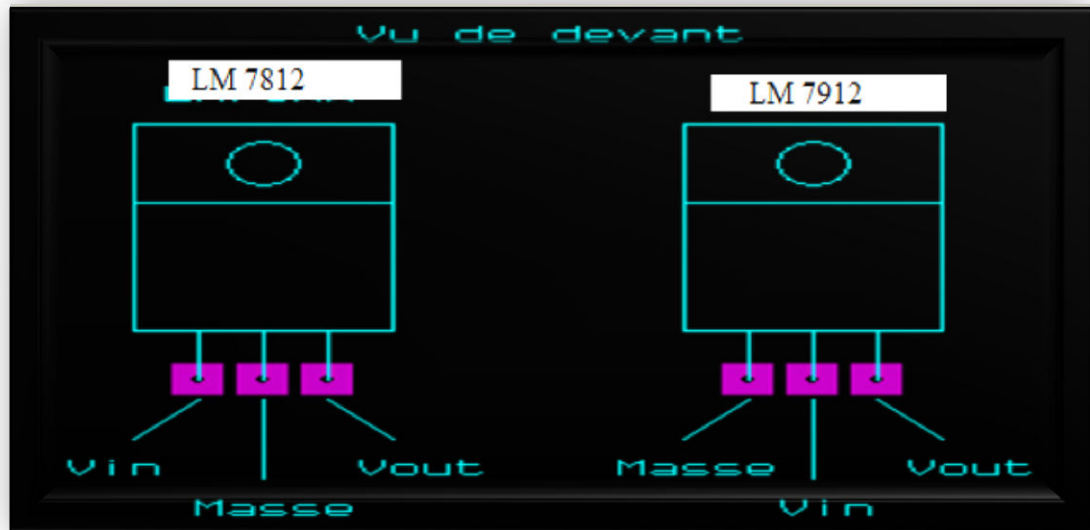


Figure 4.15 : Brochage des régulateurs LM7812/LM7912

11. Affichage

Le circuit se compose uniquement d'une carte Arduino Mega 2560 est une carte à microcontrôleur basée sur un ATmega2560 (voir annex7).

Cette carte dispose :

- de 54 broches numériques d'entrées/sorties dont 14 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée),
- de 16 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques),
- de 4 UART (port série matériel),
- d'un quartz 16Mhz,
- d'une connexion USB,
- d'un connecteur d'alimentation jack,
- d'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"),
- et d'un bouton de réinitialisation (reset).

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur; Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB).

La carte Arduino Mega 2560 est compatible avec les circuits imprimés prévus pour les cartes Arduino Uno, Duemilanove ou Diecimila.

Cette carte va afficher le résultat sur un afficheur LCD (voir annexe 8) qui est connecté avec elle à l'aide de programme dans la page suivante

Organigramme

- Déclaration de libray de l'afficheur LCD
- Déclaration des variables
- Déclaration des connexions entre l'afficheur et la carte Arduino
- Déclaration de pin mode comme une entrée
- Déclaration du type de l'afficheur LCD
- Lire la valeur à pine à 0
- Convertir la valeur numérique en (mV)
- Diviser la valeur en (mV) par la sensibilité(40)
- Afficher le mot conductivity sur la 1^{er} ligne, la valeur et l'unité en (mS) ou (μ S) sur la 2^{ème} ligne

```
#include<LiquidCrystal.h>

int d=9;

const int inPin = 0;

int V;

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup() {

  pinMode(d,INPUT);

  lcd.begin(16,2);

}

void loop() {

  int value = analogRead(inPin);

  float millivolts = (value / 1024.0) * 5000;

  float conduct = millivolts / 40;

  lcd.setCursor(0,0);

  lcd.print("Conductivity:");

  lcd.setCursor(0,1);

  lcd.print(conduct);

  V=digitalRead(d);

  if (V==1)

    {

      lcd.print("mS/cm");

    }

  else

    {

      lcd.print("uS/cm");

    }

}
```


12. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présente le schéma synoptique de nôtre dispositif (le conductimètre) avec une explication théorique de la fonction et de caractéristiques propres de chaque bloc fonctionnel de la chaine de mesure adoptée .

Le chapitre suivant consistera en une étude pratique de nôtre conductimètre avec présentation des mesures et des résultats pratiques obtenus suite à une expérimentation effectuée au laboratoire des projets de fin d'études

Chapitre 5

Etude pratique du dispositif conductimétrique

1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la réalisation pratique des différents blocs constituant notre dispositif conductimétrique

2. Source sinusoïdale :

Le circuit intégré XR2206 sera utilisé pour mise au point de l'oscillateur pour produire un signal sinusoïdal. L'amplitude du signal de sortie 2v (crête à crête) et sa fréquence 1 KHz, C =10 nf, R = 100KΩ .

Avec :
$$f = \frac{1}{RC} = 1KHz \quad (5.1)$$

La fréquence du signal de sortie dépend de la valeur du condensateur "C" relié entre les bornes 5 et 6 du circuit XR2206, et de la valeur de la résistance "R" câblée entre la borne 7 (ou 8) et la masse (voir figure 5.1)

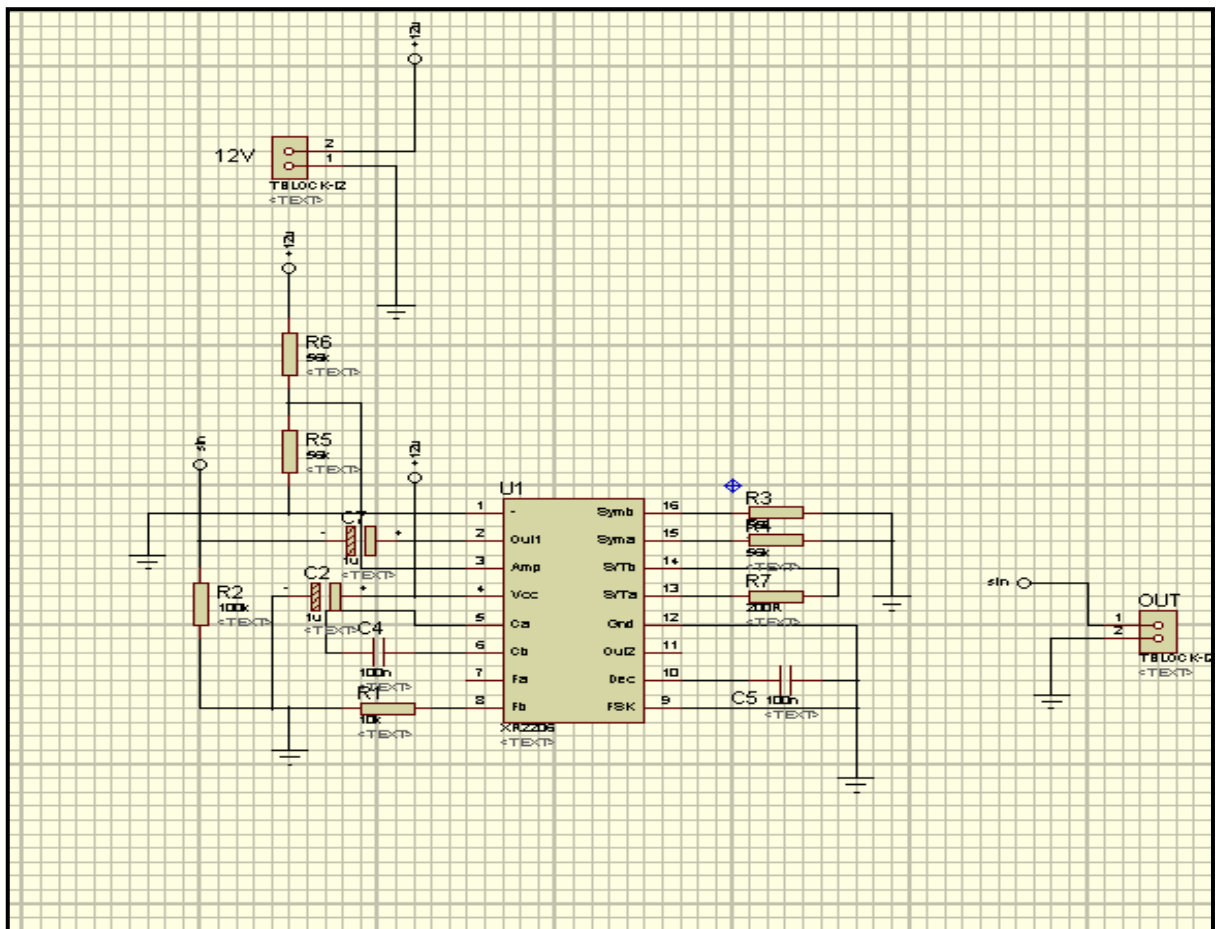


Figure 5.1 : schéma de générateur sinusoïdal par ISIS

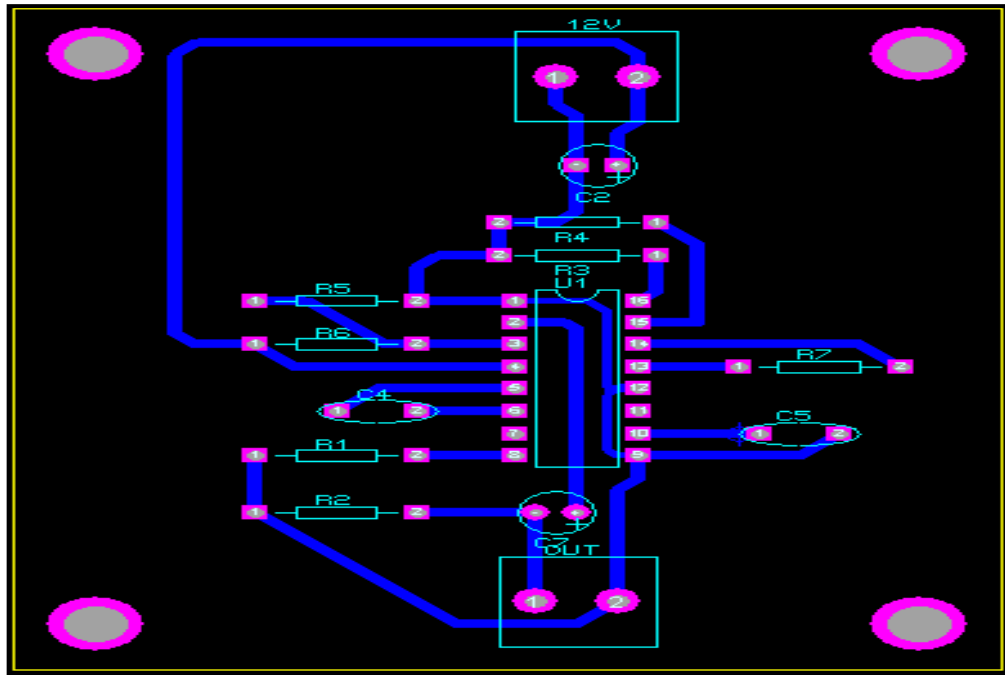


Figure 5.2 : circuit imprimé du générateur sinusoïdal

La figure 5.3 présente une photo réelle de notre réalisation du générateur du signal sinusoïdal , le schéma du circuit imprimé de cette partie est représenté dans la figure 5.2

