

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Étude de MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : **ELECTRONIQUE**
Filière : **ELETRONIQUE BIOMEDICALE**

Présenté par
Karim OUDIAI

Mémoire dirigé par **Hakim A C H O U R**

Thème

Conception et réalisation d'un potentiostat Multivoies pour le Laboratoire de Physique et Chimie des Matériaux (LPCM).

Mémoire soutenu publiquement le 09 juillet 2017 devant le jury composé de :

M Mourad LAGHROUCHE
Professeur, UMMTO, Président

M Hakim ACHOUR
MCA, UMMTO, Rapporteur

M Hamid Hamiche
MCA, UMMTO, Examineur

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Étude de MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : **ELECTRONIQUE**
Filière : **ELETRONIQUE BIOMEDICALE**

Présenté par
Karim OUDIAI

Mémoire dirigé par **Hakim A C H O U R**

Thème

Conception et réalisation d'un potentiostat Multivoies pour le Laboratoire de Physique et Chimie des Matériaux (LPCM).

Mémoire soutenu publiquement le 09 juillet 2017 devant le jury composé de :

M Mourad LAGHROUCHE
Professeur, UMMTO, Président

M Hakim ACHOUR
MCA, UMMTO, Rapporteur

M Hamid Hamiche
MCA, UMMTO, Examineur

À ma mère, ma femme et mes deux filles

Remerciements

En premier lieu et avant toutes choses, je tiens à exprimer ma gratitude envers Dieu tout puissant, pour m'avoir donné le courage et la volonté de mener à terme ce présent travail.

Ce mémoire a été effectué au sein du groupe de recherche Electrochimie interfaciale du Laboratoire de Physique et Chimie des Matériaux (LPCM) du département de chimie de l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou. Je souhaiterais remercier Mr Kadri, responsable de l'équipe de recherche, ainsi tous les autres membres, de m'avoir permis d'effectuer ce travail au sein de leur laboratoire.

Je souhaite témoigner toute ma reconnaissance et ma profonde gratitude à mon promoteur, Mr Achour Hakim, pour tout le soutien et les conseils qu'il a pu m'apporter durant ce travail. Je voudrais également le remercier pour sa disponibilité, et pour la confiance qu'il m'a accordé.

Mes profonds remerciements vont à l'ensemble des mes enseignants.

Mes plus vifs remerciements s'adressent aussi à Mr Fethi Ouallouche responsable du Master Electronique Biomédicale pour son soutien et son aide précieuse.

De toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu tout le long de ce modeste travail, il y a une personne en particulier qui je voudrais remercier du fond du cœur pour son aide si précieuse fournie lors de la conception et la réalisation du circuit imprimé et de son boîtier ; il s'agit de mon ancien stagiaire et mon vieil ami Mr Chraïou Farouk.

Enfin, je tiens à exprimer toute ma gratitude à ma famille et ma belle-famille pour leur soutien.

Notre ennemi dans l'étude, c'est la suffisance ; quiconque veut réellement apprendre doit commencer par s'en débarrasser. "S'instruire sans jamais s'estimer satisfait" et "enseigner sans jamais se lasser", telle doit être notre attitude.

Mao Tsé-toung

Sommaire

Introduction générale	1
CHAPITRE I : Qu'est-ce qu'un potentiostat ?	
1. Les électrodes	3
1.1 Qu'est-ce qu'une électrode ?	3
1.2 Différents types d'électrodes	3
1.2.1 Les électrodes indicatrices	3
1.2.2 Les électrodes de référence	4
2. Qu'est-ce qu'un Potentiostat ?	5
2.1 Pourquoi un montage à trois électrodes ?	5
2.2 Schéma de principe d'un potentiostat	6
3. Potentiostat et galvanostat	7
CHAPITRE II : Conception d'un potentiostat 2 voies	
1. Problématique	10
2. Cahier des charges de la solution proposée	10
3. Description détaillée du potentiostat	11
3.1 Schéma synoptique global	11
3.2 Schéma structurel	14
3.2.1 La carte d'alimentation électrique	14
3.2.2 Le circuit de conditionnement	17
3.2.3 La carte d'acquisition NI USB-6218	19
CHAPITRE III : Réalisation, Tests et Mesures	
1. Conception de l'interface logicielle	26
2. Réalisation du circuits imprimés et du boitier	40
2.1 La carte d'alimentation	40
2.2 La carte de conditionnement	42
3. Tests	45
3.1 La carte d'alimentation	45
3.2 La carte de conditionnement	45
3.2.1 Calibration et validation du potentiostat	45
Conclusion générale et Perspectives	47
Références bibliographiques	49
ANNEXES	51

Liste des Figures

Figure 1 : Quelques exemples d'électrodes	4
Figure 2 : Schéma de l'électrode de référence au calomel	5
Figure 3 : Schéma de principe d'un montage électrochimique utilisant un potentiostat	7
Figure 4 : Schéma de principe d'un potentiostat	8
Figure 5 : Schéma de principe du galvanostat	8
Figure 6 : Diagramme de "la bête à cornes"	10
Figure 7 : Potentiostat multivoies disponible au niveau du LPCM	11
Figure 8 : Schéma synoptique général de niveau 1 du potentiostat	13
Figure 9 : Schéma synoptique de niveau 2 d'une voie du potentiostat	14
Figure 10 : Schéma électronique de la carte d'alimentation	17
Figure 11 : Schéma électronique d'une voie du potentiostat	19
Figure 12 : Schéma électronique global du circuit de conditionnement	21
Figure 13 : Description du module NI USB-6218	22
Figure 14 : Brochage physique du module NI USB-6218	23
Figure 15 : La fenêtre diagramme d'une voie du potentiostat	27
Figure 16 : La phase de création du projet "Potentiostat"	28
Figure 17 : Palette contenant les graphes	29
Figure 18 : Le module "simulation signal" et sa configuration	30
Figure 19 : Le module "simulation signal" avec les commandes de ses paramètres	31
Figure 20 : Code G permettant la sélection de la tension d'excitation et le résultat sur la face Avant	31
Figure 21 : La sélection de l'outil "Select"	32
Figure 22 : La sélection de l'outil "Assistant DAQ"	32
Figure 23 : Configuration de la sortie analogique du DAC avec "Assistant DAQ"	33
Figure 24 : Code G du bloc Génération du signal d'excitation finalisé	34
Figure 25 : La sélection de l'outil "Write to Measurement File" et sa configuration	35
Figure 26 : Configuration des entrées analogiques du DAC avec "Assistant DAQ"	36
Figure 27 : Code G du bloc Acquisition dans sa globalité	37
Figure 28 : La sélection de l'outil "While Loop"	38
Figure 29 : Commande pour le test du potentiostat	38
Figure 30 : La face avant du potentiostat	39
Figure 31 : Le code G du potentiostat	40
Figure 32 : Aperçu 3D de la carte d'alimentation	41
Figure 33 : Les différentes vues de la carte d'alimentation	42
Figure 34 : La carte de conditionnement	43
Figure 35 : Le circuit imprimé de la carte de conditionnement et son implantation des composants	44
Figure 36 : La face avant du potentiostat réalisée avec du plexiglass	45
Figure 37 : Les signaux visualisés à la sortie de la carte d'alimentation	46
Figure 38 : Câblage de la cellule de test pour la calibration d'une voie du potentiostat	47
Figure 39 : Configuration logicielle du potentiostat pour la procédure de calibration et les résultats obtenus	48

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Potentiels redox de quelques électrodes de référence dans l'eau (25°C)	6
Tableau 2 : Les principales caractéristiques du DAQ NI USB-6218	21

Glossaire des Acronymes

A

ADJ	Adjustable
AI	Analog Input
AO	Analog Output
AOP	Amplificateur Opérationnel

C

CAN	Convertisseur Analogique-Numérique
CE	Contre-Electrode
CNA	Convertisseur Numérique -Analogique

D

DAQ	Data Acquisition System
------------	-------------------------

E

ECS	Électrode au Calomel Saturé
ER	Électrode de travail
ESH	Électrode Standard à Hydrogène
ET	Électrode de travail

F

FET	Field Effect Transistor
------------	-------------------------

G

G	Graphic
----------	---------

K

KÉch/s	Kilo Échantillons par seconde
---------------	-------------------------------

L

LabVIEW®	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
LPCM	Laboratoire de Physique et Chimie des Matériaux

P

PCB	Printed Circuit Board
------------	-----------------------

R

RSE	Referenced Single-Ended
------------	-------------------------

U

USB	Universal Serial Bus
------------	----------------------

Introduction Générale

L'électrochimie est aujourd'hui une science qui, bien qu'apparaissant de moins en moins explicitement sous cette appellation, se situe souvent en arrière-plan de nombreuses problématiques scientifiques actuelles dans de nombreux domaines dits à fort impact technologique et sociétal. Que ce soit dans le domaine des énergies nouvelles avec les batteries, piles à combustible et autres cellules solaires, de la chimie « verte » avec l'électro catalyse, des nano- et neurosciences avec les ultra microélectrodes et la microscopie électrochimique, l'électrochimie est bien souvent présente et la compréhension des phénomènes physico-chimiques qui régissent la problématique électrochimique est un passage obligé vers le développement de ces domaines suscités [1].

Comme toute technique d'analyse, l'électrochimie requiert l'utilisation d'un large éventail d'appareils de mesure capables de quantifier les phénomènes physico-chimiques sous forme d'informations intelligibles et exploitables par le chimiste. Parmi ces appareils, nous avons choisi de nous intéresser au potentiostat qui est un appareil qui, grâce à un jeu d'électrodes immergées dans une solution d'électrolytes, permet de mesurer le courant électrique qui parcourt une des électrodes en imposant un potentiel. L'ensemble électrodes immergées dans la solution d'électrolytes est désigné dans le jargon des chimistes par le vocable "cellule électrochimique" [2].

Le potentiostat a été inventé en **1942** par **Hickling** [3]. Il est très utilisé dans de nombreux domaines tels que l'étude des phénomènes de corrosion en milieux aquatiques et la conception des biocapteurs.

Les potentiostats disponibles sur le marché offrent une panoplie de fonctionnalités très variée. Malheureusement leurs prix sont élevés. Le prix est essentiellement dû à une sophistication qui n'est pas nécessaire pour les expériences telles que celles pratiquées en premier cycle universitaire [4]. Nous proposons donc ici la réalisation d'un potentiostat multivoies peu onéreux et permettant de tracer, pour plusieurs cellules électrochimiques, un certain nombre de courbes décrivant l'évolution des grandeurs électriques objet de la mesure.

Le potentiostat que nous allons concevoir est destiné à être utilisé au sein du Laboratoire de Physique et Chimie des Matériaux (**LPCM**) du département de chimie de l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.

Ce manuscrit se compose de trois chapitres. Le premier chapitre propose de passer en revue sommairement les différents aspects du concept "potentiostat". Une attention particulière est, cependant, accordée au constituant fondamental à savoir l'électrode.

Dans le deuxième chapitre, une formulation de la problématique liée à notre mémoire est donnée. Ensuite, le volet “matériel” de notre conception est décrit en détail, et les choix technologiques pour lesquels nous avons opté sont justifiés.

Un dernier chapitre est consacré au volet “logiciel” de notre conception, ainsi qu’à la réalisation des différentes cartes électroniques et les différents tests et essais qui seront effectués sur le potentiostat tout au long du processus de sa conception.

Enfin, le manuscrit se termine par une conclusion générale où quelques perspectives d’amélioration de notre conception sont données.

Chapitre I

Qu'est-ce qu'un
Potentiostat ?

“Knowledge is the human light
in the darkness of the ignorance.”
(Inconnu)

L'électrochimie est une discipline dont on peut dire, schématiquement, qu'elle étudie la relation entre transformations chimiques et passage de courant électrique [2].

Comme toute technique d'analyse, l'électrochimie requiert des dispositifs expérimentaux bien précis pour réaliser des mesures fiables : ces dispositifs comprennent, en général, une partie « électronique », constituée d'appareils d'imposition, de contrôle et de mesure des variables électriques (potentiel, courant) et de la connectique qui s'y rattache ; ils comprennent également une partie « chimique » en contact avec l'analyte ou les espèces à transformer (cellule, électrodes) [5].

Parmi ces dispositifs, on distingue le potentiostat, appareil utilisé dans le tracé des courbes intensité-potentiel lesquelles sont un outil fort intéressant pour illustrer, par exemple, des phénomènes de corrosion en solution aqueuse [6].

Le but de ce chapitre est de donner une description des aspects fonctionnel et structurel d'un potentiostat, en accordant une importance particulière au concept de l'électrode qui est la pierre angulaire dans le fonctionnement d'un potentiostat.

1. Les électrodes

1.1 Qu'est-ce qu'une électrode ?

On appelle « **électrode** » tout conducteur électronique (métal, semi-conducteur, métalloïde), au contact d'un électrolyte. La figure suivante illustre quelques exemples d'électrodes utilisées en électrochimie [1] [2].