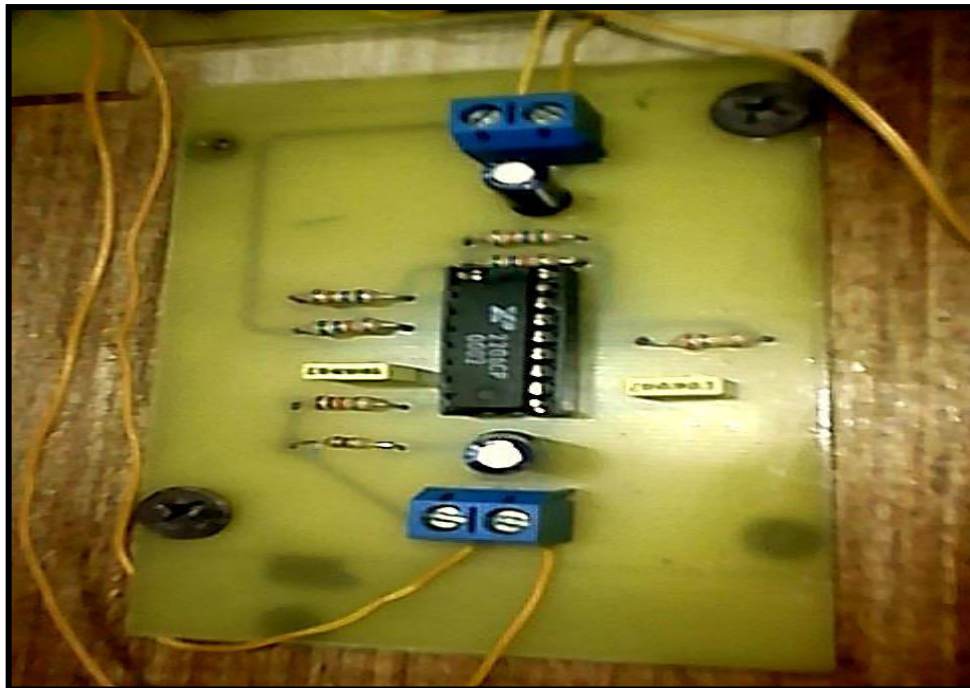


Figure 5.3 : photo du générateur réalisé

La figure ci-dessous montre le signal de sortie au niveau de l'XR2206

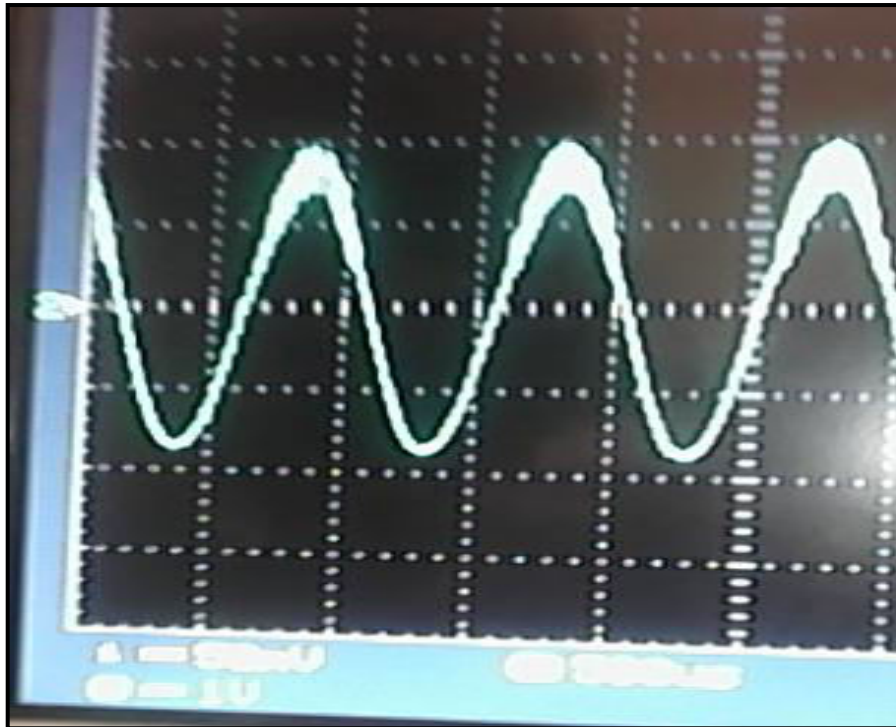


Figure 5.4 : signal sinusoïdal de sortie de générateur XR2206

3. Chaîne de mesure

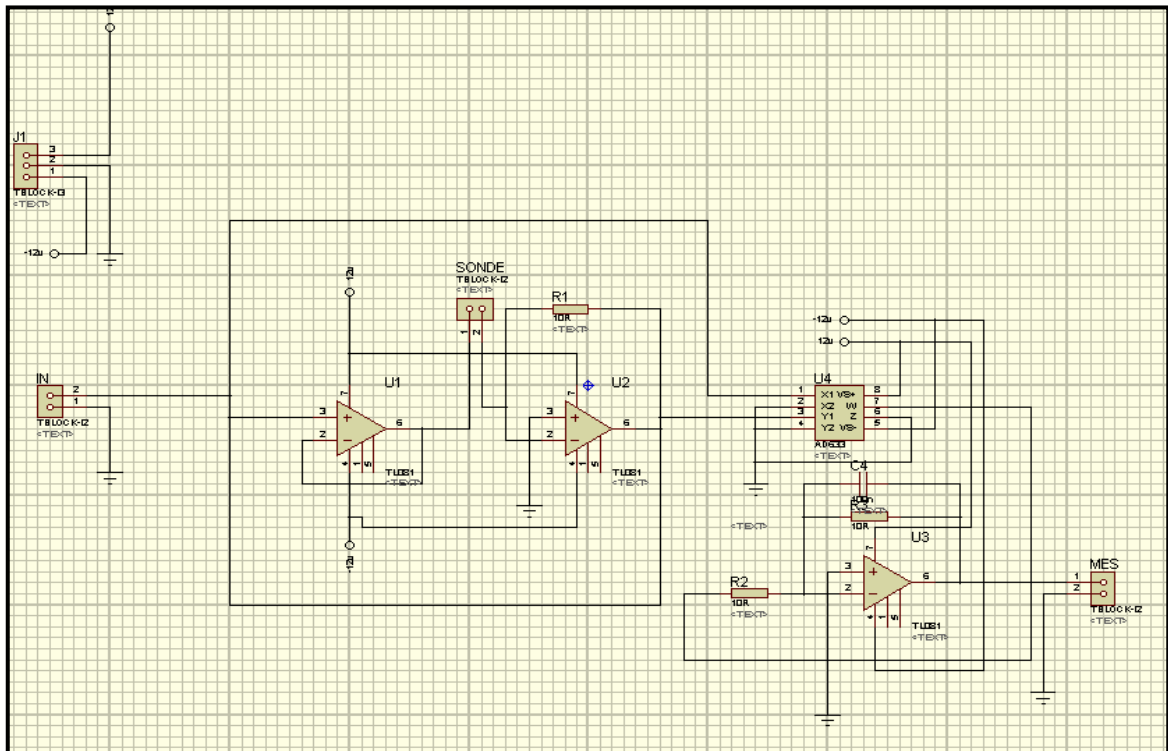


Figure 5.5 : chaîne de mesure par ISIS

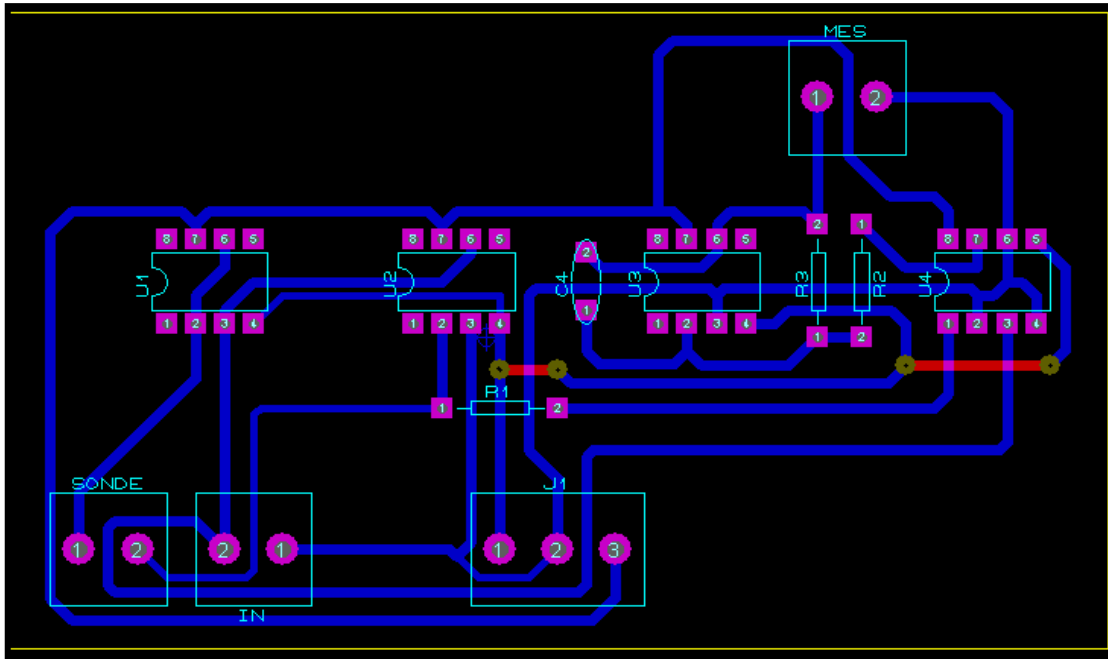


Figure 5.6 : circuit imprimé du chaîne de mesure

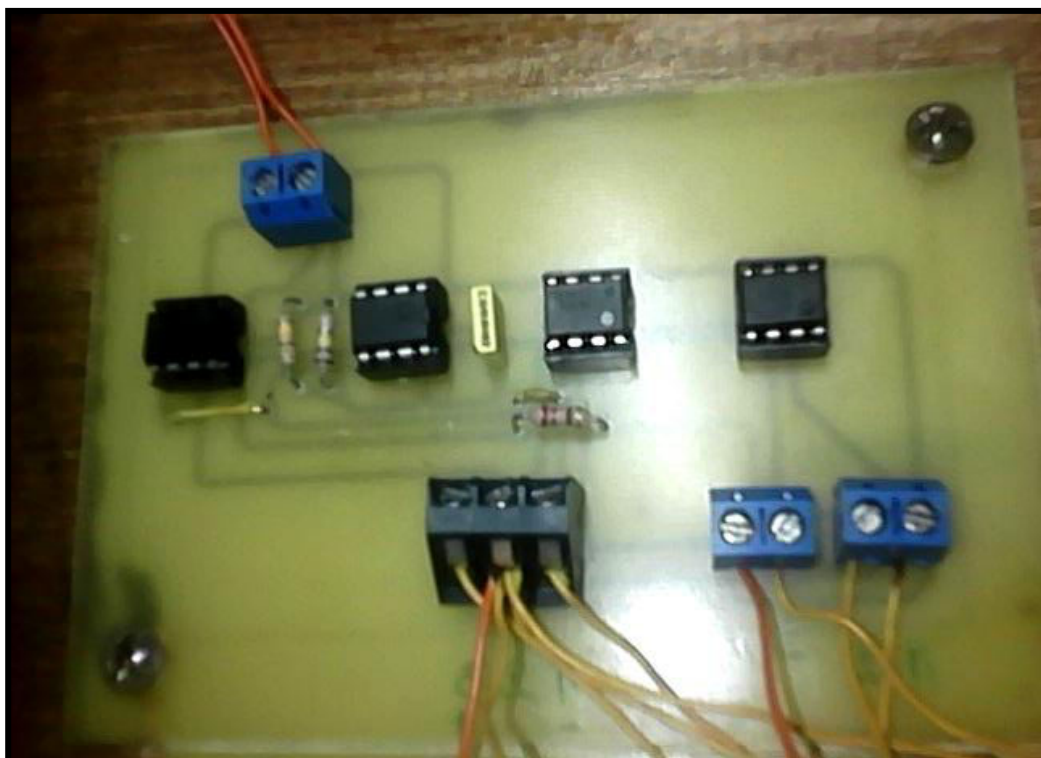


Figure 5.7 : photo réalisation pratique de la chaîne mesure

L'adaptateur : assure une entrée à très haute impédance, et une sortie à très faible impédance. C'est un montage idéal pour réaliser un adaptateur d'impédance, il est particulièrement apprécié quand il s'agit de prélever un signal sur une source dont l'impédance de sortie est très élevée. Comme la contre-réaction est totale (la totalité du signal de sortie est réinjecté sur l'entrée inverseuse), le gain est de un (pas d'amplification, ni d'atténuation).

Le signal récupéré à la sortie du suiveur de tension :

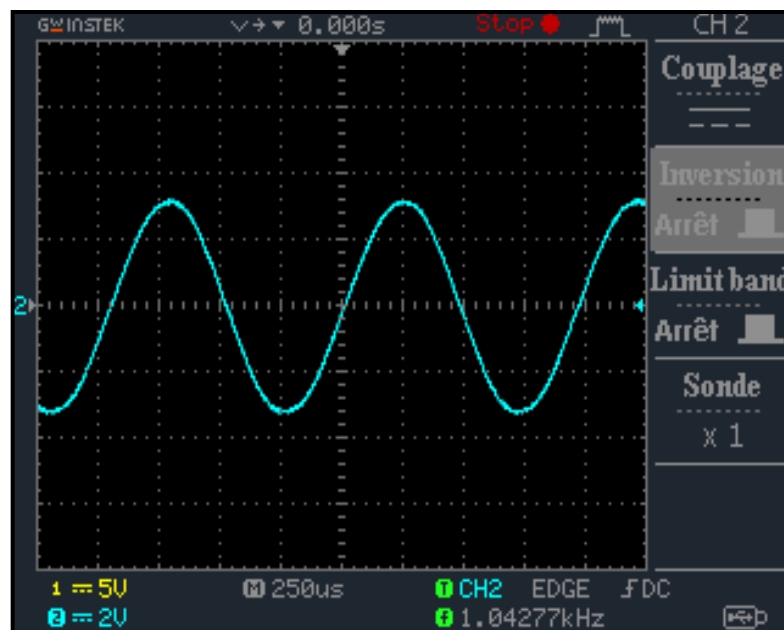


Figure 5.8 : signal à la sortie du suiveur en tension

Convertisseur courant –tension : Le courant qui traverse la sonde sera traduit en une tension proportionnelle en utilisant un inverseur. Le test de cet inverseur a confirmé le fonctionnement correct de ce circuit. On place d'abord une résistance entre la sortie et l'entrée inverseuse de l'AOP : cette résistance est appelée résistance de contre-réaction. Puis on place une sonde de mesure entre l'entrée inverseuse et l'entrée effective du montage. Le choix de résistance va permettre de déterminer le gain. Pour un montage inverseur, le gain est défini Par la relation suivante :

$$G = -\sigma \cdot L/S \cdot R \quad (5.2)$$

Avec R_1 représente la résistance des sondes

$$\sigma \cdot L/S = R_1 \quad (5.3)$$

Le signal à la sortie du convertisseur courant tension :

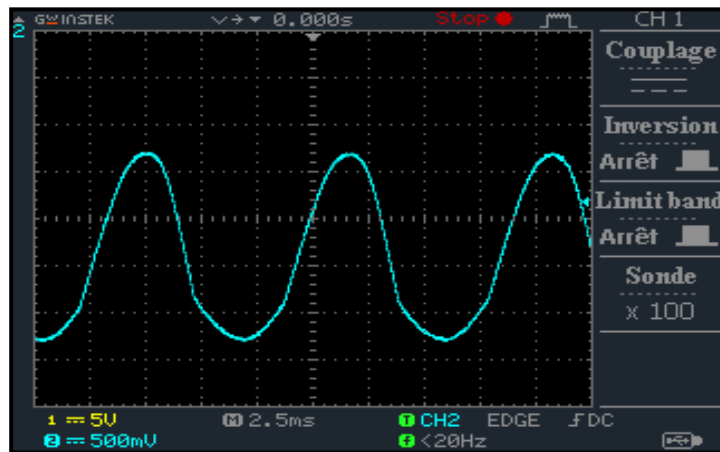


Figure 5.9 : Signal de la sortie de convertisseur courant tension

Le multiplieur : Le multiplieur en lui-même est vraiment très simple, puisqu'il se contente d'un petit circuit intégré à 8 pattes l' AD633. Dans sa mise en œuvre la plus simple, Le signal V_s à traiter (e1) est appliqué sur l'entrée X1

Nous avons envoyé vers la première entrée du multiplieur un signal sinusoïdal de fréquence 1 kHz et d'amplitude 10 V. La deuxième entrée est alimentée par le même signal mais inversé avec le convertisseur courant tension. Nous obtenons le signal de la figure ci-dessous. C'est un signal de fréquence 2KHz avec une composante continue négative puisqu'il y a conversion.