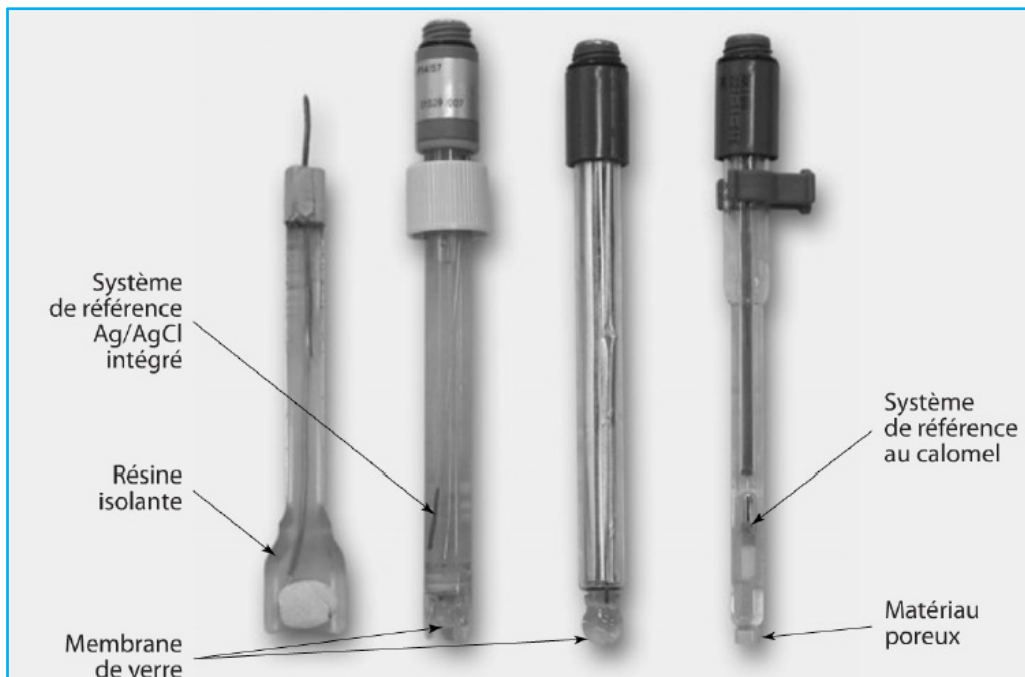


Figure 1. Quelques exemples d'électrodes

1.2 Différents types d'électrodes

Les électrodes utilisées dans les montages électrochimiques peuvent être classées en deux catégories : les électrodes de mesure (ou indicatrices) et les électrodes de référence.

1.2.1 Les électrodes indicatrices

Les électrodes indicatrices sont généralement des électrodes idéalement polarisables, c'est-à-dire dont on peut faire varier le potentiel (par rapport à une référence) dans une large gamme (typiquement plusieurs volts). Ceci implique que, en absence d'espèce électroactive en solution, le courant qui traverse l'interface électrode-électrolyte reste négligeable dans toute cette gamme de potentiel.

Les matériaux utilisés dans la réalisation des électrodes indicatrices sont soit des métaux nobles (platine, palladium, or), soit certaines formes allotropiques du carbone (graphite, carbone vitreux). Cependant, d'autres matériaux tels que le mercure et certains oxydes métalliques (oxyde de titane **TiO₂**) sont eux aussi utilisés mais dans des domaines de potentiel plus restreints [1].

1.2.2 Les électrodes de référence

Contrairement aux électrodes indicatrices, les électrodes de référence doivent présenter des caractéristiques leur permettant d'être idéalement non polarisables, c'est-à-dire de garder un potentiel constant quel que soit le courant qui les traverse.

Les électrodes de référence courantes sont donc basées sur des couples redox de la forme



Où **M** désigne un métal et **X** généralement un halogène de sorte que le composé **MX_n** (oxydant du couple) soit insoluble. Les deux électrodes de référence très couramment utilisées en milieu aqueux sont :

- L'électrode au calomel saturée (**ECS**) : $\text{Hg}_{(1)}|\text{Hg}_2\text{Cl}_{2(s)}|\text{KCl}_{\text{sat}}$ (voir Fig.2)
- L'électrode au chlorure d'argent : $\text{Ag}_{(s)}|\text{AgCl}_{(s)}|\text{KCl}_{\text{sat}}$

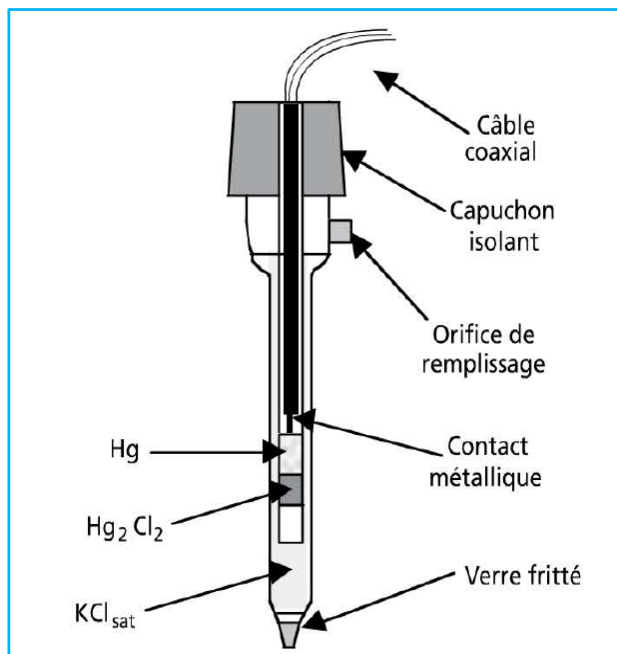


Figure 2. Schéma de l'électrode de référence au calomel

Le potentiel de l'électrode de référence est défini par rapport à l'électrode standard à hydrogène (**ESH**) considérée comme l'électrode de référence absolue pour laquelle le potentiel est nul [1] [7]. Le tableau ci-dessous donne les valeurs des potentiels à **25 °C** de quelques électrodes de référence par rapport à l'**ESH**.

Dans certaines configurations de mesure où l'espace est restreint, on utilise une pseudo-électrode de référence, constituée d'un simple fil métallique (**Ag, Pt**) dont il convient de calibrer le potentiel en le mesurant par rapport à une vraie électrode de référence [1].

Électrode de référence	E (V)
$\text{Hg}_{(l)} \text{Hg}_2\text{Cl}_{2(s)} \text{KCl}_{\text{sat}}$ (ECS)	0,24
$\text{Ag}_{(s)} \text{AgCl}_{(s)} \text{KCl}_{\text{sat}}$	0,20
$\text{Hg}_{(l)} \text{Hg}_2\text{SO}_{4(s)} \text{K}_2\text{SO}_{4\text{sat}}$	0,64
$\text{Hg}_{(l)} \text{HgO}_{(s)} \text{NaOH } 0,1\text{M}$	0,93

Tableau 1. Potentiels redox de quelques électrodes de référence dans l'eau (25°C).

2. Qu'est-ce qu'un Potentiostat ?

Lors de mesures électrochimiques, il est important de pouvoir tout à la fois contrôler (resp. mesurer) la différence de potentiel entre l'électrode de mesure et l'électrode de référence et mesurer (resp. contrôler) le courant qui traverse le circuit. Cette double fonction ne peut être réalisée à l'aide d'une simple alimentation stabilisée, car elle nécessite une rétroaction (le paramètre à contrôler devant être comparé à sa valeur de consigne).

D'autre part, il est souvent utile, en plus de « simplement » contrôler le potentiel de l'électrode de mesure (par rapport à la référence), de pouvoir y imposer un signal variable au cours du temps. Le potentiostat est un appareil qui remplit ce double rôle : générateur de signaux d'une part et imposition et contrôle des paramètres (tension ou courant) d'autre part (cf. figure 3).

2.1 Pourquoi un montage à trois électrodes ?

Le simple fait de vouloir simultanément contrôler la tension entre électrode de mesure et électrode de référence et mesurer l'intensité qui traverse l'électrode de mesure pose une double difficulté [8] [9] :

- La première difficulté qui consiste à contrôler précisément la tension aux bornes des deux électrodes à cause du courant important qui les traversent, dû à l'existence d'une résistance non nulle de la partie de circuit séparant les deux électrodes ;
- La deuxième difficulté provient du fait que, dans un circuit à deux électrodes, l'électrode de référence se trouve parcourue par le même courant que l'électrode de mesure. Il en résulte une polarisation de l'électrode de référence et la dégradation rapide des performances de celle-ci.

Il est possible de remédier à ce double problème en introduisant dans le circuit une troisième électrode, dite électrode auxiliaire (ou contre-électrode). Le principal rôle de cette électrode est de permettre le passage du courant traversant l'électrode de mesure, sans passer par l'électrode de référence. Le schéma de principe du montage à trois électrodes est représenté ci-dessus (figure 3).

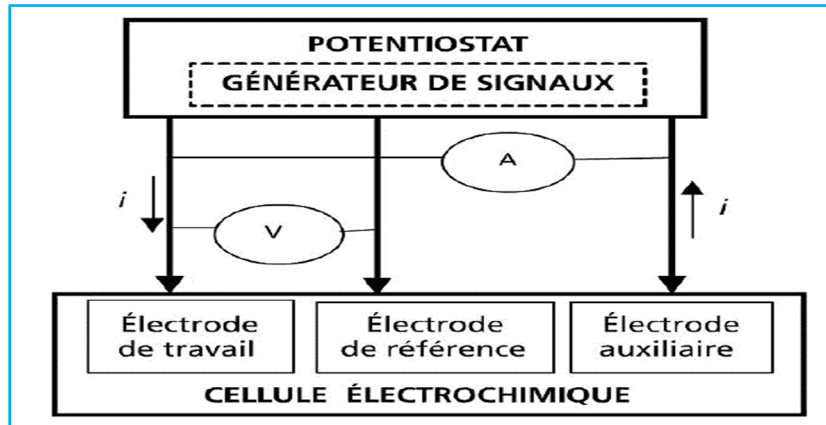


Figure 3. Schéma de principe d'un montage électrochimique utilisant un potentiostat.

Dans un montage à 3 électrodes, on appelle électrode de travail l'électrode dont on contrôle (ou dont on mesure) le potentiel par rapport à l'électrode de référence, l'autre électrode étant appelée électrode auxiliaire ou contre-électrode.

2.2 Schéma de principe d'un potentiostat

La figure 4 représente le schéma de principe du fonctionnement d'un potentiostat ; on retrouve principalement trois amplificateurs opérationnels (AOP) [1] [9] [10] :

- Le premier (1) joue le rôle de comparateur entre la valeur de consigne de la tension entre électrode de travail (ET) et électrode de référence (ER) ;
- Le deuxième (2) joue le rôle de suiveur (inverseur) de tension et permet ainsi de mesurer la tension (-ER) ;
- Le troisième (3) est un convertisseur courant-tension : la résistance variable permet d'ajuster la « gamme de courant » pour obtenir un signal de sortie dans la plage de tension acceptable, quelle que soit la valeur de l'intensité mesurée.

Le schéma de principe de la figure 4 montre que le paramètre ajustable du circuit est le potentiel de l'électrode auxiliaire, que le potentiostat est ajusté de manière à maintenir un court-circuit entre les entrées de l'ampli opérationnel (1), i.e. (ET-ER) égal à sa valeur de consigne. Les performances du potentiostat (notamment son aptitude à contrôler le potentiel de l'électrode de travail) dépendent directement de la valeur maximale que peut prendre le potentiel de l'électrode auxiliaire.

Enfin, la valeur du potentiel imposé à l'électrode de travail par rapport à celle de référence, est soit fixe, soit variable au cours du temps selon une fonction prédéfinie : rampe, sinusoïde, créneaux... ce qui explique la présence du générateur de fonction représenté dans le schéma de la figure 3.

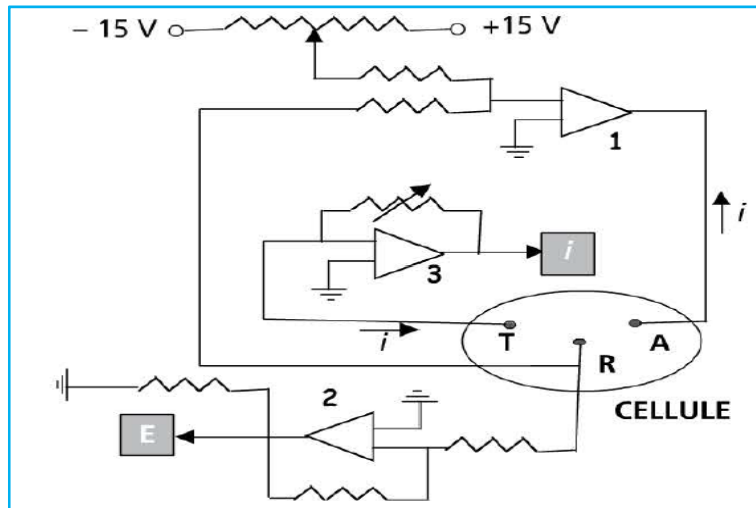


Figure 4. Schéma de principe d'un potentiostat

3. Potentiostat et galvanostat

Contrairement au potentiostat, un galvanostat (ou ampérestat) est un appareil permettant d'imposer un courant électrique afin de mesurer le potentiel électrique d'une cellule électrochimique [2] [11].

Cependant, il y a lieu de signaler que La plupart des potentiostats peuvent également être utilisés comme galvanostats, car il est plus facile de contrôler le courant que le potentiel. Un circuit très simple, du type de celui de la figure 5, suffit à contrôler le courant qui traverse la cellule. Ce dernier est donné par la formule suivante :

$$i = - \frac{V_e}{R} \tag{1.1}$$

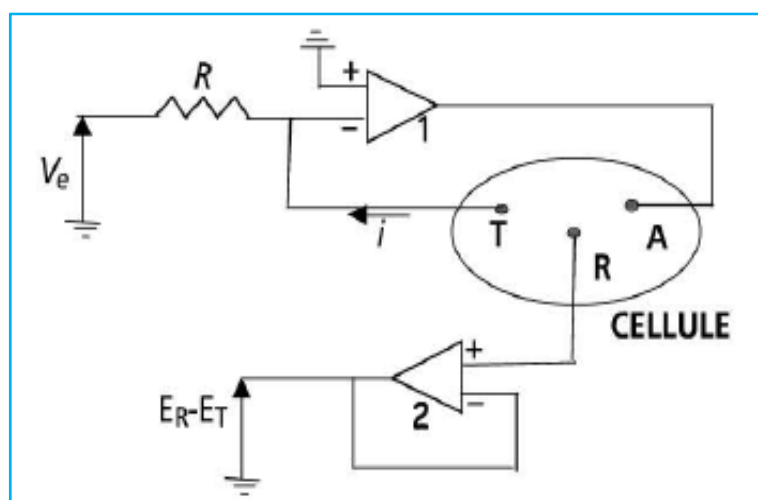


Figure 5 - Schéma de principe du galvanostat : T désigne la connexion à l'électrode de travail, A à l'électrode auxiliaire, R à la référence. Amplificateurs opérationnels : 1 = multiplicateur inverseur ; 2 = suiveur.