Le signal de sortie du multiplieur :

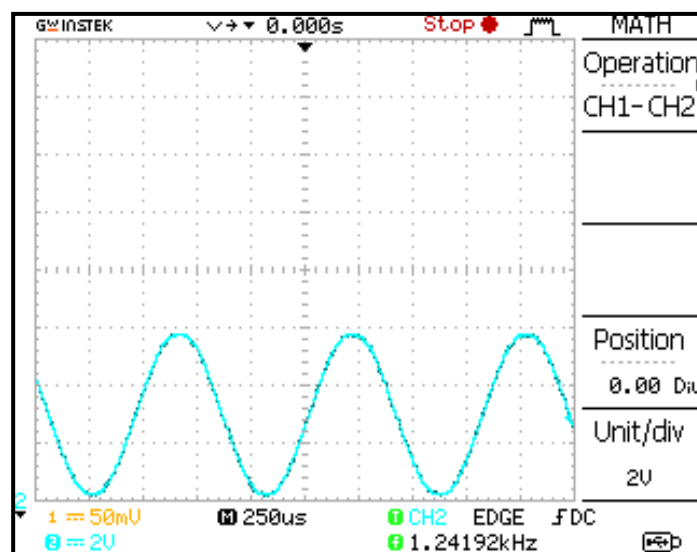


Figure 5.10 : le signal récupéré à la sortie du multiplieur AD633

Le filtre : Le signal de sortie du filtre passe bas (la sortie du conductimètre)

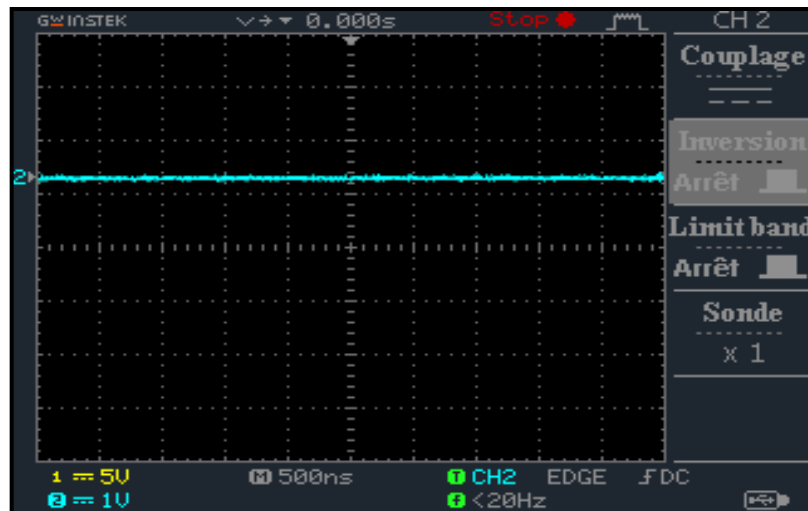


Figure 5.11 : la sortie du filtre passe bas du premier ordre

Le filtre passe bas permet d'obtenir la composante continue de signal de sortie de multiplier et d'éliminer le signal sinusoïdal. La fréquence de coupure qui lui associe est la suivante :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (5.4)$$

4. Circuit d'affichage

Afficheur LCD (par microcontrôleur) : Le circuit se compose uniquement d'une carte d'Arduino. Un dispositif d'affichage. La tension analogique est amenée à la carte. Le déroulement du programme est comme suit :

- Déclaration de libray de l'afficheur LCD
- Déclaration des variables
- Déclaration des connexions entre l'afficheur et la carte Arduino
- Déclaration de pin mode comme une entrée
- Déclaration du type de l'afficheur LCD
- Lire la valeur à pine à 0
- Convertir la valeur numérique en (mV)
- Diviser la valeur en (mV) par la sensibilité(40)
- Afficher le mot conductivity sur la 1^{er} ligne, la valeur et l'unité en (mS) ou (μ S) sur la 2^{ème} ligne



Figure 5.12 : carte d'Arduino



Figure5.13 : Afficheur LCD

5. Alimentation stabilisée

Cette réalisation convient pour alimenter tout montage analogique (domaine audio ou mesure) nécessitant une alimentation symétrique, c'est à dire une alimentation double, avec une branche positive et une branche négative

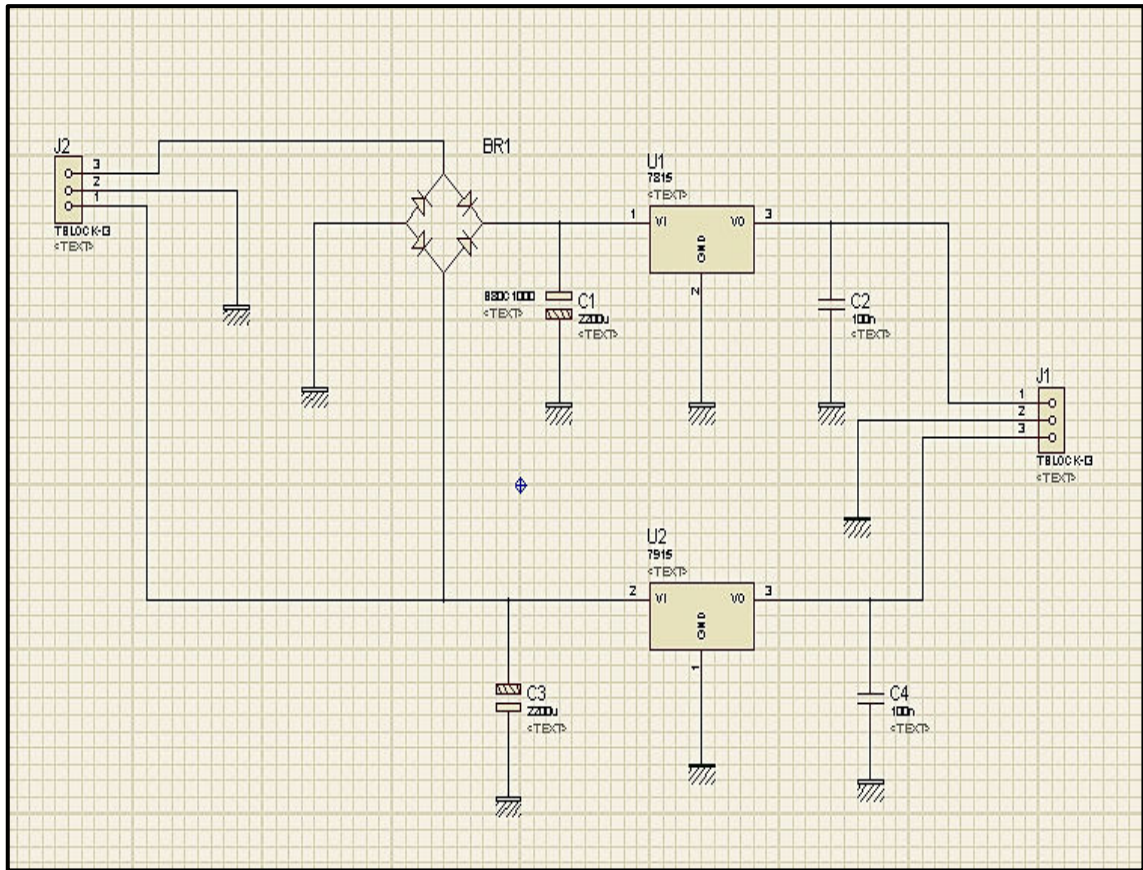


Figure 5.14 : circuit de l'alimentation par ISIS

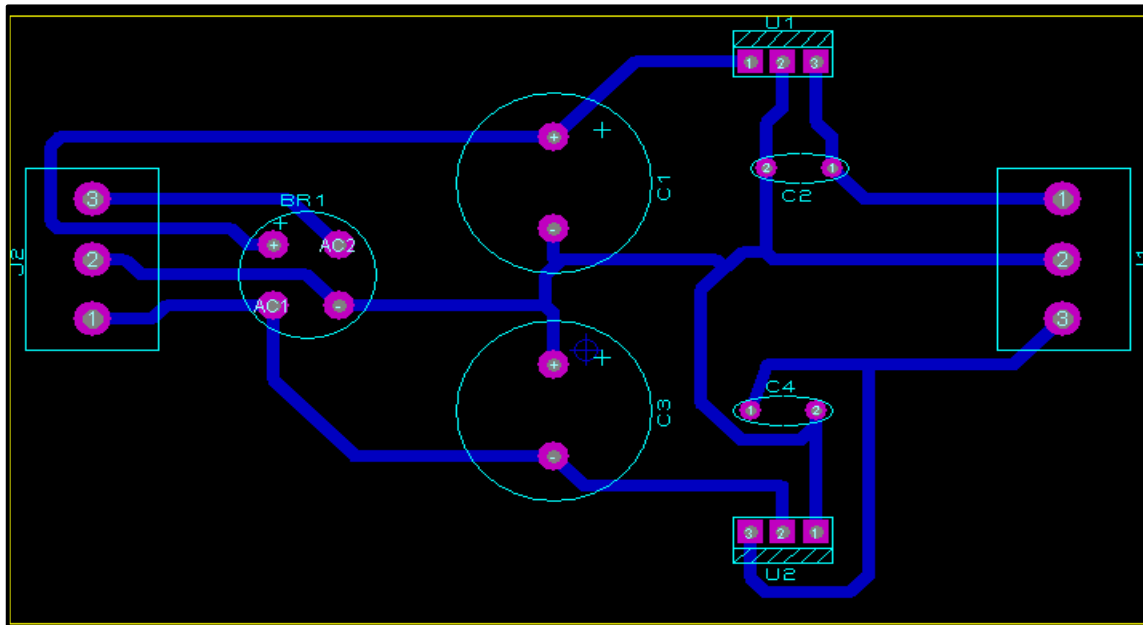


Figure 5.15: circuit imprimé de l'alimentation par ARES

6. Partie pratique

Mesure de salinité : pour tester notre conductimètre, nous avons utilisé de l'eau distillée ($V= 50\text{ml}$), avec l'ajout d'une quantité de NaCl pour chaque mesure

| | | | | | | | | |
|---------------------|-----|------|-----|---|-----|-----|-----|------|
| Sel (g) | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2 |
| G (μS) | 8 | 8,36 | 8,7 | 9 | 9,3 | 9,6 | 9,9 | 10,2 |

Tableau 5.1 : mesure de salinité en fonction de la quantité de NaCl

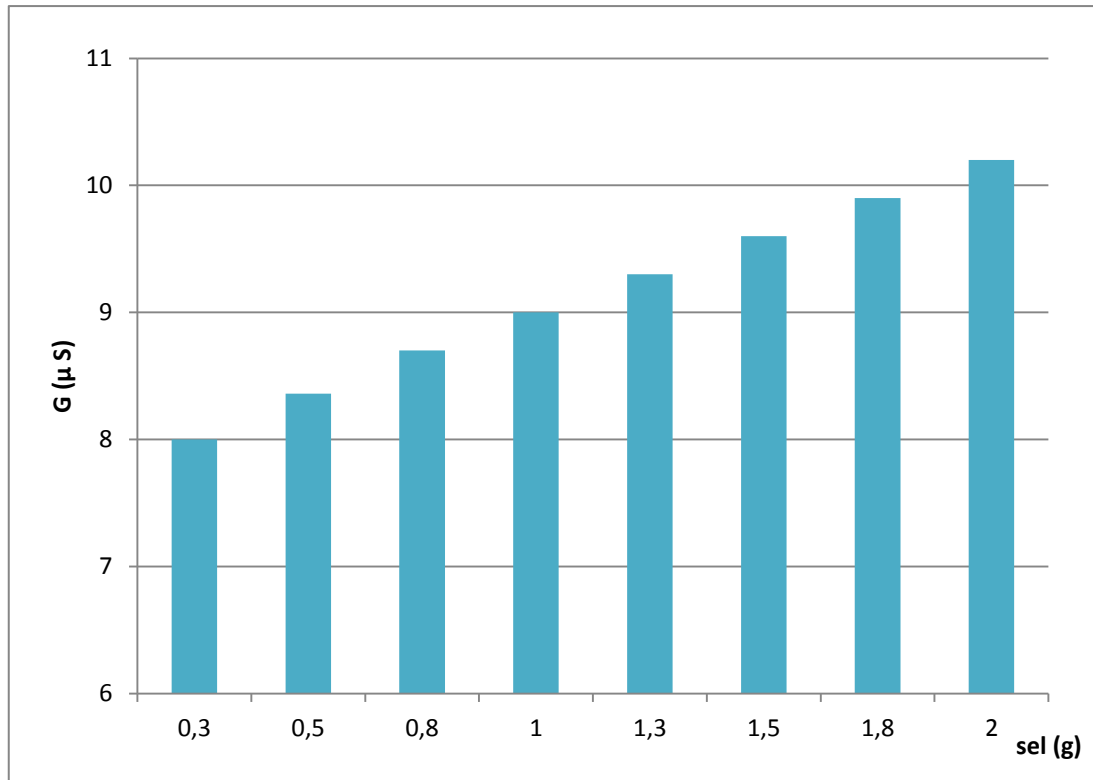


Figure 5.16 : histogramme de mesure de salinité

La conductance σ ou bien la conductivité G est proportionnelle à la concentration de la solution utilisée (chlorure de potassium Na Cl) Ce comportement est illustré dans l'historgramme de la figure 5.16 .