Chapitre II

Conception d'un potentiostat 2 voies

“Quand on est bien résolu d'accomplir un acte important, ce n'est pas la promptitude qui assurera le succès, mais la persévérance dans la volonté.”

Louis-Auguste Martin

Le potentiostat sujet de notre conception est un système technique qui répond à trois questions fondamentales illustrées dans le fameux diagramme dit “la bête à cornes” représenté par la figure 6.

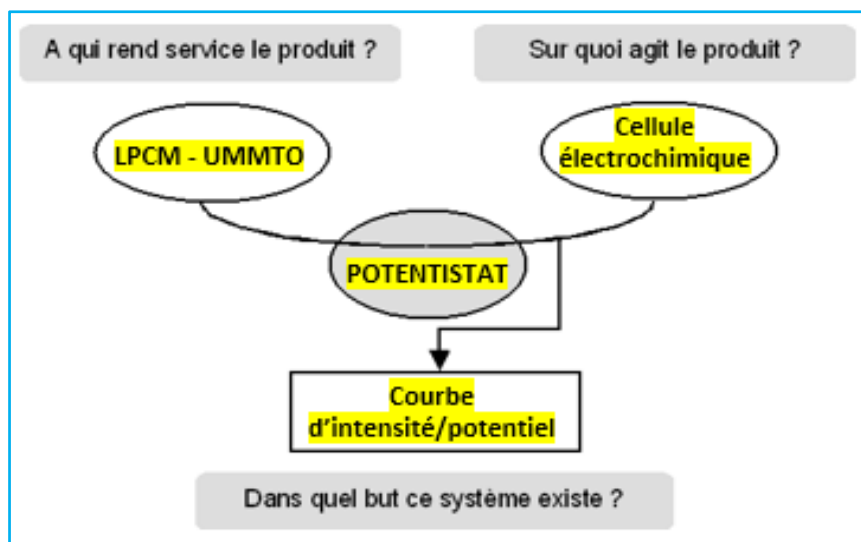


Figure 6. Diagramme de “la bête à cornes”

Nous allons dans ce qui suit aborder les points suivants : la motivation du choix de l'appareil ; le cahier des charges à respecter et enfin la description détaillée des aspects fonctionnel et structurel du potentiostat que nous allons réaliser.

1. Problématique

Le Laboratoire de Physique et Chimie des Matériaux (**LPCM**) de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour qui est destiné l'appareil que nous allons concevoir, dispose de potentiostats multivoies professionnels très sophistiqués (voir Figure 7), et fabriqués par **Metrohm Autolab** qui est une firme de renommée mondiale dans le domaine de l'électrochimie analytique.

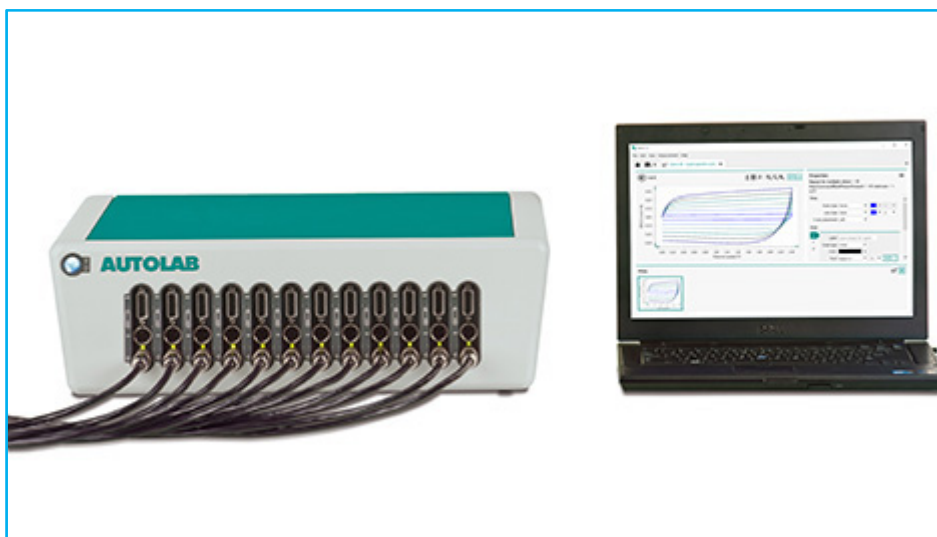


Figure 7. Potentiostat multivoies AUTOLAB

Ceci étant dit, on peut alors se poser la question suivante : pourquoi concevoir un appareil de mesure qui existe déjà au niveau du **LPCM** ? la réponse est simple : la sophistication prônée par le constructeur de l'appareillage professionnel qui existe au niveau du **LPCM** n'est pas exempte de certaines contraintes inhérentes à cette même sophistication. Parmi ces contraintes, on peut citer : le prix, une maintenance difficile et un encombrement physique conséquent.

Ajouter à cela, le fait que pour la plupart des travaux pratiques que les étudiants de chimie seront amenés à réaliser avec ce type d'équipement, une telle sophistication n'est pas nécessaire ; d'où l'idée de concevoir un appareil peu onéreux et facile à utiliser.

Cependant, il est important de souligner que notre humble dispositif n'a pas pour prétention ni vocation à rivaliser avec les appareils professionnels, néanmoins, il a le mérite de s'inscrire comme une alternative pédagogique.

2. Cahier des charges de la solution proposée

À l'instar de l'équipement professionnel qui existe au niveau du **LPCM**, notre dispositif doit répondre aux exigences suivantes :

- Nombre de voies : **02** ;
- Pilotage par ordinateur via une interface logicielle conviviale ;
- Nombre d'échantillon /seconde : **1000**.
- Modes d'excitation :
 - Signal triangulaire : $V_{\text{crête}} = \pm 1 \text{ V}$; Fréquence ajustable et inférieure à **100 Hz**.
 - Tension continue variable entre 0 et 1 V par pas de **0.05 V**.
- Fréquence d'échantillonnage : **100 KHz max**.
- Affichage : tension appliquée à l'électrode de travail, le courant parcourant l'électrode auxiliaire et la courbe d'intensité-potentiel.

3. Description détaillée du potentiostat

3.1 Schéma Synoptique global

Comme la plupart des appareils de mesure modernes, notre potentiostat multivoies est un dispositif composé, essentiellement, de deux parties (voir figure 8) :

- + Une partie « matérielle » qui comprend une partie « électronique » qui regroupe les circuits d'imposition, de contrôle et de mesure des variables électriques (potentiel, courant) et de la connectique qui s'y rattache ; et une partie « chimique » qui comprend les différentes électrodes immergées dans une cellule électrochimique.
- + Un volet « logiciel » qui, **via** une carte d'acquisition, permet de rendre plus convivial l'utilisation du potentiostat permettant ainsi une exploitation plus intelligible des résultats des mesures effectuées.

Le schéma synoptique global de niveau 1 du potentiostat à réaliser est représenté à la figure 8. On y distingue deux parties :

- + La partie analogique qui regroupe le bloc d'alimentation et les deux voies du potentiostat.
- + La partie numérique représentée par le module **NI USB-6218** est pilotée par un ordinateur via le port **USB**. Le module **NI USB-6218** remplit deux fonctions : l'acquisition et la génération de la tension d'excitation qui sera imposée à l'électrode de travail.

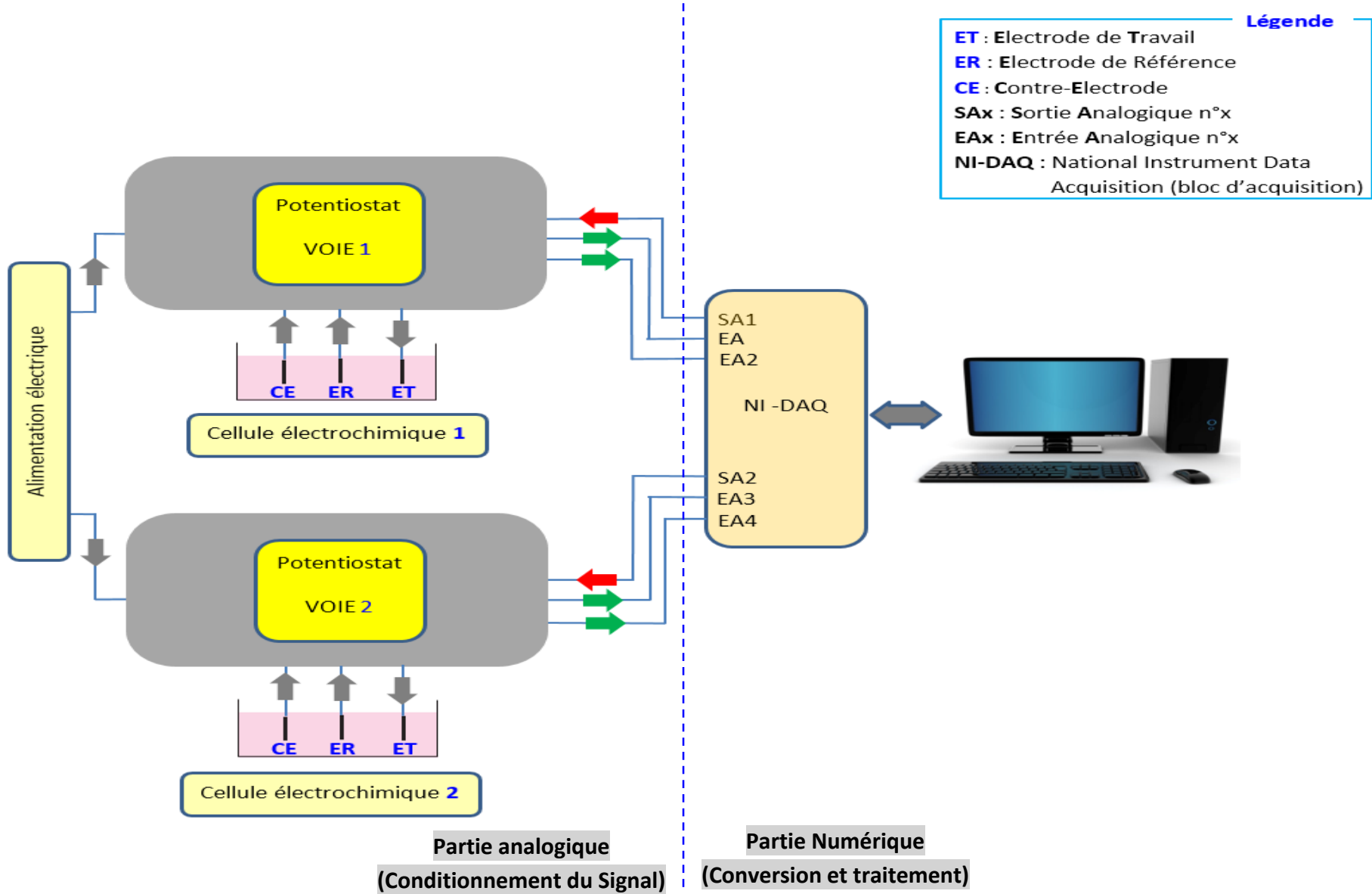


Figure 8. Schéma synoptique général de niveau 1 du potentiostat

Le potentiostat que nous allons réaliser possède deux voies complètement identiques. Le descriptif d'une voie du potentiostat est donné dans le schéma synoptique de niveau 2 illustré à la figure 9.

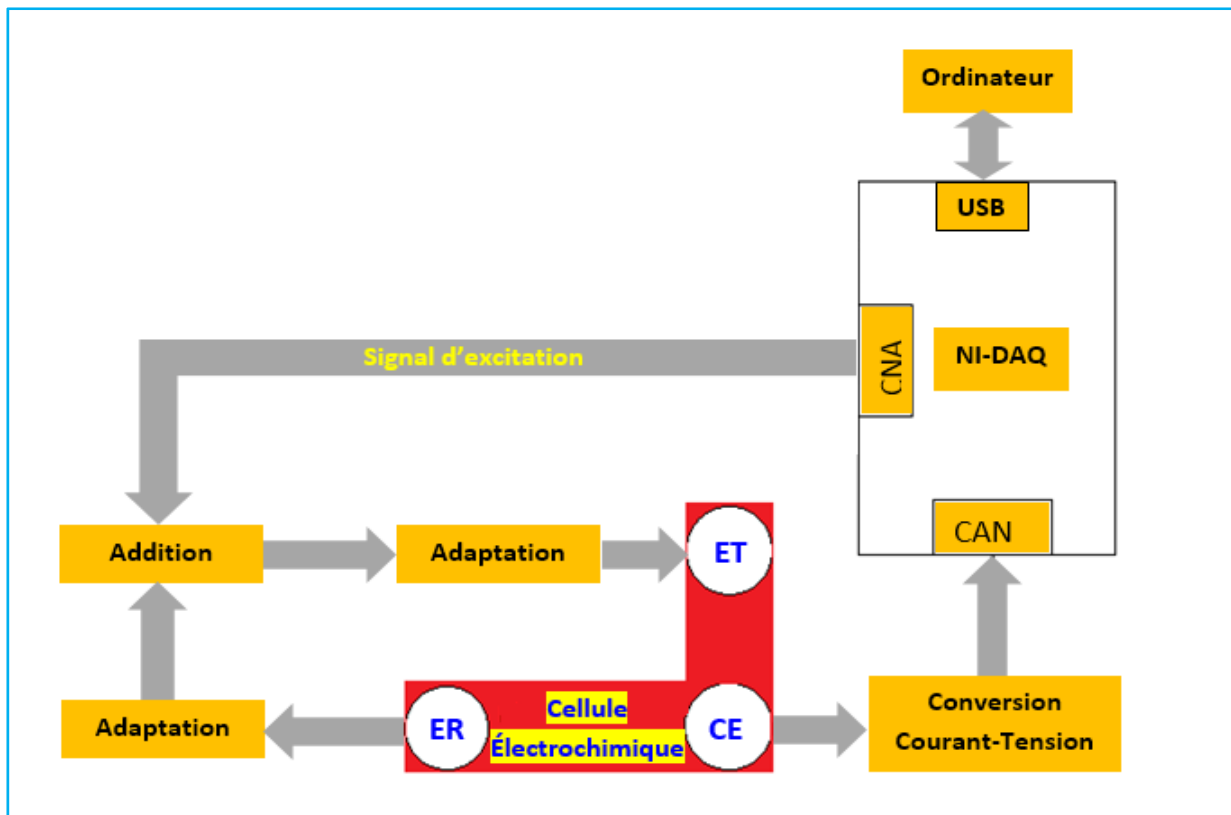


Figure 9. Schéma synoptique de niveau 2 d'une voie du potentiostat

Le concept fondamental d'un potentiostat est d'imposer un potentiel à l'électrode de travail afin de générer une force électromotrice capable de repousser les électrons vers l'électrode auxiliaire. En conséquence, la présence d'un générateur de signal est indispensable.