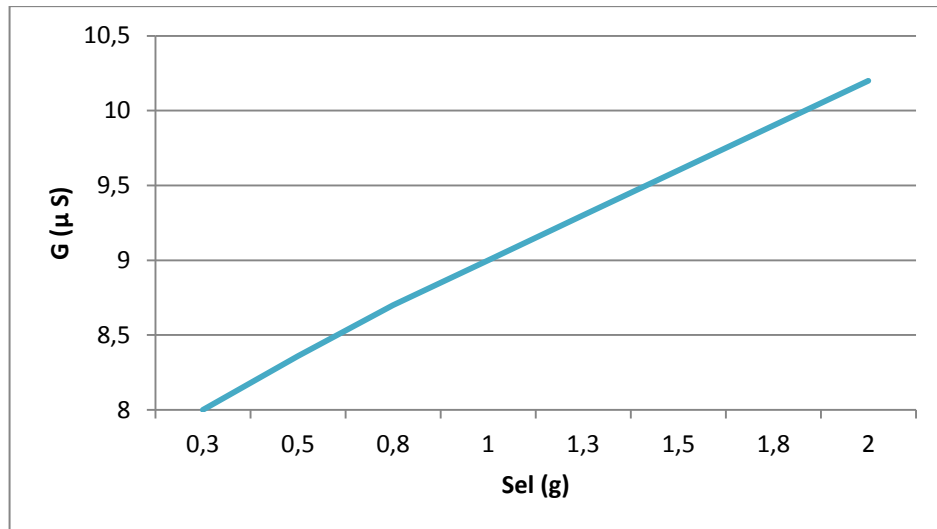


Figure 5.17 : courbe de la conductivité en fonction de la salinité

La conductivité est liée aux conductivités molaires ioniques λ et aux concentrations [X] dont la concentration de Na Cl ,donc les deux grandeurs sont proportionnelles

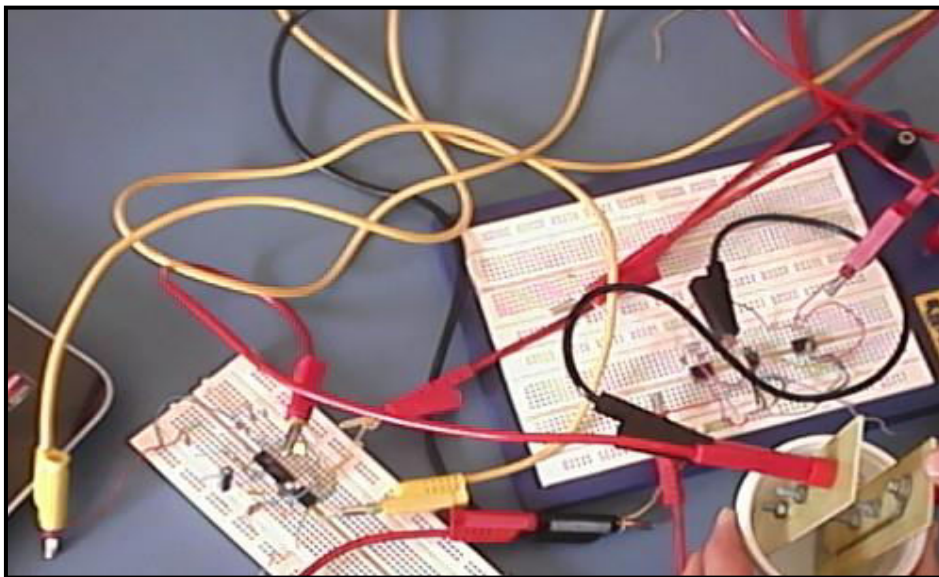


Figure 5.18 : l'expérience de mesure de salinité par conductimétrie

Une autre mesure était menée sur différents eaux pour faire un classement en fonction de la qualité de sources considérées

| Type d'eau | lalla Khadîdja | Mansoura | lfri | Ayris | Saida | robinet |
|-------------------------|----------------|----------|------|-------|-------|---------|
| 1/G (ms ⁻¹) | 3,75 | 1,92 | 1,52 | 1,5 | 1,28 | 1,29 |
| U (V) | 9.49 | 9.05 | 8.83 | 8.82 | 8.65 | 8.657 |
| I (mA) | 2.53 | 4.70 | 5.81 | 5.88 | 6.76 | 6.71 |

Tableau 5.2 : qualité des eaux

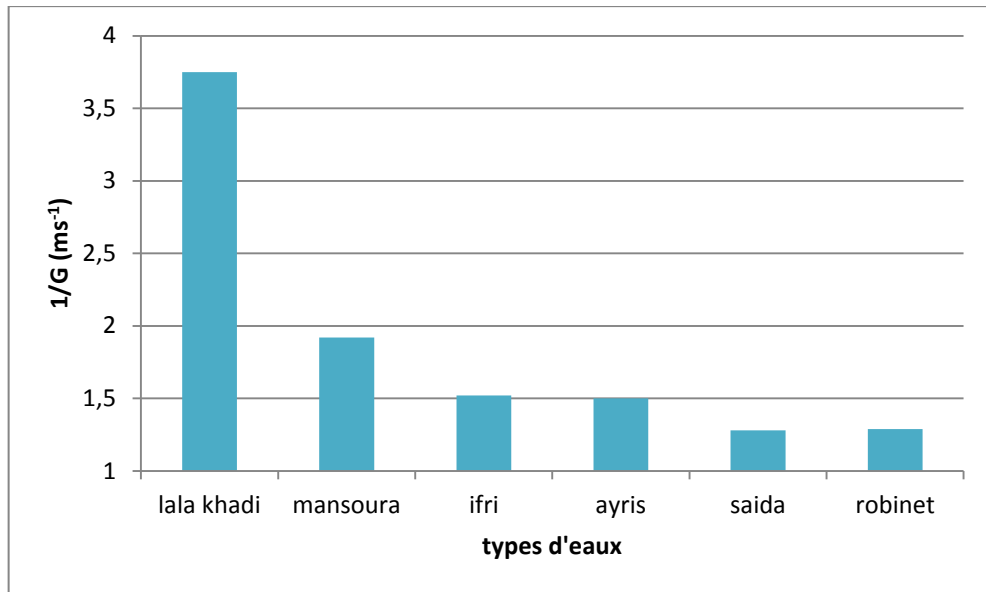


Figure 5.19 : histogramme de qualité des eaux

Une troisième expérience très importante à citer est celle de la distance, cette partie à pour but de voir la variation de la conductivité en fonction de la distance entre les électrodes , à partir de la valeur de tension et de l'intensité du courant , on à calculer la conductivité (relation théorique utilisée sont citées dans le chapitre précédent)

| | | | | |
|--------|------|-------|-------|-------|
| d (cm) | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 |
| G (mS) | 77.5 | 50 | 22.5 | 1.5 |
| U (V) | 0.6 | 0.9 | 1.81 | 7.69 |
| I (mA) | 47 | 45.45 | 40.90 | 11.53 |

Tableau 5.3 : mesure de la conductivité en fonction de la distance

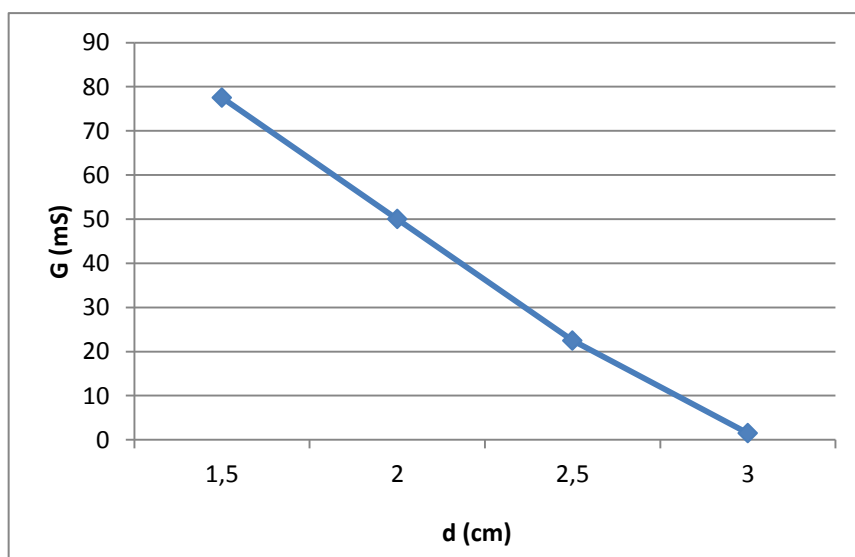


Figure 5.20 : la courbe de variation de la conductivité en fonction de la distance

La conductivité dépend des dimensions physiques de conducteurs électriques, la largeur et la section du conducteur déterminant la constante de la cellule

Plus la distance entre les électrodes est faible plus , plus faible est la résistance de la solution soumis à la mesure ; l'effet des électrodes sur les ions est grand

$$G = \frac{S}{d} \cdot \sigma \quad (5.5)$$

7. Mesure par infra-rouge :

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|------|
| Sel(g) | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2 | 2,2 | 2,4 |
| 1/U | 0,16 | 0,17 | 0,175 | 0,18 | 0,185 | 0,188 | 0,19 | 0,198 | 0,21 | 0,219 | 0,23 | 0,25 |

Tableau 5.4 : mesure de tension en fonction de la quantité de NaCl

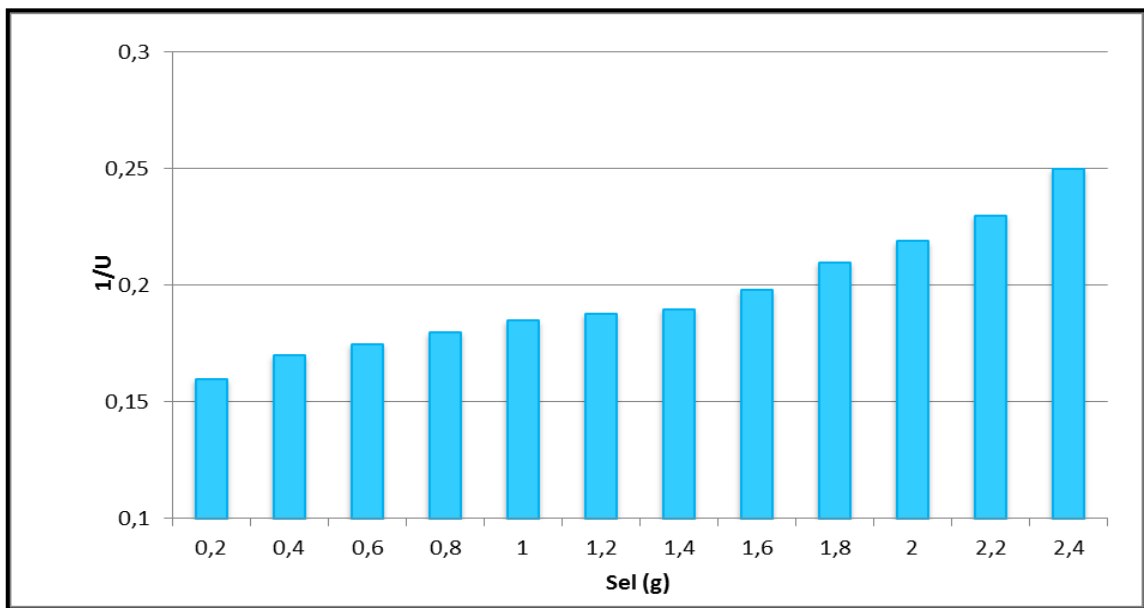


Figure 5. 21 : histogramme de mesure de salinité

| | | | | | | |
|-------|---------------|----------|------|-------|-------|---------|
| l'eau | lala Khadîdja | Mansoura | Ifri | Ayris | Saida | robinet |
| U (V) | 6,15 | 5,87 | 5,64 | 5,43 | 5,31 | 5,18 |

Tableau 5.5 : qualité des eaux

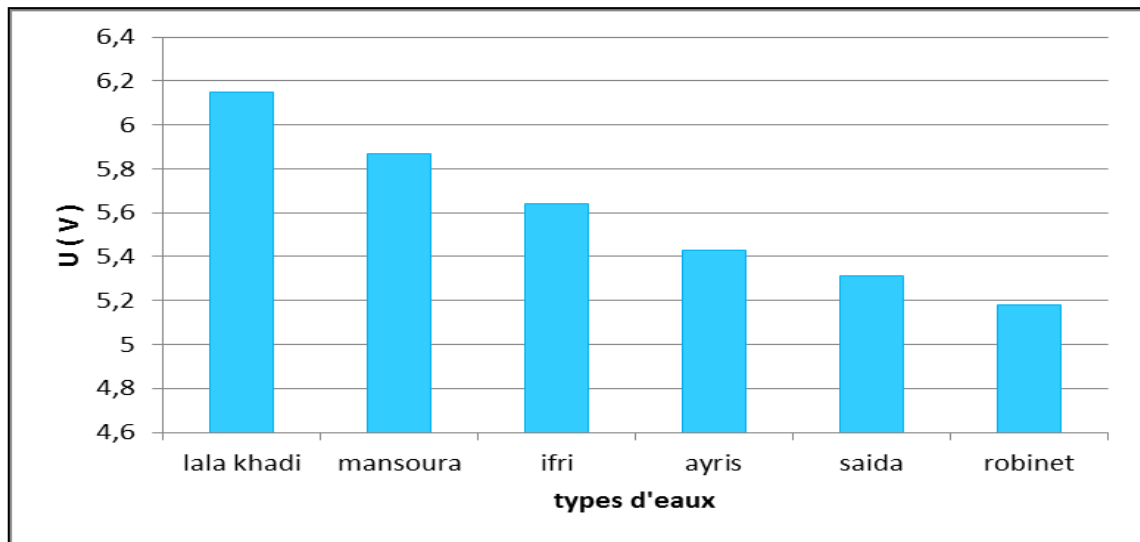


Figure5.21 : histogramme de qualité des eaux

Mémoire de projet de fin d'étude : pour obtenir le diplôme de master en Génie Biomédical , spécialité : instrumentation biomédical , le 2013-2014

Présenté par : Hammou Houaria et Saidi Ismahene

Titre : Etude et réalisation d'une chaîne colorimétrique

Encadrer par : Debbal Sidi Mohammed

Les résultats obtenus avec le dispositif conductimétrique, sont les mêmes avec l'utilisation de l'infra-rouge, ce qui confirme le bon fonctionnement de notre prototypage

8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes étapes pratiques de fonctionnement de notre conductimètre. Tous les circuits, les signaux et les tests ont été présentés. Nous signalons que notre appareil est composé de trois maquettes : L'alimentation, la source de signal sinusoïdale et le circuit de conversion et de détection. Cette méthode permet à n'importe quel utilisateur de vérifier séparément, et facilement le fonctionnement des différents circuits.