Cette fonction est entièrement gérée par l'ensemble **DAQ – PC**. Un convertisseur numérique – analogique (**CNA**) intégré au **DAQ** fournit cette tension via une des sorties analogiques du **DAQ**. Dans le cadre de notre conception, les tensions d'excitation qui seront utilisées sont : un signal triangulaire et une tension continue variable. Les paramètres du signal triangulaire comme l'amplitude, la fréquence et la phase seront ajustés par programme.

Il y a lieu de noter la présence d'un étage additionneur de tension, cela s'explique par le fait que la tension d'excitation de l'électrode travail est référencée par rapport à la tension de l'électrode de référence. En d'autres termes, la tension appliquée à l'électrode **ET** est la somme des tensions V_{ER} et V_{ET} .

Le bloc d'adaptation interposé entre l'additionneur et l'électrode **ET**, permet le maintien d'une tension d'excitation constante indépendamment de l'activité de la cellule électrochimique. L'autre bloc situé entre l'électrode **ER** et l'étage d'addition permet de réaliser une adaptation d'impédances entre ces derniers.

Enfin, Le courant qui parcourt l'électrode **CE** est converti en une tension puis dirigé vers le convertisseur analogique – numérique (**CAN**) du **DAQ** via une de ses entrées analogiques.

3.2 Schéma structurel

Nous avons délibérément fait le choix d'opter pour un système modulaire. En effet, notre dispositif est constitué de trois cartes électroniques : une carte d'alimentation régulée symétrique $\pm 12\text{ V}$; et deux cartes de conditionnement du signal, lesquelles seront raccordées au module **NI USB-6218**.

3.2.1 La carte d'alimentation électrique

L'alimentation que nous avons réalisé pour les besoins de notre potentiostat, est de type symétrique, autrement dit, il s'agit d'une alimentation double qui fournit une tension de sortie de $\pm 12\text{ V}$ avec un courant de charge qui peut atteindre **1A**.

Le schéma structurel représentant le circuit d'alimentation dans sa globalité est illustré sur la figure **10**.

La tension alternative fournie par le secteur est abaissée par le transformateur **TR1** puis redressée par le pont formé des diodes **D1**, **D2**, **D3** et **D4**. On obtient alors deux tensions redressées : positive et négative. Le filtrage de ces dernières est confié respectivement aux condensateurs réservoirs **C11** et **C12**. La régulation des tensions filtrées est réalisée par deux circuits intégrés qui sont le **LM317** pour la tension positive et le **LM337** pour la tension négative. Les LED témoins **D9** et **D10** indiquent le bon fonctionnement du circuit d'alimentation.

Choix technologiques et dimensionnement

✚ La varistance **VR1**, placée en parallèle sur le primaire du transformateur permet d'écrêter les surtensions jusqu'à une valeur de **420 V_{eff}**.

✚ Les diodes **D5** et **D6** empêchent les condensateurs de sortie de se décharger dans les régulateurs de tension, en cas de court-circuit en entrée. Les diodes **D7** et **D8** quant à elles permettent de décharger les condensateurs placés entre les bornes d'ajustage des régulateurs et la masse, en cas de court-circuit sur la sortie (respectivement **C7** et **C8** sur le schéma de la figure **10**).

✚ Les Condensateurs **C7** et **C8** découplent les bornes “**ADJ**” des régulateurs ce qui augmente la rejection de l'ondulation résiduelle. La valeur de **10 μF** est celle préconisée dans la fiche technique du composant (voir datasheet **Annexe II**).

✚ Les Condensateurs **C13**, **C14** et **C15**, **C16** sont des condensateurs de découplage pour les sorties des régulateurs (**C15**, **C16** pour les hautes fréquences ; **C13**, **C14** pour les basses fréquences).

✚ À l'instar des régulateurs intégrés **78xx** et **79xx** dont la tension de sortie dépend uniquement du régulateur, la tension de sortie des régulateurs intégrés **LM317** et **LM337** est, quant à elle, déterminée par la valeur des résistances **R13** et **R15** pour la branche positive, et des résistances **R14** et **R16** pour la branche négative (voir datasheet **Annexe II**). Les équations (2.1) et (2.2) qui permettent de calculer les tensions de sorties des régulateurs sont :

$$V_{out_{LM317}} = 1,25 * \left(1 + \frac{R13}{R15} \right) \quad (2.1)$$

$$V_{out_{LM337}} = 1,25 * \left(1 + \frac{R14}{R16} \right) \quad (2.2)$$

Dans notre cas, la tension de sortie doit être de **± 12 V**, et en prenant **R15 = R16 = 200 Ω** dans la série **E96** (**± 1%**), on obtient alors :

$$R13 = R14 = 1740 \Omega$$

Comme la valeur obtenue pour les résistances **R13** et **R14** figure dans la série **E96**, nous allons donc conserver cette valeur.

Enfin, Il est important que les résistances **R15** et **R16** soient situées au plus proche de leur régulateur respectif. Surtout pour la patte de la résistance située côté sortie régulateur. Cela permet de garantir une meilleure régulation en charge, c'est à dire de limiter les variations de tension en sortie, en fonction des variations du courant débité.

✚ Les résistances de limitation **R17** et **R18** sont dimensionnées de telle sorte à ce que le courant maximum qui traverse les diodes soit de **10 mA** en utilisant l'équation (2.3) :

$$R17/18 = \frac{U_{ALIM} - V_F}{I_F} \quad (2.3)$$

U_{ALIM} représentant la tension à la sortie des régulateurs, **V_F** la tension aux bornes de la LED et **I_F** le courant direct qui la traverse.

Les LED étant alimentées avec une tension de **± 12 V**, il y a lieu de choisir des résistances de **1/4** de watt.

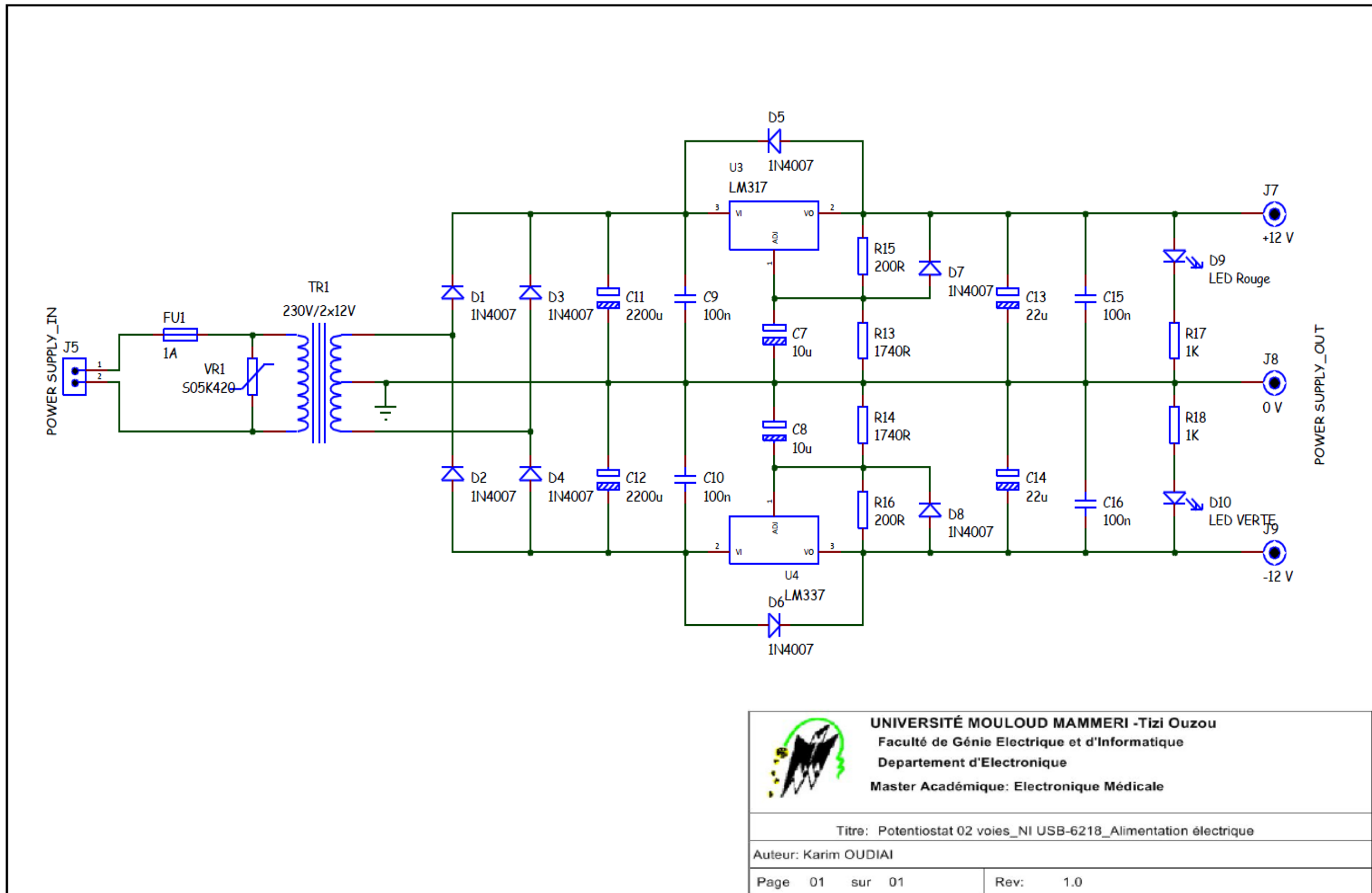


Figure 10. Schéma électronique de la carte d'alimentation

3.2.2 Le circuit de conditionnement

Avant que le signal ne soit traité par le module **NI USB-6218**, il doit être conditionné. Nous avons choisi de confier cette tâche au composant analogique à tout faire : l'amplificateur opérationnel. Le conditionnement va comprendre les fonctions suivantes : l'adaptation, l'amplification, la sommation et la conversion courant – tension. Le schéma global du circuit de conditionnement est représenté par la figure **12**.

Le potentiostat à réaliser ayant deux voies complètement identiques, l'étude portera uniquement sur une voie. La figure **11** illustre le schéma électronique d'une voie du potentiostat.

Le cœur du circuit analogique est le quadruple amplificateur opérationnel à entrées **FET** : **TL 084CN** (voir datasheet **annexe II**). Ce choix est justifié par les valeurs extrêmement faibles de ses courants d'entrée (typiquement inférieurs à 100 pA). Il est constitué de quatre blocs :

L'amplificateur OP4

C'est un suiveur de tension. Il permet une adaptation d'impédance entre l'électrode de référence et l'entrée de l'additionneur. L'étage autour de l'**OP4** étant à gain unitaire, nous avons alors :

$$S_{OP4} = V_{ER} \quad (2.4)$$

Les amplificateurs OP1 et OP2

Monté en additionneur, le rôle de l'amplificateur **OP1** consiste à imposer et maintenir constant la tension de l'électrode de travail par rapport à celle de l'électrode de référence. La tension d'excitation V_{ET} est générée par le **DAQ** et disponible via sa sortie analogique. Nous avons choisi deux types d'excitation :

- Un signal triangulaire qui varie entre $\pm 1 \text{ V}$;
- Une tension continue variable manuellement par pas de 50 mV.

Nous avons à l'entrée de l'amplificateur **OP1** :

$$E_+ = E_- = 0 \quad (2.5)$$

Le courant, entrant en **E**, de l'amplificateur **OP1** est pratiquement nul, d'où :

$$\frac{S_{OP4}}{R5} + \frac{V_{SAO0}}{R5} + \frac{S_{OP1}}{R4} = 0 \quad (2.6)$$

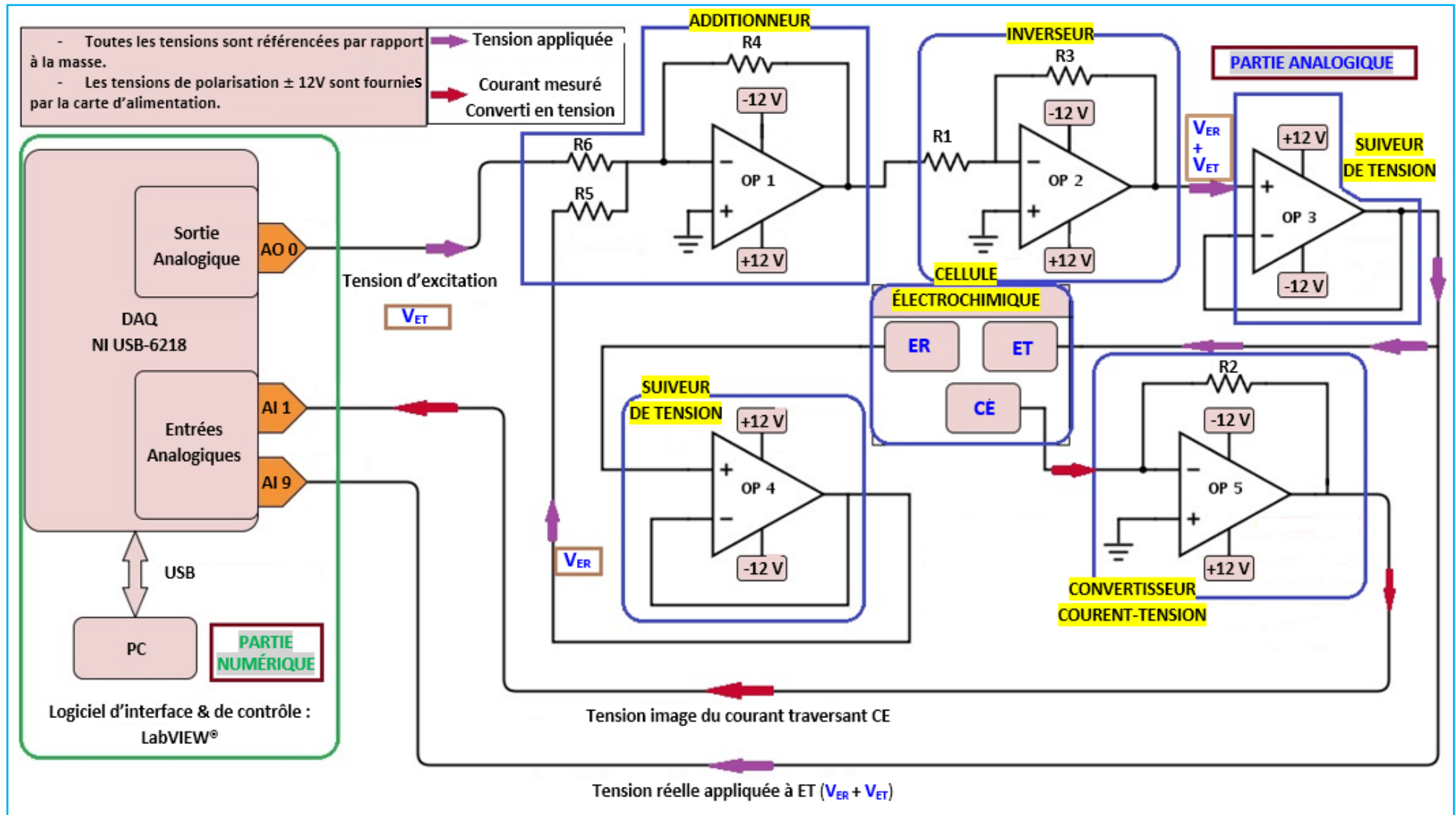


Figure 11. Schéma électronique d'une voie du potentiostat

Étant donné que $R5 = R6 = R4$ et $S_{OP1} = V_{ER}$, nous obtenons alors l'équation (2.7) :

$$S_{OP1} = -(V_{SAO0} + V_{ER}) \quad (2.7)$$

La polarité de la tension appliquée à une cellule électrochimique étant un facteur déterminant dans le comportement de la cellule, l'additionneur est suivi d'un étage d'inversion de polarité réalisé par l'amplificateur opérationnel **OP2** et les résistances **R1** et **R3**. Cet étage étant considéré comme partie intégrante de l'additionneur, il n'a pas été représenté sur le schéma synoptique illustré sur la figure 9.

Le gain de l'**OP 2** étant égal à **1**, sa tension de sortie est alors donnée par l'équation (2.8) :

$$S_{OP2} = -S_{OP1} = V_{SAO0} + V_{ER} \quad (2.8)$$

L'amplificateur OP5

Il joue le rôle d'un convertisseur courant – tension. Nous avons alors :

$$E_+ = E_- = 0 \quad (2.9)$$

$$S_{OP5} = -R2.I \quad (2.10)$$

Étant donné que $R2 = 1 \text{ K}\Omega$ à 1 %, le voltmètre « intensité » indique une tension – **1 V** pour une intensité **I** de **1 mA** (à 1 % près).

Cependant, il y a lieu de souligner que S_{OP5} étant limitée à **12 V** par la tension d'alimentation, **I** sera obligatoirement limité à **12 mA**. Il faudra donc adapter la concentration des solutions et la dimension des électrodes.

3.2.3 la carte d'acquisition NI USB-6218

Pour pouvoir tracer les courbes d'intensité-potential, notre dispositif doit d'abord faire l'acquisition de ces deux grandeurs électriques, d'où la nécessité d'une carte d'acquisition. Vu les contraintes imposées par notre cahier des charges, Nous avons opté pour un module de la série **M** commercialisé par *National Instruments*, il s'agit du boîtier **NI-6218** dans sa version **USB** représenté à la figure 13 et dont les principales caractéristiques sont regroupées dans le tableau 2 [12].

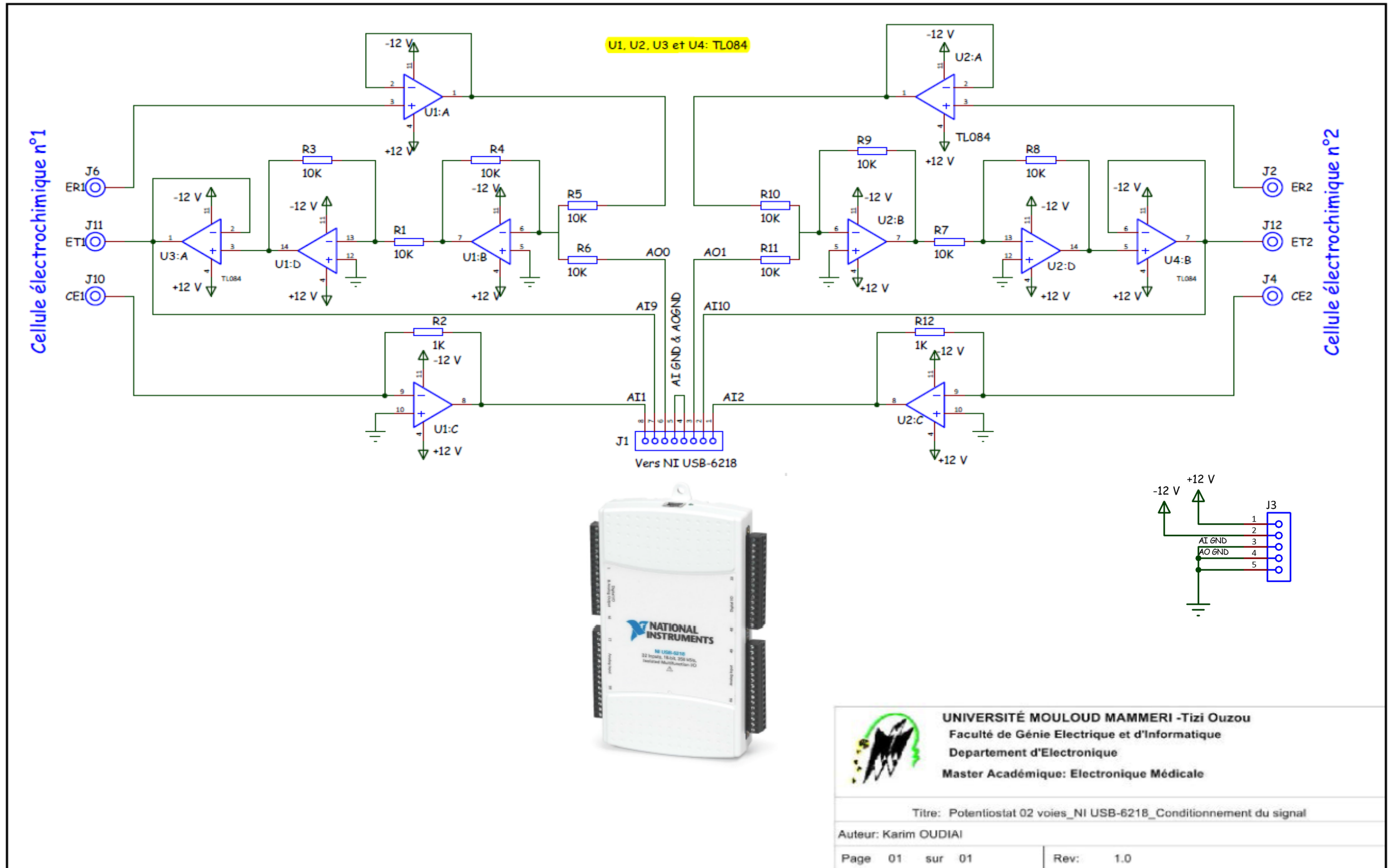



Figure 12. Schéma électronique global du circuit de conditionnement


UNIVERSITÉ MOULoud MAMMERI -Tizi Ouzou
 Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
 Département d'Electronique
 Master Académique: Electronique Médicale

Titre: Potentiostat 02 voies_NI USB-6218_Conditionnement du signal

Auteur: Karim OUDIAI

Page 01 sur 01 Rev: 1.0

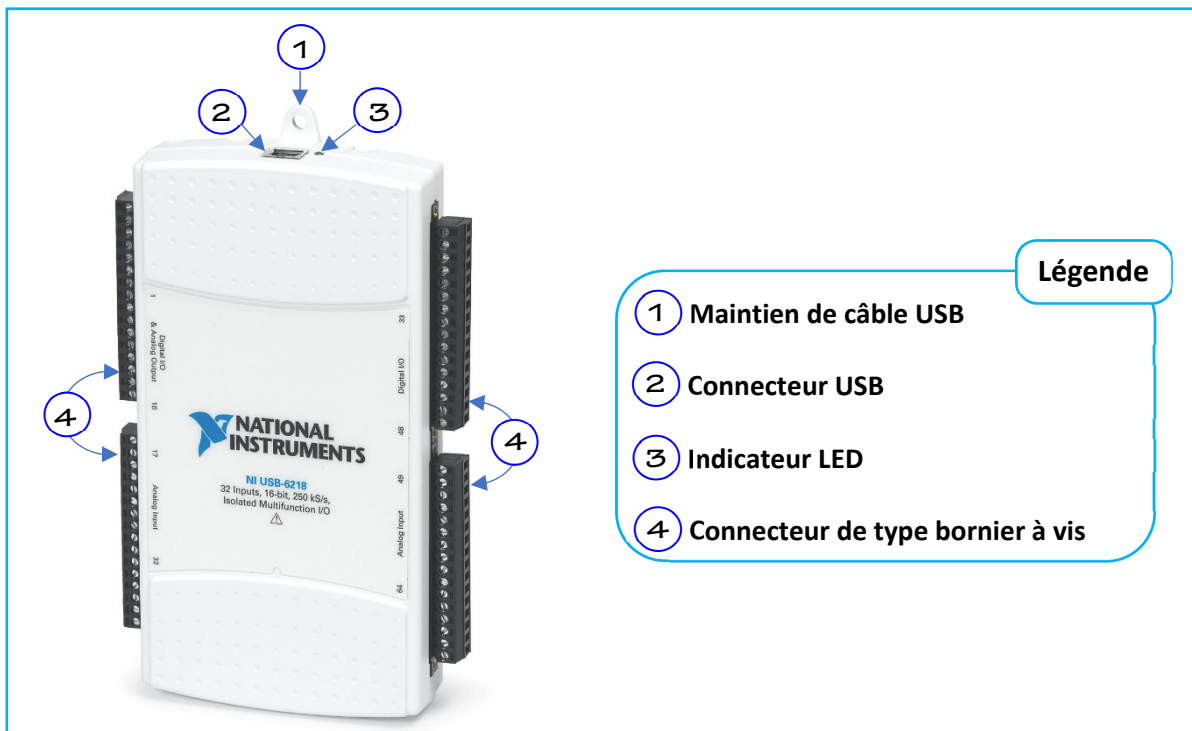


Figure 13. Description du module NI USB-6218

Fonctionnalité	Description
Entrées Analogiques	<ul style="list-style-type: none"> - 16 voies en mode différentiel, 32 en mode asymétrique ; - Résolution du CAN : 16 bits ; - Fréquence d'échantillonnage (voie uniques/voies multiples) : 250 KÉch/s ; -Tension maximale (signal + mode commun) : $\pm 10.4V$ en mode asymétrique.
Sorties Analogiques	<ul style="list-style-type: none"> - 2 voies - Résolution du CNA : 16 bits ; -Tension maximale : $\pm 10V$.
Entrées/ Sorties Numériques	<ul style="list-style-type: none"> - 16 voies d'entrées/sorties numériques statiques. - 16 voies d'entrées/sorties numériques configurables.
Compteurs/ Timers	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre : 2. - Résolution : 32 bits ;

Tableau 2. Les principales caractéristiques du module NI USB-6218

Le brochage physique de module **NI USB-6218** est donnée à la figure 14.