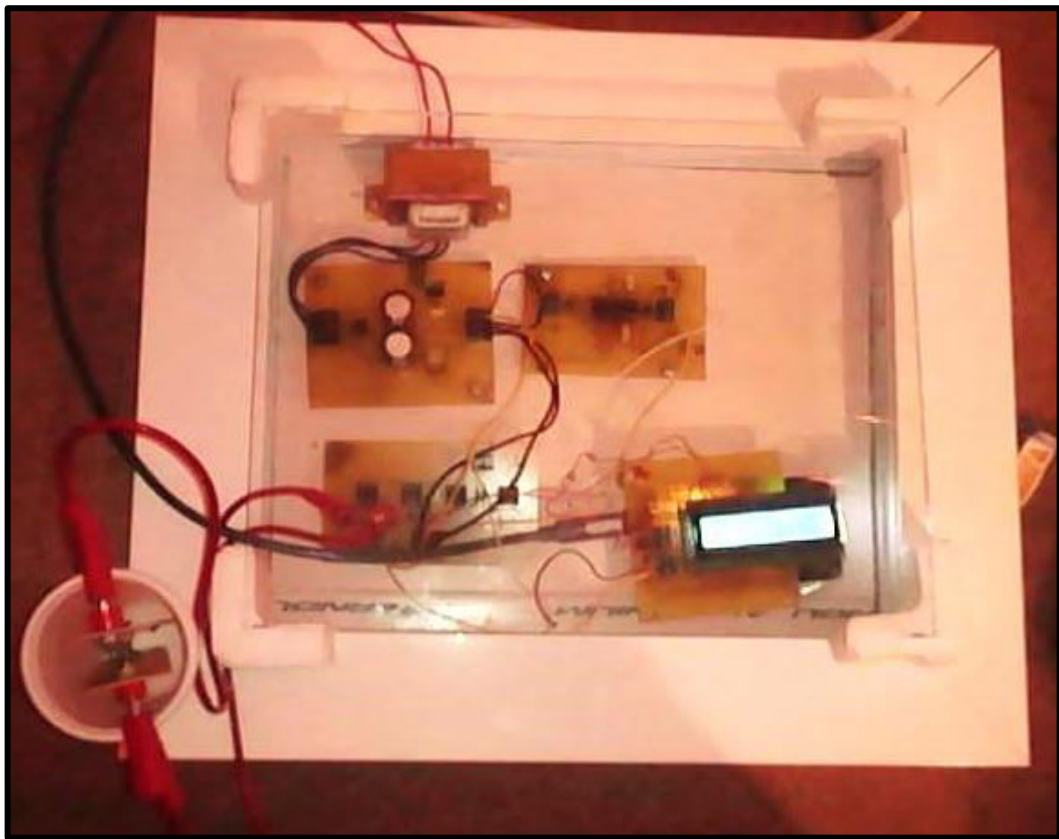


Figure 5.22 : photo de la maquette du conductimètre

Conclusion générale

Le but principal de notre travail concerne la mesure de la salinité par conductivité .Ce système devant permettre la mesure de la quantité de sel dissous dans un liquide.

Dans notre projet de fin d'étude, Nous avons conçu et réalisé un prototype de conductimètre. Le capteur étant une sonde électronique plongée dans un électrolyte. Nous avons utilisé plusieurs circuits intégrés tels que le XR2206 et l'AD633 qui nous ont simplifiés considérablement la conception de notre dispositif électronique. Nous avons exploité aussi la carte d'Arduino et l'afficheur LCD pour la visualisation des valeurs de conductivité mesurées.

Notre projet nous a donc permis d'approfondir nos connaissances théoriques et pratique en Instrumentation par la manipulation des fonctions d'électronique et d'acquérir une bonne expérience au niveau de la réalisation pratique.

Ce travail pourra être exploité par les futurs étudiants des spécialités d'instrumentation Biomédical et en électronique dans le cadre des travaux pratiques.

Notre prototype pourra être amélioré surtout dans la partie d'affichage, on pourra réfléchir à l'ajout d'une partie d'acquisition numérique pour un traitement rapide et efficace des mesures obtenues et le tracé rapide d'histogrammes et des courbes .

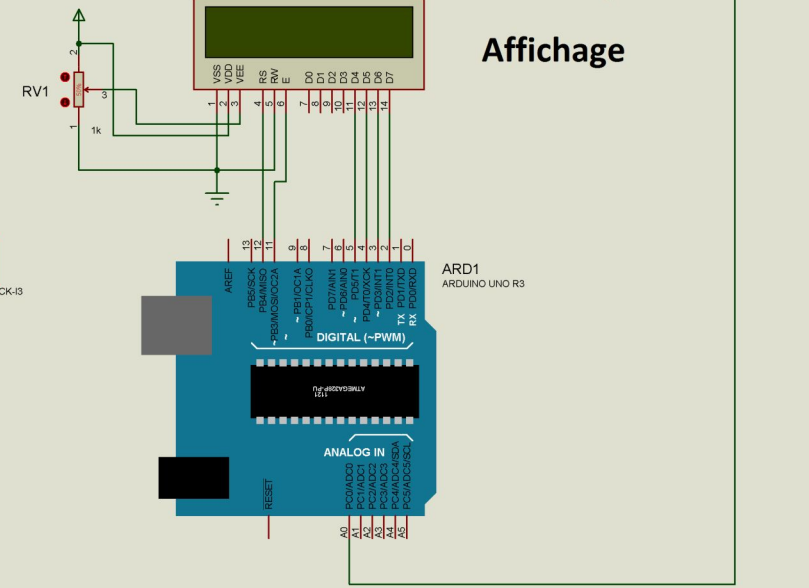
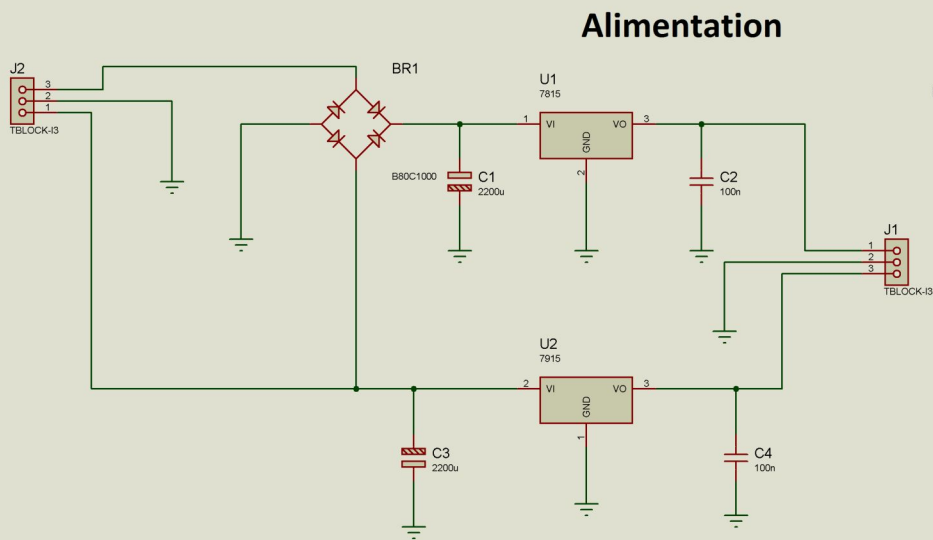
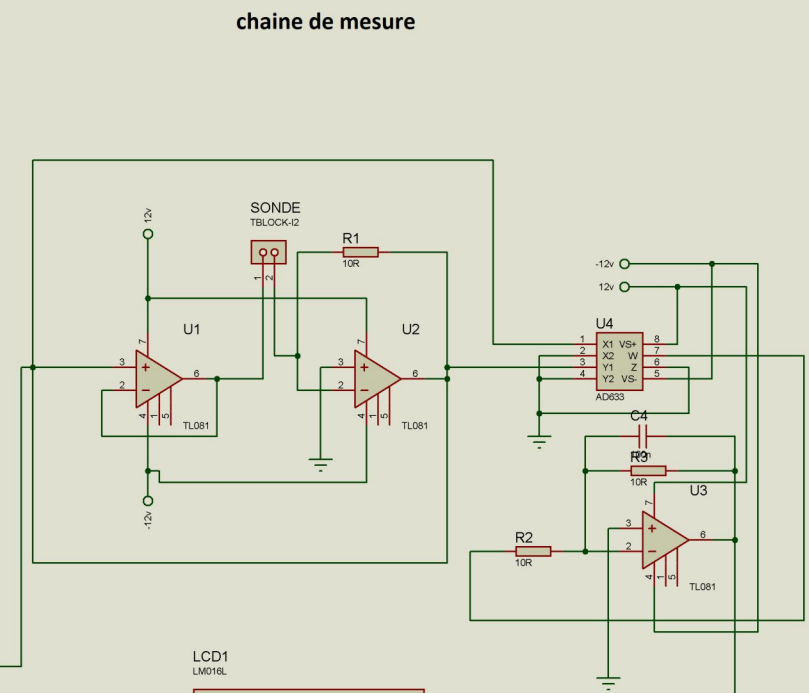
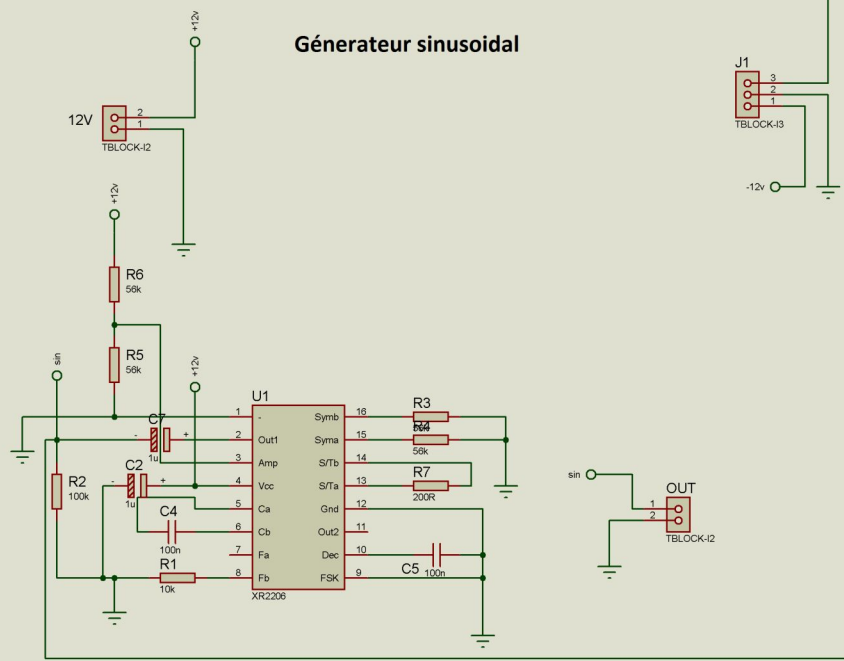



Schéma de conductimètre par isis

Bibliographie

- [1] Christian BISSIERES ; TS IRIS (Physique Appliquée) <http://cbissprof.free.frp> : 1 ,4
- [2] Michel Lavabre et Fabrice Bavdoin ;capteurs : principes et utilisations cours et exercices résolus DUT BTS écoles d'ingénieurs
- [3] Mr .Debbal ; cours master 1 instrumentation biomédical EB726
- [4] Les capteurs électrochimiques et biochimiques ; PDF
- [5]ROSSO Marie-Hélène - LINARES Margaux - SARY Karima ; le conductimètre - URBANSKI Estelle - Elèves de 1 ère Sciences et Technologie de Laboratoire ; p : 1
- [6] Reinhard Manns ; guide de mesure de conductivité ; avril 2007 JUMO FAS 624 édition 04.07; p : 7 à 12 ; 31 à 34
- [7] Conductivity Theory and Practice; D61M002; Printed by Radiometer Analytical SAS; France; 2004-05B; p: 6; 16 à 19
- [8] wikipédia, conductivité
- [9] http://eduscol.education.fr/rnchimie/phys/kohl/tp/tp_phys_ts1.pdf ; P.Kohl–ENCPB–juin2006 ; p : 22
- [10] Hammoudi Yousef ; Boulenouar Hichem, mémoire de projet fin d'étude master en électronique : étude et réalisation d'un conductimètre 25-06-2014 ; p : 9. 10
- [11] <http://www-connex.e.univ-brest.fr/lpo/instrumentation/08.htm>
- [12]  L'eau: 4- Mesure de la salinité de l'eau de mer (partie 1) ; spécialité physique TS
- [13] © Hervé - 28 mars 2014 ; p : 2. 3. 4
- [14] Comment mesurer la salinité de l'eau ou du sol ; Wiki ; <http://fr.wikihow.com/mesurer-la-salinit%C3%A9-de-l'eau-ou-du-sol>
- [15] LSU CoastalRoots Program; <http://coastalroots.lsu.edu>
- [16] www.futurascience.fr

- [17] L. Aït Gougam, M. Bendaoud, N. Douliche, F. Mékidèche ; Licence de Physique S2: Electricité ; Chapitre VI : Le courant alternatif
- [18] Brahim Hraoubia docteur d'état ; les amplificateurs opérationnels fonctionnement et applications ; édition ENAG1994 ; pp 45, 47, 48, 87
- [19] <http://www.smartnewtab.com/watch?key=0cdb16b7667982280fbb05007a35eb39>
- [20] <http://www.firediy.fr/article-9.html>
- [21] http://famillecoq.pagespersoorange.fr/physique/tp/electronique/multiplieur/multip_I1.htm
- [22] Alain Pelat enseignant à l'institut national des télécommunications ; pratique de l'amplificateur opérationnel 1. Circuits fondamentaux ; édition masson 1983 ; pp : 45, 47, 48, 73, 87
- [23] http://lyceehugobesancon.org/btssn/IMG/pdf/Filtres_Actifs.pdf , pp : 1,
- [24] <http://www.groupe.polymtl.camec6405Labo%20A06Filtres%20passe-bas>
- [25] Prof Bereksi qrequeig F ; cours M1S2 instrumentation biomédicale ; module : prototypage,

Annexes

Annexe 1

Où μ^+ et μ^- représentent la mobilité ionique du cation et de l'anion considéré; ces mobilités dépendent du solvant, de la taille de l'ion solvaté et de sa concentration.