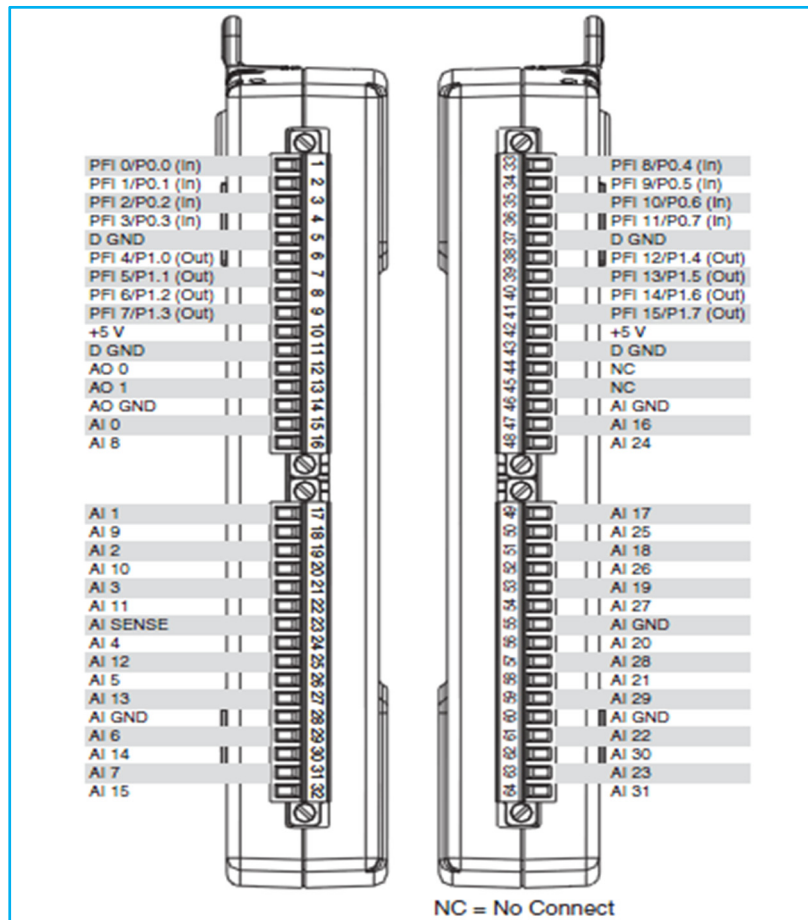


Figure 14. Brochage physique du module **NI USB-6218**

La description détaillée, quant à elle, est donnée dans le chapitre dédié au module d'acquisition annexé à ce présent mémoire (§ 2.1 pp – A1-4 et A1-5).

Notre montage étant piloté par un ordinateur, nous allons dans ce qui suit nous intéresser uniquement aux ressources matérielles qui seront réquisitionnées pour les besoins de notre conception sans évoquer l'aspect logiciel. Ce dernier sera abordé dans le prochain chapitre.

D'après le schéma représenté figure 12, chacune des deux voies de notre potentiostat mobilisera **trois** bornes de la carte **NI USB-6281** réparties comme suit :

- ✚ Voie n°1 : les entrées analogiques (**AI 0, AI 8**) et la sortie analogique **AO 0** ;
- ✚ Voie n°2 : les entrées analogiques (**AI 1, AI 9**) et la sortie analogique **AO 1** ;

Les entrées ainsi que les sorties analogiques utilisées sont configurées dans le mode **RSE** (Referenced Single-Ended), autrement dit : c'est des signaux référencés à leurs masses respectives, soit **AI GND** pour les entrées analogiques, et **AO GND** pour les sorties analogiques. Toutes fois, il y a lieu de signaler que ses deux masses sont mises en commun conformément aux directives du constructeur de la carte d'acquisition.

Il reste un point très important, celui de la configuration de la manière dont se fera l'acquisition de la différence de potentiel entre l'électrode de travail et celle de référence ainsi que la tension image du courant qui traverse la contre-électrode. Cette configuration se fera exclusivement de manière logicielle en utilisant l'environnement de programmation **LabVIEW®**.

Chapitre III

Réalisation, Tests et Mesures

“ Commencer par s'accepter petit, c'est déjà accomplir un grand pas.”

Ronald Reagan

La conception de notre potentiostat étant décrite sous ses aspects fonctionnel et structurel dans le chapitre précédent, nous allons aborder dans celui-ci trois points essentiels, à savoir :

- ✚ La conception, sous **LabVIEW®**, de l'interface logicielle qui va nous permettre de piloter notre potentiostat ;
- ✚ La réalisation de notre dispositif : conception du circuit imprimé et du boîtier.
- ✚ La réalisation de tests de calibration et de mise en marche du produit final.

1. Conception de l'interface logicielle

Une fois les signaux ont été numérisés, les signaux acquis doivent être représentés sur des graphiques : évolution temporelle des signaux et courbes en mode XY. Cette tâche est réalisée grâce au logiciel LabVIEW®.

Pour l'utilisateur, un programme écrit en LabVIEW® se présente comme une fenêtre graphique représentant la face avant d'un instrument de mesure d'où le nom d'instruments virtuels (VI) donné aux codes LabVIEW® (l'extension du nom des programmes LabVIEW® est .vi) [13] [14] [15] [16] [17].

Notre dispositif faisant à la fois l'acquisition et la génération de tension d'excitation, le code G de notre potentiostat contiendra 02 blocs tel qu'illustré sur la figure 15. Ajouté à cela, le fait que notre potentiostat ayant deux voies similaires en tout point, nous allons juste décrire la conception d'une seule voie qu'on dupliquera par la suite.

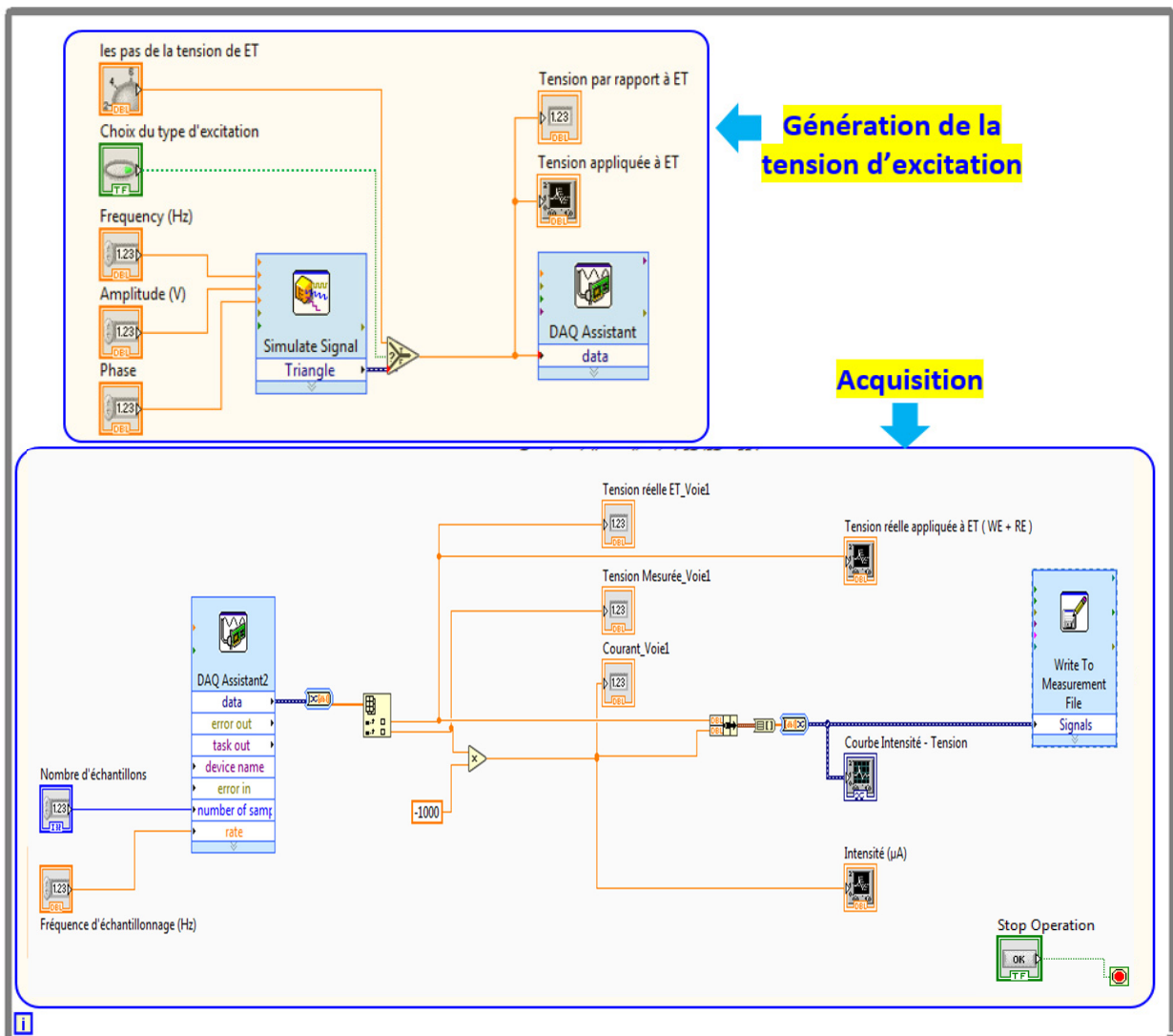


Figure 15. La fenêtre diagramme d'une voie du potentiostat

Le processus de création de notre interface logicielle d'une seule voie est décrit ci-dessous :

Etape 1 – création du projet "Potentiostat" tel qu'illustrée à la figure 16-a. Un instrument virtuel est alors créé. Ce dernier se compose d'une face avant (figure 16-b) et d'un diagramme (figure 16-c).

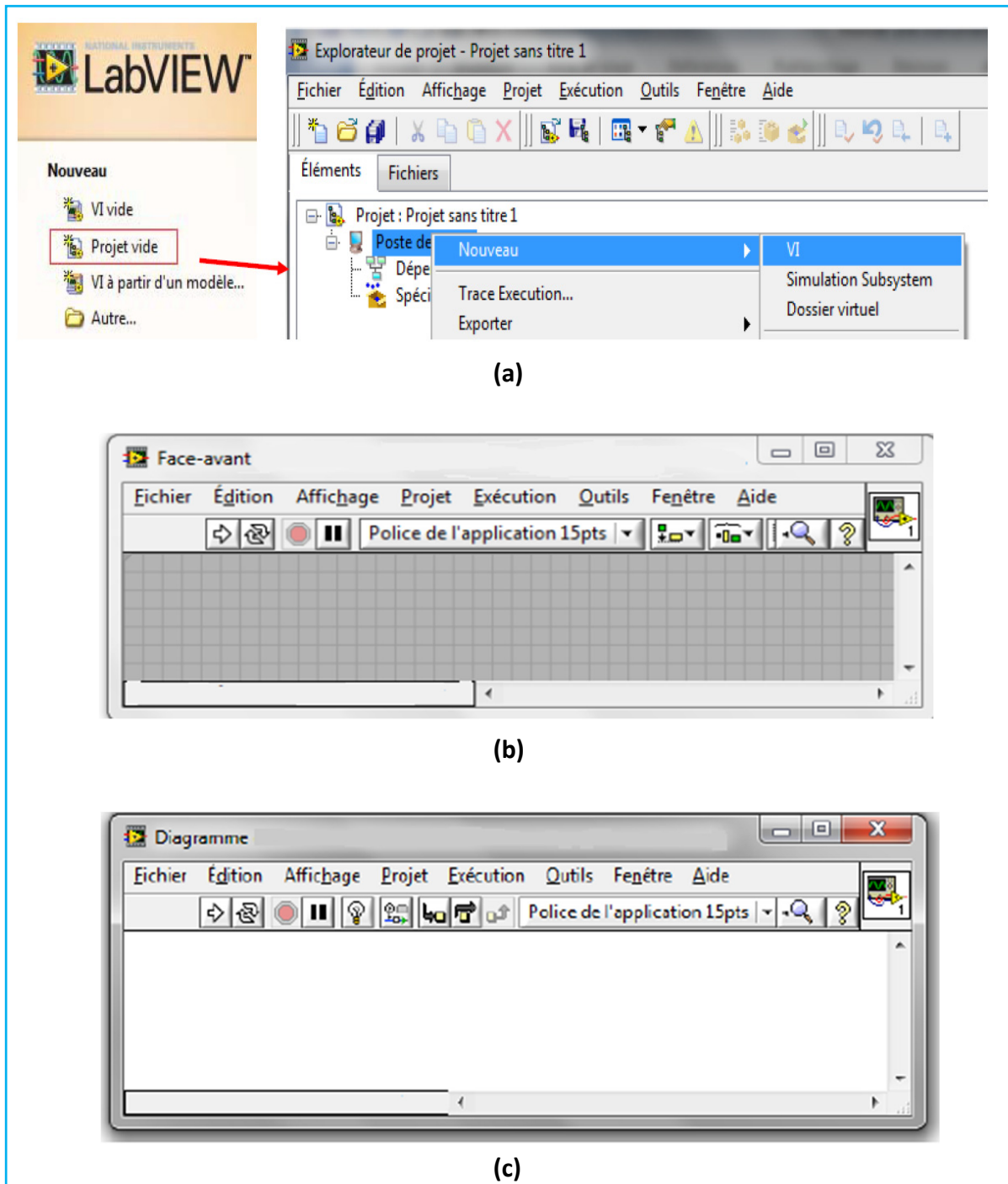


Figure 16. La phase de création du projet "Potentiostat"

Etape 2 – création de la face avant de l'instrument virtuel, à travers laquelle, l'utilisateur du potentiostat pourra introduire des commandes et visualiser les résultats des mesures qu'il effectuera [18] [19] [20].

Dans notre cas, nous avons besoin de 5 graphes déroulants. Ces derniers se trouvent dans la palette commandes (voir figure 17).