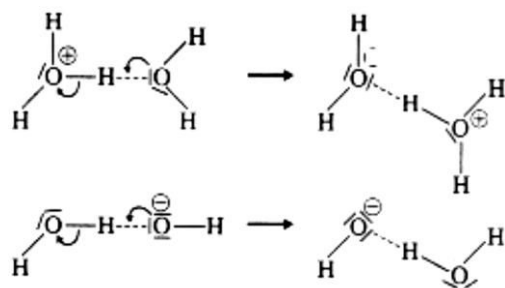
La conductivité ionique molaire λ_i d'un ion $M_i z_i^+$ est obtenue comme produit de la constante de Faraday F par la mobilité λ_i et l'ion et par la valeur absolue du nombre de charge z_i

$$\lambda_i = |z_i| \cdot \mu_i \cdot F$$

Dans le cas de solutions diluées : $C_i \rightarrow 0$ alors $\mu_i \rightarrow \mu_i^\circ$ et $\lambda_i \rightarrow \lambda_i^\circ$

λ_i° est appelée *conductivité ionique molaire limite*. μ_i et λ_i° s'expriment en $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$.

La conductivité particulièrement importante des ions H_3O^+ et OH^- est à la base des dosages conductimétriques acido-basiques ;



Elle s'explique par la superposition du mouvement propre des ions et d'un transfert de charge, par l'intermédiaire d'un proton, sans pratiquement transfert de matière ; les liaisons hydrogène deviennent des liaisons covalentes et inversement.

Conductivité d'une solution :

Pour une solution ionique contenant des ions A_i , chargés z_i^+ ou z_i^- et à la concentration C_i la conductivité de la solution, notée σ , vaut : $\sigma = \sum_i \lambda_i (A_i^{z_i}) \cdot C_i$

avec σ en $S \cdot m^{-1}$, λ en $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$, et C en mol/m^3 .

Dans le cas d'une solution diluée : $\sigma = \sum_i \lambda_i^\circ (A_i^{z_i}) \cdot C_i$

Soit en utilisant les valeurs tabulées : $\sigma = \sum_i |Z_i| |\lambda_i^\circ| (1/|Z_i| \cdot |A_i^{z_i}|) \cdot C_i$

Conductivité équivalente

Une autre grandeur, la conductivité équivalente Λ , est souvent utilisée et voici sa définition :

Considérons une solution issue de la dissolution de n moles d'un sel A_pB_n dans un volume V de solvant

($n/V = C$). Les ions se retrouvent en solution suivant : $A_pB_n \rightarrow p.A^{n-} + n.B^{p+}$

La conductivité équivalente de la solution est donnée par : $\Lambda = \sigma/(np)C$

Pour KCl on aura : $\Lambda = \sigma/C$

Pour $MgCl_2$ on aura : $\Lambda = \sigma/2C$

En supposant que les ions du solvant sont en concentration trop faible pour qu'ils interviennent sur la conductivité (milieu ni trop acide, ni trop basique) on aura :

$$\sigma = \sum_i |z_i| \cdot \lambda_i^\circ (1/|z_i| \cdot A_i^{z_i}) \cdot C_i = n \cdot p \cdot C \cdot \lambda^\circ (1/n A^{n-}) + p \cdot n \cdot C \cdot \lambda^\circ (1/p B^{p+})$$

et : $\Lambda = \sigma/np = \lambda^\circ (1/n A^{n-}) + \lambda^\circ (1/p B^{p+})$

Electrolytes forts et électrolytes faibles

Les qualifications de « forts et faibles » n'ont pas la même signification quand ils se rapportent à des électrolytes ou lorsqu'ils se rapportent à des acides et des bases.

Un électrolyte est dit fort quand les espèces prédominantes ne changent pas de nature lorsque l'on dilue la solution. Sinon l'électrolyte est dit faible.

L'acide éthanoïque, par exemple est un électrolyte faible.

Conductivité équivalente des électrolytes forts : Loi de Kohlrausch

La conductivité équivalente d'un électrolyte fort devrait être constante. En fait ce n'est pas tout à fait le cas. Kohlrausch a montré expérimentalement que la conductivité équivalente est une fonction affine de $C^{1/2}$.

L'extrapolation des mesures expérimentales à $C = 0$ mol/l permet de déterminer Λ° , conductivité équivalente limite.

Cette variation avec la concentration vient de l'interaction entre les ions. Si la solution est concentrée, un ion devient moins mobile car les ions de signe contraire qu'il croise dans sa migration sont une distance moyenne plus petite et « ralentissent » son mouvement.

Tableaux de quelques conductivités ioniques :

| Cations | | |
|-----------|------------------------------------|--|
| Nom | Symbole | λ° (S.m ² .mol ⁻¹) |
| Oxonium | H ₃ O ⁺ (aq) | 349.8 . 10 ⁻⁴ |
| Potassium | K ⁺ (aq) | 73.5 . 10 ⁻⁴ |
| Sodium | Na ⁺ (aq) | 50.1 . 10 ⁻⁴ |
| Ammonium | NH ₄ ⁺ (aq) | 73.5 . 10 ⁻⁴ |
| Lithium | Li ⁺ (aq) | 38.7 . 10 ⁻⁴ |
| Césium | Cs ⁺ (aq) | 77.3 . 10 ⁻⁴ |
| Rubidium | Rb ⁺ (aq) | 77.8 . 10 ⁻⁴ |
| Argent | Ag ⁺ (aq) | 61.9 . 10 ⁻⁴ |

| Anions | | |
|-----------|---|--|
| Nom | Symbole | λ° (S.m ² .mol ⁻¹) |
| Hydroxyde | OH ⁻ (aq) | 198.6 . 10 ⁻⁴ |
| Bromure | Br ⁻ (aq) | 78.1 . 10 ⁻⁴ |
| Iodure | I ⁻ (aq) | 76.8 . 10 ⁻⁴ |
| Chlorure | Cl ⁻ (aq) | 76.3 . 10 ⁻⁴ |
| Fluorure | F ⁻ (aq) | 55.4 . 10 ⁻⁴ |
| Nitrate | NO ₃ ⁻ (aq) | 71.4 . 10 ⁻⁴ |
| Ethanoate | CH ₃ COO ⁻ (aq) | 40.9 . 10 ⁻⁴ |
| Benzoate | C ₆ H ₅ COO ⁻ (aq) | 32.3 . 10 ⁻⁴ |

Annexe 2

Un densimètre électronique est un appareil de laboratoire capable de faire des mesures de densité sur des liquides ou des gaz. Il permet de déterminer rapidement des concentrations quand les tables de conversion densité/concentration existent ou tout simplement connaître le rapport masse/volume d'une substance à une température de référence. Le densimètre électronique ou densimètre à tube en U oscillant a été inventé par le professeur Stabinger en 1967 et produit depuis cette date par la société Autrichienne Anton Paar.

Son principe de fonctionnement est basé sur le maintien en oscillation d'un tube de verre borosilicate en U (volume environ 1 ml) dont la mesure de la fréquence résultante est directement proportionnelle à la masse volumique du liquide ou gaz injecté.

Attention : il est important de ne pas confondre le densimètre à tube en U oscillant et le densimètre à force de Coriolis dont le fonctionnement est différent.

L'équation suivante montre comment l'utilisation de la fréquence d'oscillation est transformée en mesure de masse volumique :

$$\text{Rho} = A * T^2 - B$$

Rho : masse volumique (densité)

T : période d'oscillation, soit $1/f$

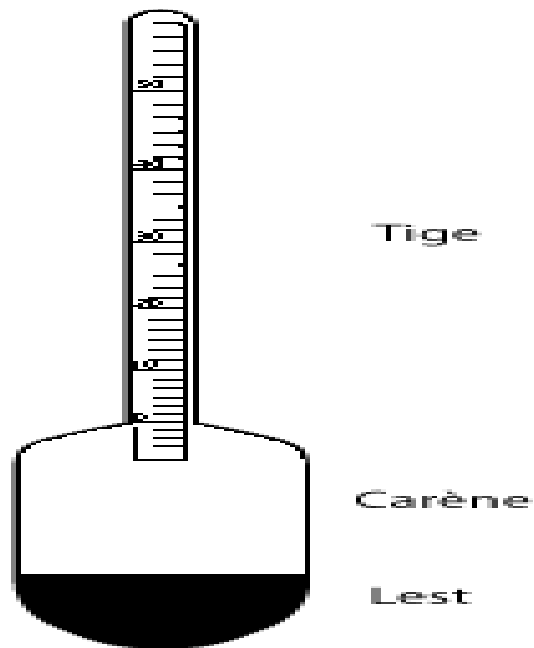
A : constante liée au coefficient d'élasticité du verre et la constante de rappel

B : constante liée à la masse et le volume du tube en U.

Annexe 3

Instrument dont on se sert pour connaître les densités relatives des liquides, et évaluer leur concentration en sucres, en alcool ou en acide.

Un aréomètre (densimètre) est constitué d'un flotteur de volume V surmonté d'une tige de section constante S , le flotteur est lesté à son extrémité inférieure pour abaisser son centre de gravité afin que l'appareil flotte de façon stable et verticalement



Annexe 4



XR-2206

Monolithic
Function Generator

June 1997-3

FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

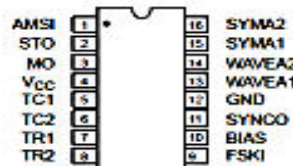
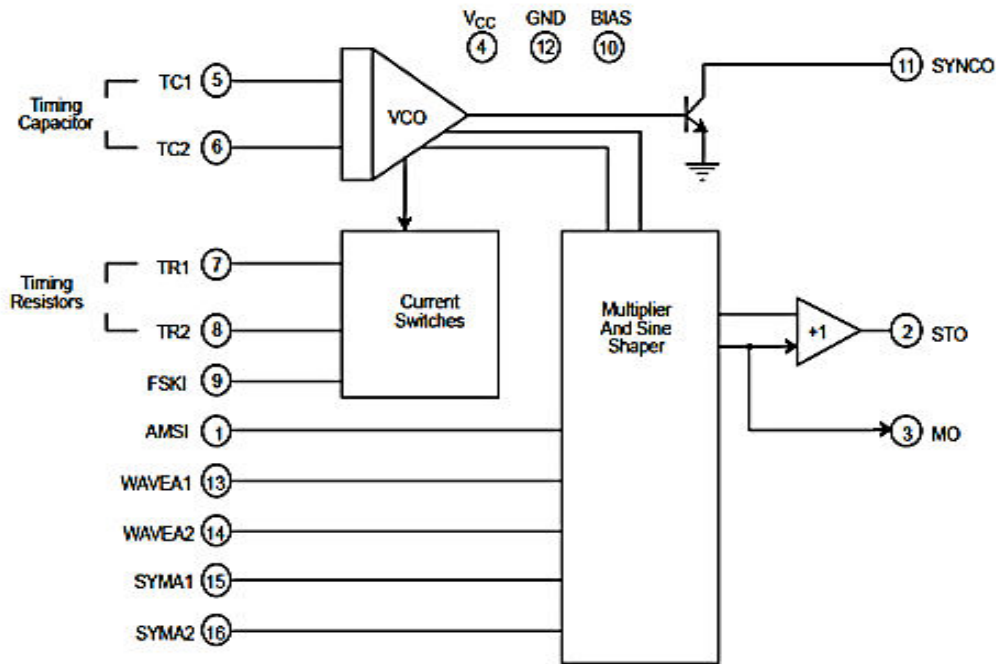
APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

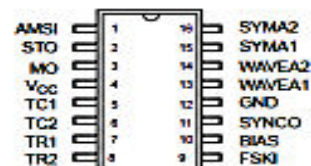
- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

ORDERING INFORMATION

| Part No. | Package | Operating Temperature Range |
|-----------|----------------------------|-----------------------------|
| XR-2206M | 16 Lead 300 Mil CDIP | -55°C to +125°C |
| XR-2206P | 16 Lead 300 Mil PDIP | -40°C to +85°C |
| XR-2206CP | 16 Lead 300 Mil PDIP | 0°C to +70°C |
| XR-2206D | 16 Lead 300 Mil JEDEC SOIC | 0°C to +70°C |



16 Lead PDIP, CDIP (0.300")



16 Lead SOIC (Jedec, 0.300")

| Pin # | Symbol | Type | Description |
|-------|-----------------|------|---|
| 1 | AMSI | I | Amplitude Modulating Signal Input. |
| 2 | STO | O | Sine or Triangle Wave Output. |
| 3 | MO | O | Multiplier Output. |
| 4 | V _{cc} | | Positive Power Supply. |
| 5 | TC1 | I | Timing Capacitor Input. |
| 6 | TC2 | I | Timing Capacitor Input. |
| 7 | TR1 | O | Timing Resistor 1 Output. |
| 8 | TR2 | O | Timing Resistor 2 Output. |
| 9 | FSKI | I | Frequency Shift Keying Input. |
| 10 | BIAS | O | Internal Voltage Reference. |
| 11 | SYNCO | O | Sync Output. This output is an open collector and needs a pull up resistor to V _{cc} . |
| 12 | GND | | Ground pin. |
| 13 | WAVEA1 | I | Wave Form Adjust Input 1. |
| 14 | WAVEA2 | I | Wave Form Adjust Input 2. |
| 15 | SYMA1 | I | Wave Symetry Adjust 1. |
| 16 | SYMA2 | I | Wave Symetry Adjust 2. |

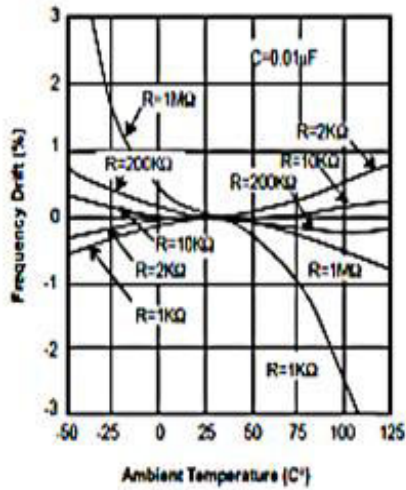


Figure 9. Frequency Drift versus Temperature.

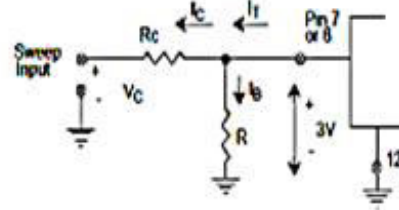
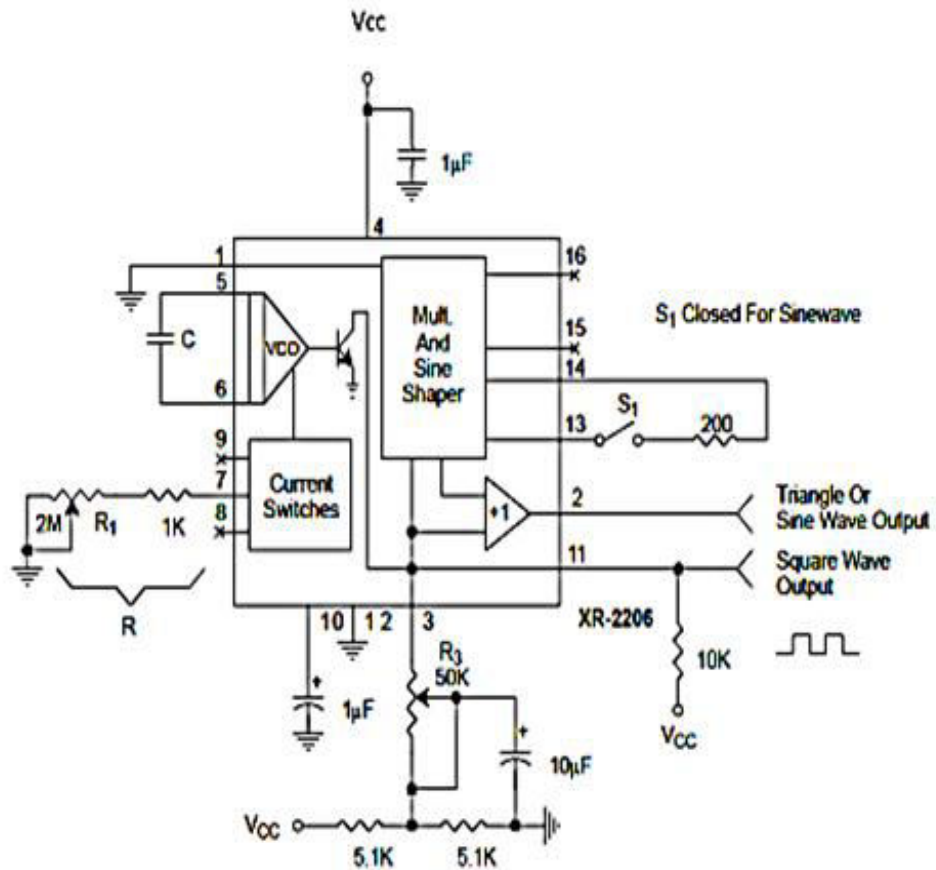


Figure 10. Circuit Connection for Frequency Sweep.



Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment.
(See Figure 3 for Choice of R_3)

Annexe 5

Features

4-quadrant multiplication Low cost, 8-lead SOIC and PDIP packages Complete no external components required Laser-trimmed accuracy and stability

Total error within 2% of full scale Differential high impedance X and Y inputs High impedance unity-gain summing input Laser-trimmed 10 V scaling reference

Applications

Multiplication, division, squaring

Modulation/demodulation, phase detection

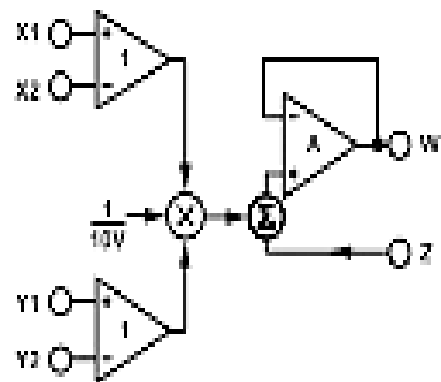
Voltage-controlled amplifiers/attenuators/filters

The AD633 is available in 8-lead PDIP and SOIC packages. It is specified to operate over the 0°C to 70°C commercial temperature range (J Grade) or the -40°C to +85°C industrial temperature range (A Grade).

Product highlights

1. The AD633 is a complete four-quadrant multiplier offered in low cost 8-lead SOIC and PDIP packages. The result is a product that is cost effective and easy to apply.
2. No external components or expensive user calibration are required to apply the AD633.
3. Monolithic construction and laser calibration make the device stable and reliable.
4. High (10 M Ω) input resistances make signal source loading negligible.
5. Power supply voltages can range from ± 8 V to ± 18 V. The internal scaling voltage is generated by a stable Zener diode; multiplier accuracy is essentially supply insensitive.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



SPECIFICATIONS

$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$.

Table 1.

| Parameter | Conditions | AD633J, AD633A | | | Unit |
|--------------------------------------|--|--|-----------------|-------------|--------------------------------|
| | | Min | Typ | Max | |
| TRANSFER FUNCTION | | $W = \frac{(X1 - X2)(Y1 - Y2)}{10\text{ V}} + Z$ | | | |
| MULTIPLIER PERFORMANCE | | | | | |
| Total Error | $-10\text{ V} \leq X, Y \leq +10\text{ V}$ | | ± 1 | $\pm 2^1$ | % full scale |
| T_{ENV} to T_{MAX} | | | ± 3 | | % full scale |
| Scale Voltage Error | SF = 10.00 V nominal | | $\pm 0.25\%$ | | % full scale |
| Supply Rejection | $V_S = \pm 14\text{ V}$ to $\pm 16\text{ V}$ | | ± 0.01 | | % full scale |
| Nonlinearity, X | $X = \pm 10\text{ V}$, $Y = +10\text{ V}$ | | ± 0.4 | $\pm 1^1$ | % full scale |
| Nonlinearity, Y | $Y = \pm 10\text{ V}$, $X = +10\text{ V}$ | | ± 0.1 | $\pm 0.4^1$ | % full scale |
| X Feedthrough | Y nulled, $X = \pm 10\text{ V}$ | | ± 0.3 | $\pm 1^1$ | % full scale |
| Y Feedthrough | X nulled, $Y = \pm 10\text{ V}$ | | ± 0.1 | $\pm 0.4^1$ | % full scale |
| Output Offset Voltage ² | | | ± 5 | $\pm 50^1$ | mV |
| DYNAMICS | | | | | |
| Small Signal Bandwidth | $V_O = 0.1\text{ V rms}$ | | 1 | | MHz |
| Slew Rate | $V_O = 20\text{ V p-p}$ | | 20 | | V/ μs |
| Settling Time to 1% | $\Delta V_O = 20\text{ V}$ | | 2 | | μs |
| OUTPUT NOISE | | | | | |
| Spectral Density | | | 0.8 | | $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ |
| Wideband Noise | $f = 10\text{ Hz}$ to 5 MHz | | 1 | | mV rms |
| | $f = 10\text{ Hz}$ to 10 kHz | | 90 | | $\mu\text{V rms}$ |
| OUTPUT | | | | | |
| Output Voltage Swing | | | $\pm 11^1$ | | V |
| Short Circuit Current | $R_L = 0\ \Omega$ | | 30 | 40^1 | mA |
| INPUT AMPLIFIERS | | | | | |
| Signal Voltage Range | Differential | | $\pm 10^1$ | | V |
| | Common mode | | $\pm 10^1$ | | V |
| Offset Voltage (X, Y) | | | ± 5 | $\pm 30^1$ | mV |
| CMRR (X, Y) | $V_{\text{CM}} = \pm 10\text{ V}$, $f = 50\text{ Hz}$ | | 60 ¹ | | dB |
| Bias Current (X, Y, Z) | | | 0.8 | 2.0^1 | μA |
| Differential Resistance | | | 10 | | M Ω |
| POWER SUPPLY | | | | | |
| Supply Voltage | | | | | |
| Rated Performance | | | ± 15 | | V |
| Operating Range | | | $\pm 8^1$ | $\pm 18^1$ | V |
| Supply Current | Quiescent | | 4 | 6^1 | mA |

PIN CONFIGURATIONS AND FUNCTION DESCRIPTIONS

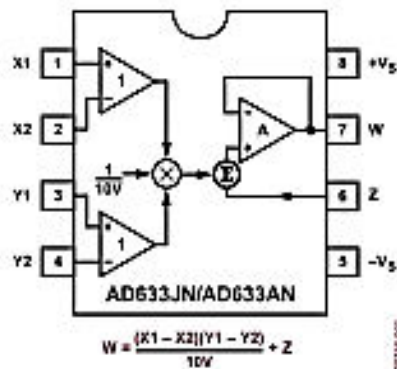


Figure 2. 8-Lead PDIP

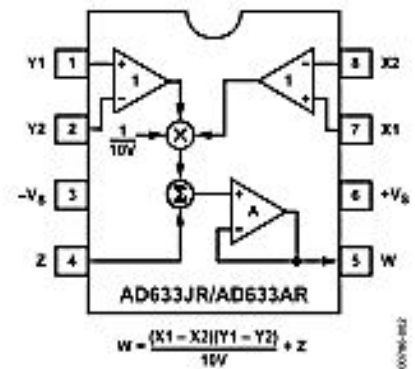


Figure 3. 8-Lead SOIC

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

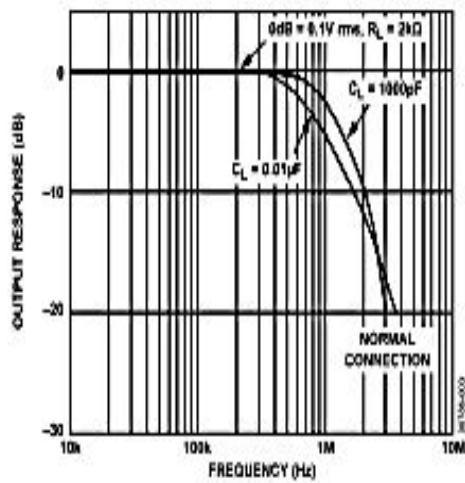


Figure 4. Frequency Response

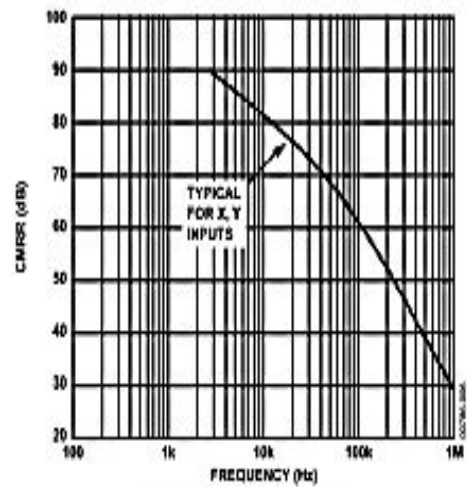


Figure 7. CMRR vs. Frequency

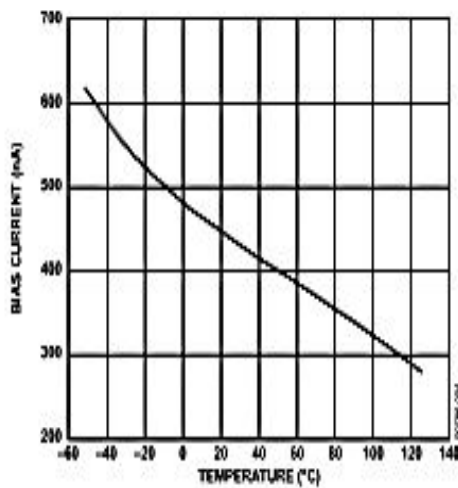


Figure 5. Input Bias Current vs. Temperature (X, Y, or Z Inputs)