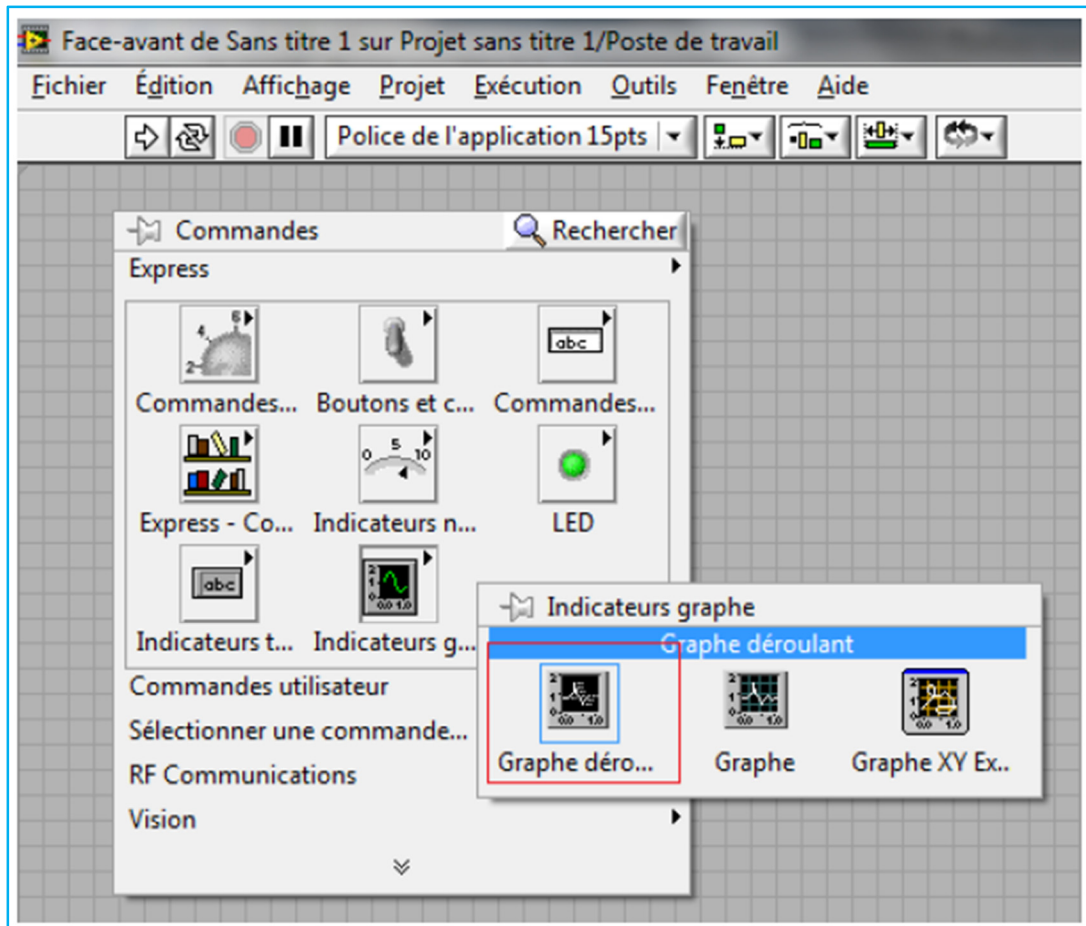
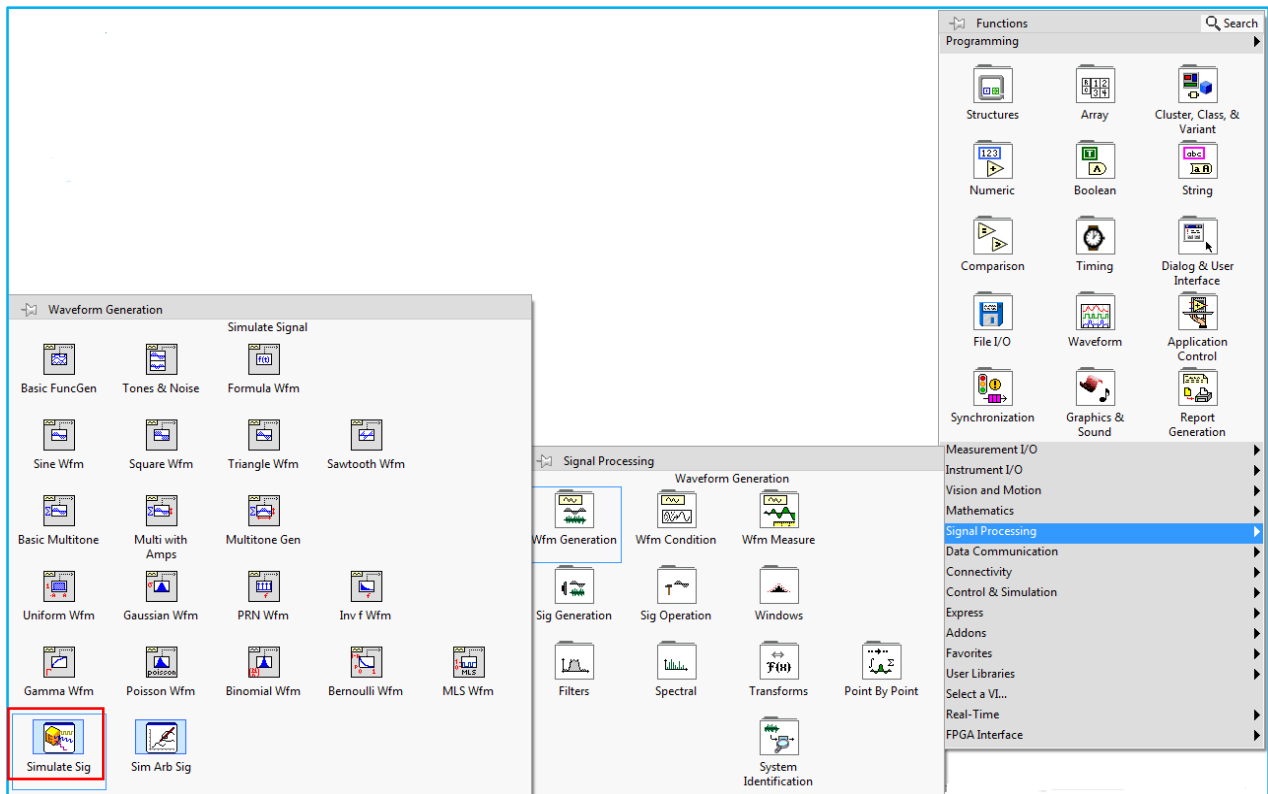


Figure 17. Palette contenant les graphes.

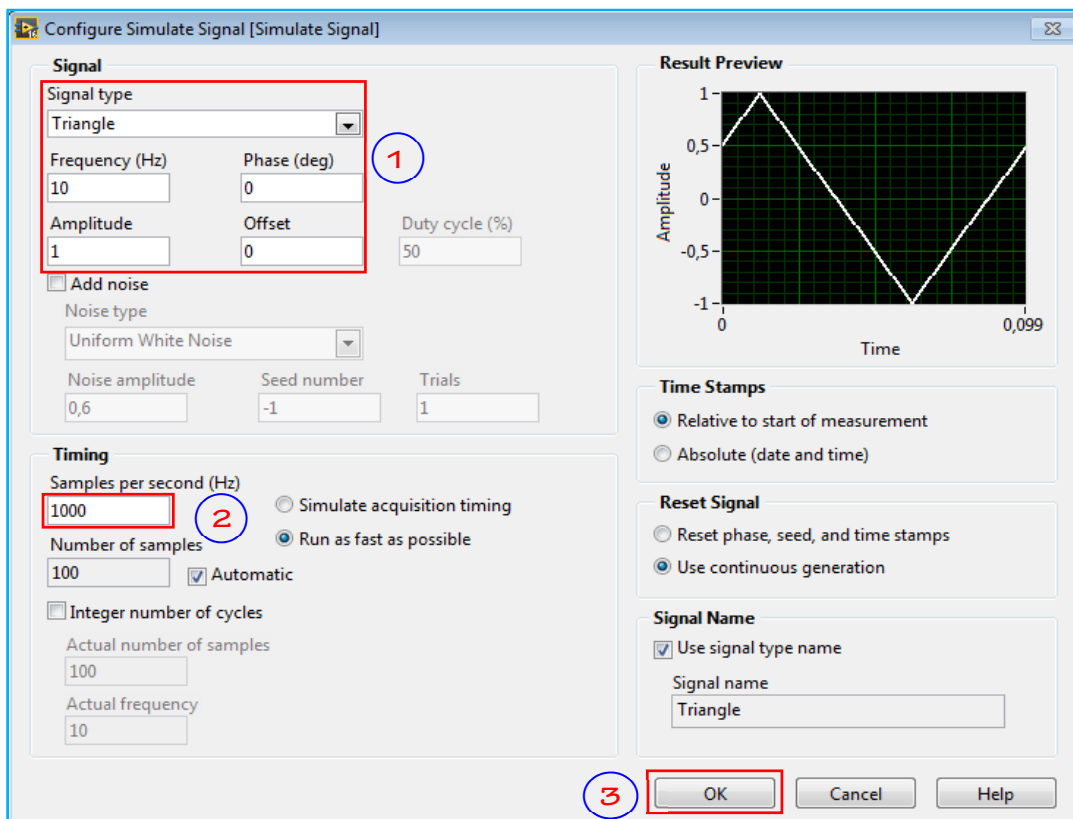
Etape 3 – C'est au niveau de cette étape que la programmation des différentes tâches, qu'elles soient de l'acquisition ou de la génération de signaux, que va effectuer le potentiostat, est réalisée. Les graphes sélectionnés sur la face avant de l'instrument sont déjà présents.

Pour la suite, le module d'acquisition **NI USB-6218** doit être raccordé et son driver installé. En premier lieu, on va s'occuper de la partie génération des signaux d'excitation de l'électrode de travail. Ce dernier, sera généré par le module "simulation signal" disponible sur la palette des fonctions (figure 18-a) qu'on va configurer tel qu'illustré sur la figure 18-b.

Les paramètres du signal triangulaire étant intrinsèquement liés aux spécifiées de cellule électrochimique utilisée et l'objectif poursuivi par la mesure, des commandes ont été prévues pour les rendre variables (voir figure 19).



(a)



(b)

Figure 18. Le module “simulation signal” (a) et sa configuration (b)

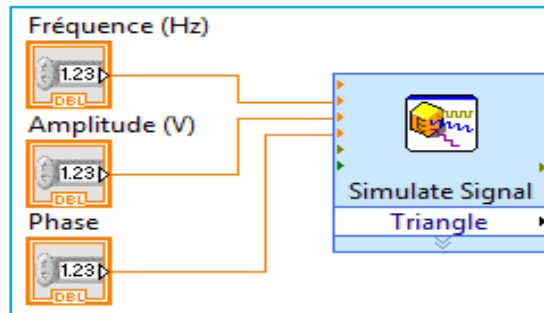
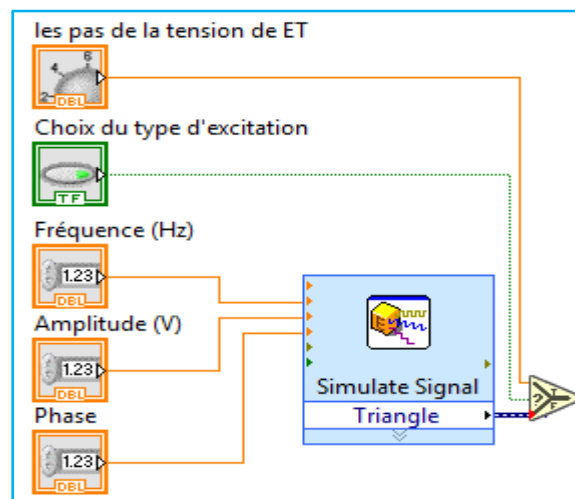
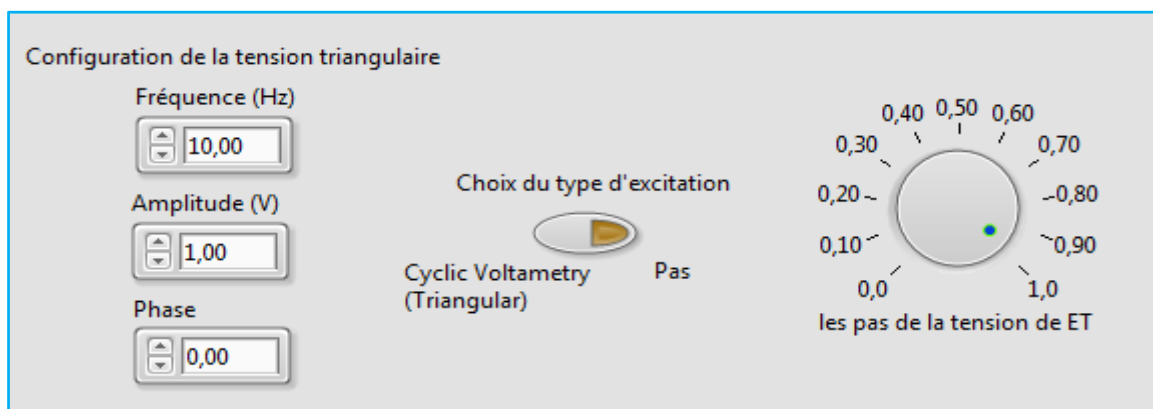


Figure 19. Le module “simulation signal” avec les commandes de ses paramètres

Comme énoncé dans le cahier des charges, l’excitation de l’électrode de travail devant se faire soit par le signal triangulaire décrit ci-dessus, soit par une tension continue variable par pas de **50 mV**, la figure 20-a illustre le code **G** correspondant à la tâche de sélection de la tension d’excitation, tandis que la figure 20-b illustre le résultat sur la face avant de l’instrument.



(a)



(b)

Figure 20. Code **G** permettant la sélection de la tension d’excitation (a) et le résultat sur la face avant (b)

L'outil permettant la sélection du type de la tension d'excitation est sélectionné tel qu'illustré sur la figure 21.