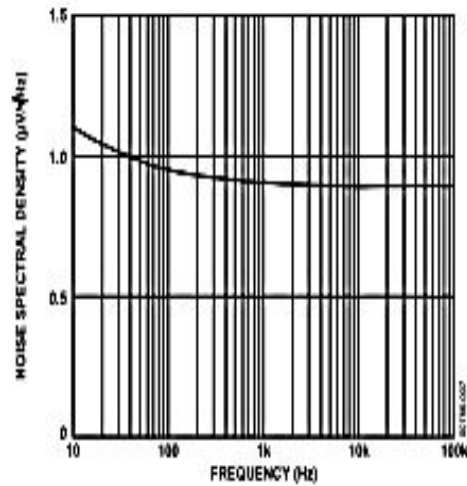


Figure 8. Noise Spectral Density vs. Frequency

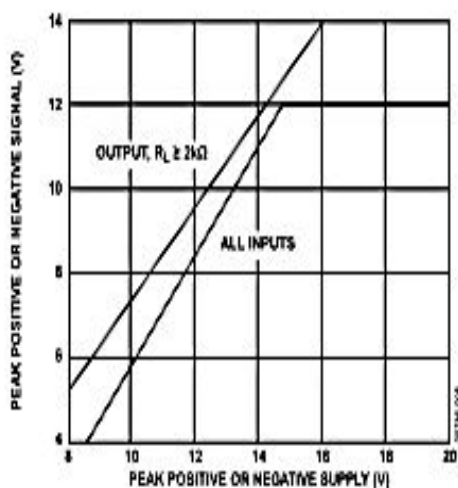


Figure 6. Input and Output Signal Ranges vs. Supply Voltages

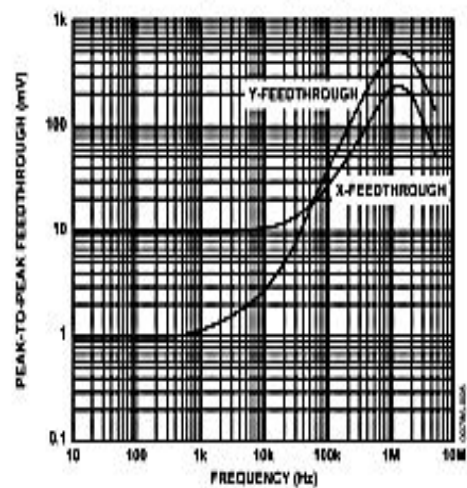


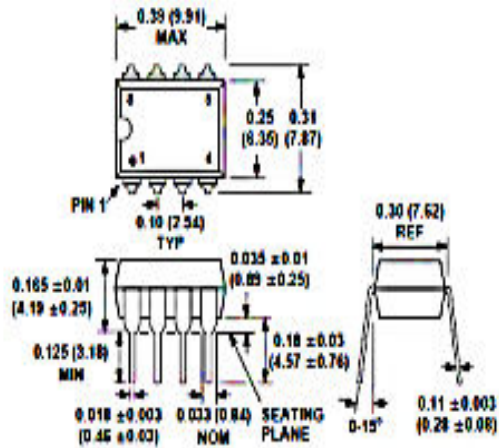
Figure 9. AC Feedthrough vs. Frequency

AD633

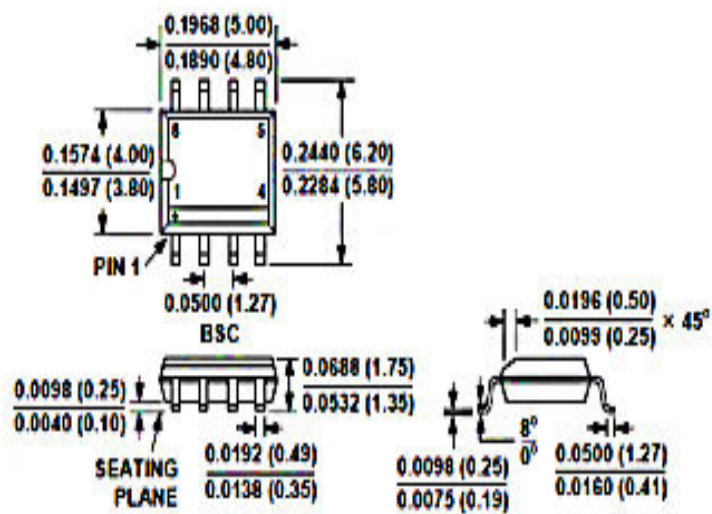
OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

8-Lead Plastic DIP (N-8)



8-Lead Plastic SOIC (SO-8)



Annexe 6

TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS081E – FEBRUARY 1977 – REVISED FEBRUARY 1999

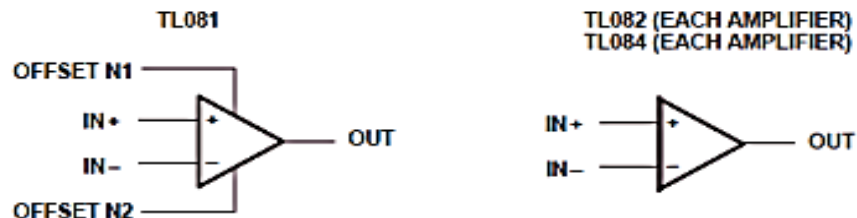
- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion . . . 0.003% Typ
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . 13 V/μs Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes V_{CC+}

description

The TL08x JFET-input operational amplifier family is designed to offer a wider selection than any previously developed operational amplifier family. Each of these JFET-input operational amplifiers incorporates well-matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit. The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient. Offset adjustment and external compensation options are available within the TL08x family.

The C-suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C. The I-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 85°C. The Q-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 125°C. The M-suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

symbols



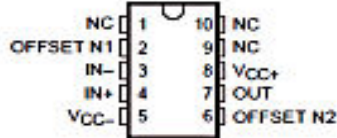
Il est du même type que pour 741, ce type d'amplificateur opérationnel est protégé contre d'éventuels courts circuits, il possède en outre un gain en boucle ouverte très important. C'est un amplificateur opérationnel rapide, il ne nécessite qu'une consommation très faible de courant de 30 pA (courant d'entrée de polarisation) et une consommation de 2.8 mA

$$+V_{CC} = +18, -V_{CC} = -18, V_{e+} \text{ et } V_{e-} = \mp 30V, \text{ tension offset } 3mV$$

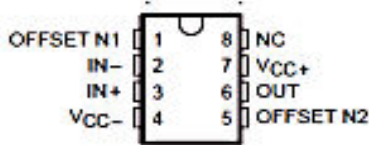
**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SL02081E - FEBRUARY 1977 - REVISED FEBRUARY 1979

**TL081M
U PACKAGE
(TOP VIEW)**

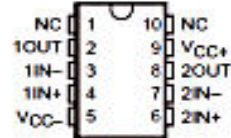


**TL081, TL081A, TL081B
D, JG, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)**

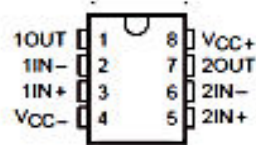


**TL081M ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)**

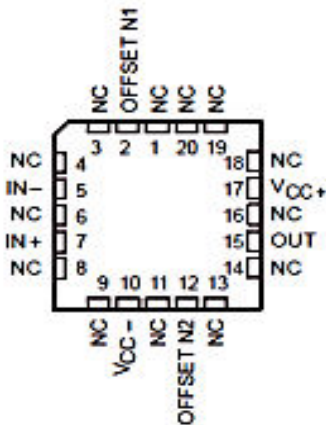
**TL082M
U PACKAGE
(TOP VIEW)**



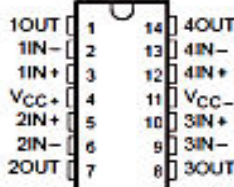
**TL082, TL082A, TL082B
D, JG, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)**



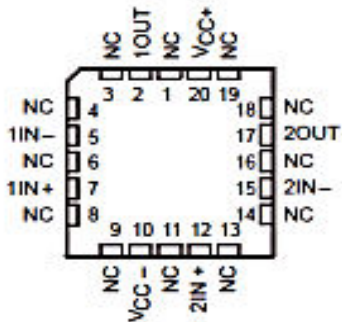
**TL082M ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)**



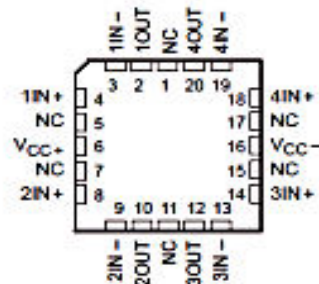
**TL084, TL084A, TL084B
D, J, N, PW, OR W PACKAGE
(TOP VIEW)**



NC - No internal connection



**TL084M ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)**



Annexe 7

Carte d'Arduino :

Synthèse des caractéristiques

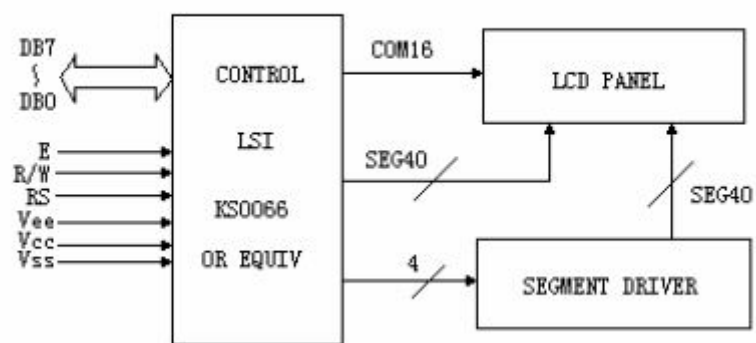
| | |
|---|---|
| Microcontrôleur | ATmega2560 |
| Tension de fonctionnement | 5V |
| Tension d'alimentation (recommandée) | 7-12V |
| Tension d'alimentation (limites) | 6-20V |
| Broches E/S numériques | 54 (dont 14 disposent d'une sortie PWM) |
| Broches d'entrées analogiques | 16 (utilisables en broches E/S numériques) |
| Intensité maxi disponible par broche E/S (5V) | 40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S) |
| Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V | 50 mA |
| Intensité maxi disponible pour la sortie 5V | Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul |
| Mémoire Programme Flash | 256 KB dont 8 KB sont utilisés par le bootloader |
| Mémoire SRAM (mémoire volatile) | 8 KB |
| Mémoire EEPROM (mémoire non volatile) | 4 KB |
| Vitesse d'horloge | 16 MHz |

Annexe 8

| ITEM | | WIDTH | HEIGHT | THICKNESS | UNIT |
|---------------------------|--------------|----------|--------|------------|------|
| Module size | | 80.0 | 36.0 | 14.0 (MAX) | mm |
| Viewing area | | 73.8 | 27.1 | - | mm |
| character | Construction | 5*7 | | | dots |
| | Size | 2.95 | 4.35 | - | mm |
| | Pitch | 3.65 | 5.05 | - | mm |
| Dot | Size | 0.55 | 0.5 | - | mm |
| | Pitch | 0.6 | 0.55 | - | mm |
| Diameter of mounting hole | | 2.7 | | | mm |
| Weight | | About 50 | | | g |

(TA = 25 , VDD = 2.7 to 4.5V)

| Characteristics | Symbol | Limit | | | Unit | Test Condition |
|----------------------------|-------------------|---------|------|--------|------|--|
| | | Min. | Typ. | Max. | | |
| Operating Current | I _{op} | - | 0.2 | 0.4 | mA | External clock (Note) |
| Input High Voltage | V _{IH1} | 0.7VDD | - | VDD | V | Pins:(E, RS, RW, DB7 - 0) |
| Input Low Voltage | V _{IL1} | -0.3 | - | 0.55 | V | |
| Input High Voltage | V _{IH2} | 0.7VDD | - | VDD | V | Pin OSC1 |
| Input Low Voltage | V _{IL2} | -0.2 | - | 0.2VDD | V | |
| Input High Current | I _{IH} | -1.0 | - | 1.0 | μA | Pins: (RS, R/W, DB7 - 0) |
| Input Low Current | I _{IL} | -5.0 | -15 | -30 | μA | VDD = 3.0V |
| Output High Voltage (TTL) | V _{OIH1} | 0.75VDD | - | - | V | I _{OH} = -0.1mA Pins: DB7 - 0 |
| Output Low Voltage (TTL) | V _{OL1} | - | - | 0.2VDD | V | I _{OL} = 0.1mA Pins: DB7 - 0 |
| Output High Voltage (CMOS) | V _{OIH2} | 0.8VDD | - | - | V | I _{OH} = -40μA, Pins: CL1, CL2, M, D |
| Output Low Voltage (CMOS) | V _{OL2} | - | - | 0.2VDD | V | I _{OL} = 40μA, Pins: CL1, CL2, M, D |
| Driver ON Resistance (COM) | R _{CON} | - | - | 20 | KΩ | I _o = ±50μA, V _{CCO} = 4V Pins: COM16 - 1 |
| Driver ON Resistance (SEG) | R _{SCO} | - | - | 30 | KΩ | I _o = ±50μA, V _{CCO} = 4V Pins: SEG40 - 1 |
| LCD Voltage | V _{CCO} | 3.0 | - | 11.0 | V | VDD-V5, 1/4 bias or 1/5 bias |



Résumé

Le but principal de notre travail dans ce projet de fin d'études concerne la mesure de la salinité par la méthode conductimétrique. Le dispositif proposé devra permettre la mesure de la quantité de sel dissous dans un liquide.

Une partie concernant le classement de différentes eaux de sources basée sur l'utilisation de cette méthode a été également prise en considération.

Nous avons utilisé plusieurs circuits intégrés tels que le XR2206 et leAD633 qui nous ont simplifiés considérablement la conception de notre dispositif. Nous avons exploité aussi la carte d'Arduino et l'afficheur LCD pour la visualisation des valeurs de la conductivité..

Notre projet nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques en Instrumentation électronique par l'application de différentes fonctions d'électronique et d'acquérir une bonne expérience au niveau de la réalisation pratique. Enfin, nous proposons notre prototype pour être exploité par les futurs étudiants des spécialités d'instrumentation biomédical dans le cadre des travaux pratiques.

Abstract

The main purpose of our work in this project graduation concerns the measure salinity by conductivity method. The proposed device should enable the measurement of the amount of salt dissolved in a liquid.

Part concerning the classification of different water sources based on the use of this method was also considered.

We used several integrated circuits such as the XR2206 and leAD633 which we greatly simplified the design of our device. We also used the Arduino board and the LCD display for viewing values of conductivity .

Our project has allowed us to deepen our theoretical knowledge of electronic instrumentation by the application of different electronic functions and gain a good experience at the practical realization.

Finally, we offer our prototype to be used by future students of biomedical instrumentation specialties within the lab.

ملخص

الهدف الرئيسي من العمل في هذا المشروع يخص قياس الملوحة عن طريق قياس الناقلية. الجهاز المقترح يسمح بقياس كمية الملح المنحلة في المحلول.

جزء خاص بتصنيف منابع المياه المختلفة بواسطة هذه الطريقة.

لقد استعملنا العديد من الدوائر المتكاملة لتبسيط الجهاز. كما استعملنا شاشة مبرمجة و بطاقة أروينو .

لقد سمح لنا المشروع بتعميق معارفنا النظرية من الاجهزة الالكترونية و التطبيقات المختلفة و اكتساب خبرة جيدة.

نحن نقدم هذا النموذج لاستخدامه من قبل طلاب المستقبل في تخصصات الاجهزة الطبية الحيوية في التطبيق العملي داخل المعمل.