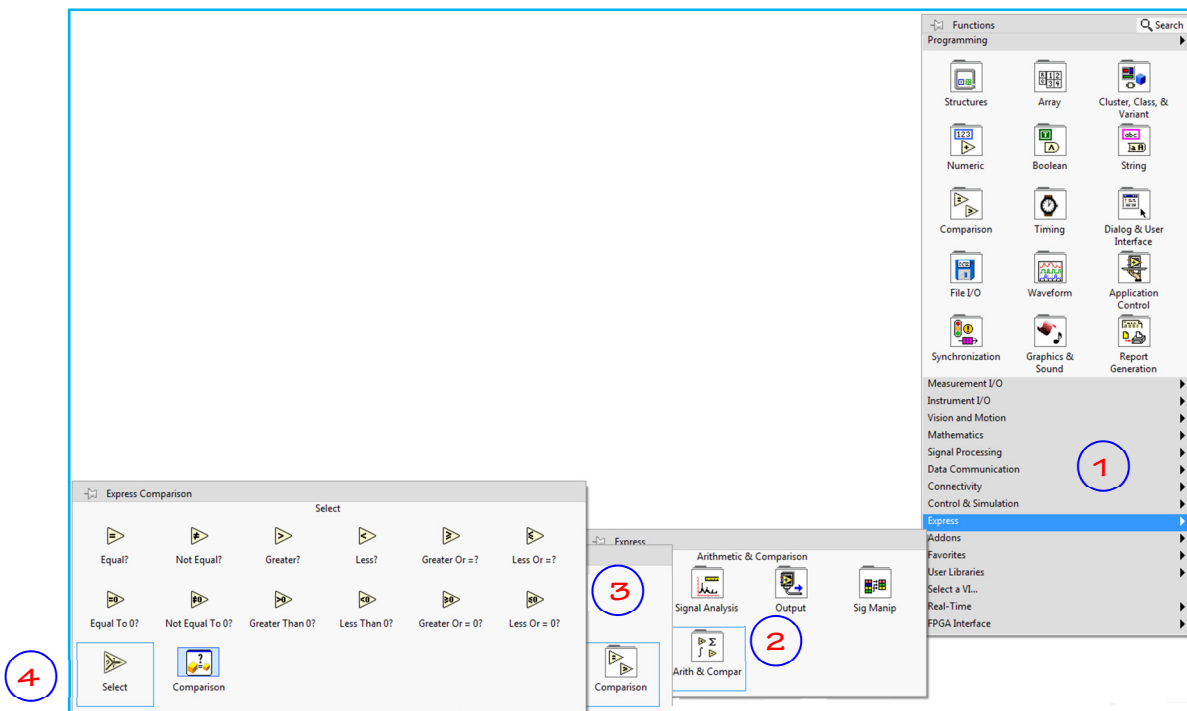


Figure 21. La sélection de l'outil "Select"

Une fois la tension d'excitation sélectionnée, le module "Assistant DAQ" (figure 22) va se charger de l'acheminer vers une sortie analogique du DAQ. La configuration du module "Assistant DAQ" est représentée sur la figure 23.

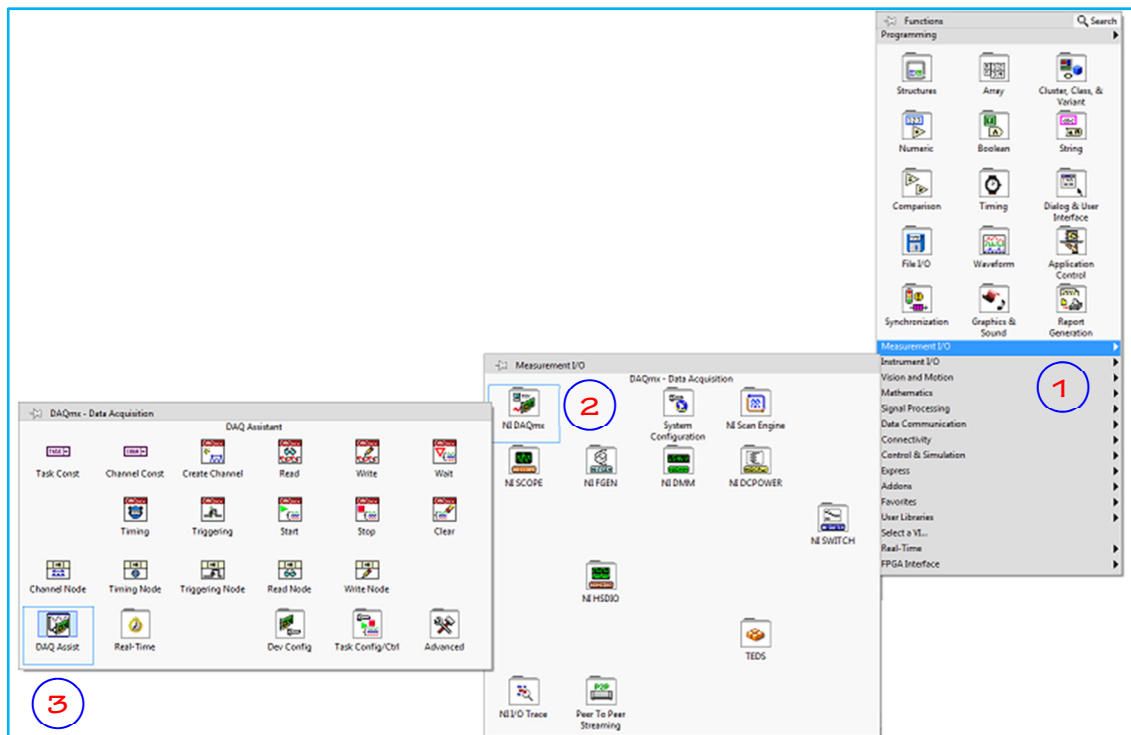


Figure 22. La sélection de l'outil "Assistant DAQ"

The figure illustrates the configuration steps for an analog DAC output in the DAQ Assistant:

- 1**: Selecting the measurement type for the task. Under "Generate Signals", "Analog Output" is expanded, and "Voltage" is selected.
- 2**: Selecting the physical channel(s) to add to the task. Under "Supported Physical Channels", "ao0" and "ao1" are selected.
- 3**: Clicking the "Finish" button to complete the channel selection.
- 4**: Configuring the test signal type. The "Test Signal Type" dropdown is set to "Triangle Wave".
- 5**: Configuring the voltage output setup. The "Signal Output Range" is set to "Scaled Units" with a maximum of 1 and a minimum of -1. The "Terminal Configuration" is set to "RSE".
- 6**: Confirming the "Terminal Configuration" dropdown menu.
- 7**: Configuring the timing settings. The "Generation Mode" is set to "N Samples".
- 8**: Clicking the "OK" button to apply the settings.

Figure 23. Configuration de la sortie analogique du DAC avec “ Assistant DAQ ”

Une fois le module “Assistant DAQ” configuré, il sera câblé au reste du circuit de génération tel qu’illustré sur la figure 24.

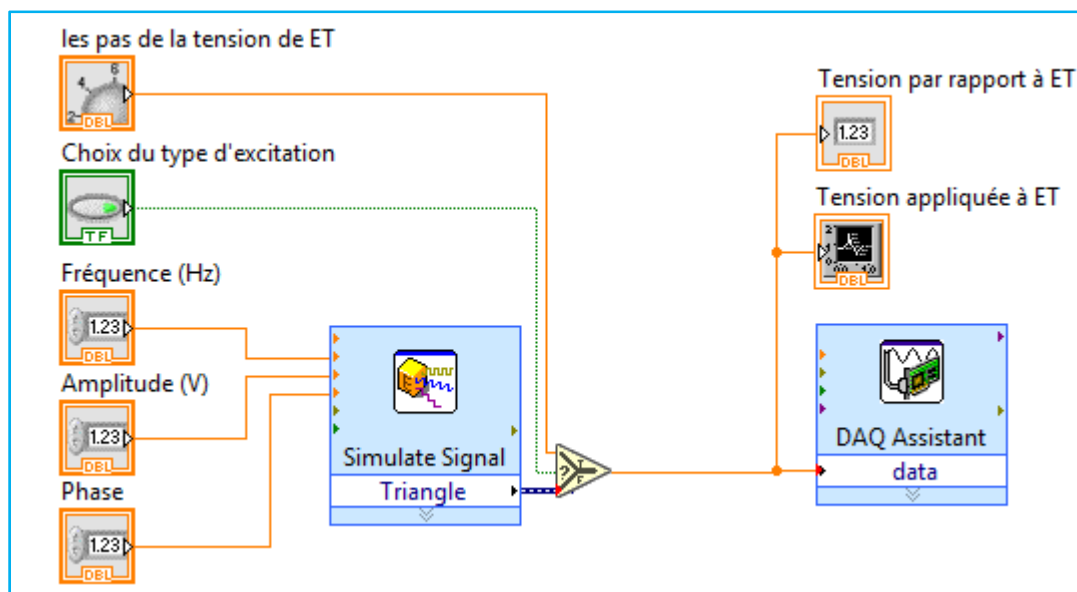


Figure 24. Code G du bloc Génération du signal d’excitation finalisé

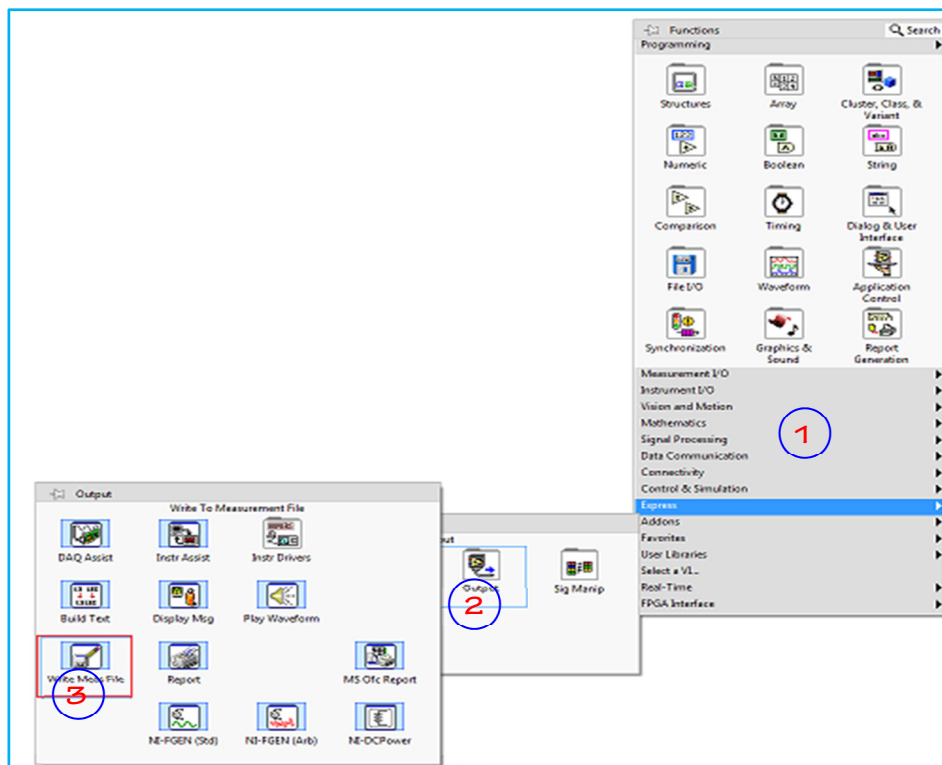
Un deuxième module “Assistant DAQ” est nécessaire pour configurer les entrées analogiques d’acquisition : la tension de l’électrode de travail par rapport à celle de référence, et la tension image du courant traversant la contre électrode (voir figure 26).

La tâche d’acquisition consiste à numériser les grandeurs analogiques objet de la mesure. Ces dernières sont dites “dynamiques” en raison de leur variabilité dans le temps. À la sortie du 2^{ème} module “Assistant DAQ”, les données doivent être regroupées dans un tableau à plusieurs dimensions via l’outil “Convert from Dynamic Data”. Cette opération est nécessaire si l’on veut représenter graphiquement soit l’évolution temporelle individuelle des grandeurs acquises (graphe déroulant), soit l’évolution d’une grandeur en fonction de l’autre.

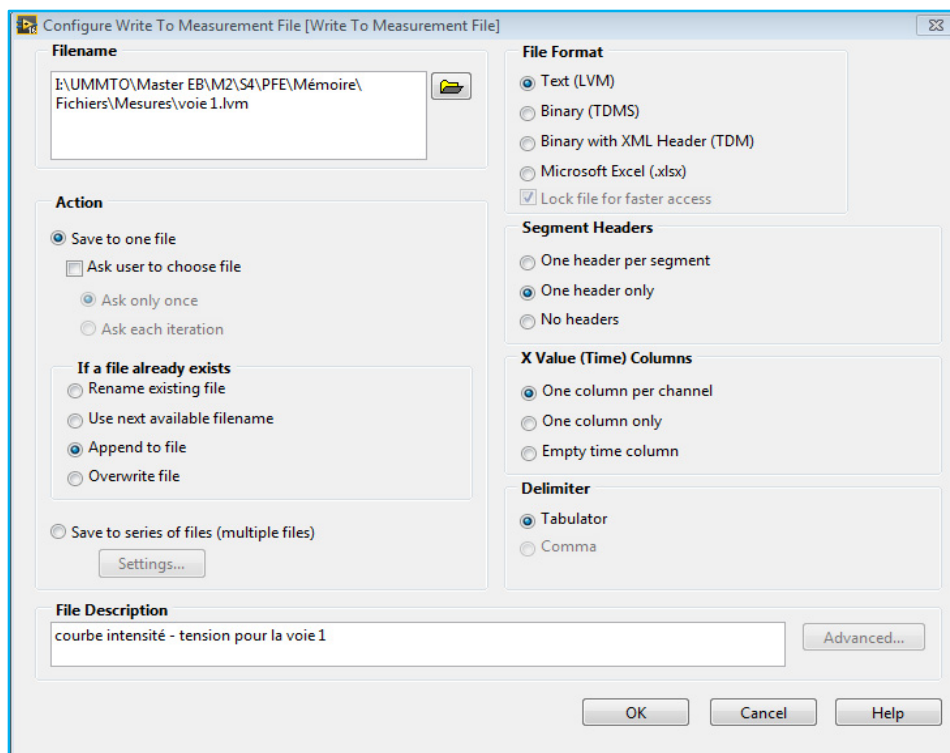
Les échantillons de la version numérisée de la tension image du courant de la contre-électrode doivent être multipliés par (-1000) pour pouvoir avoir des valeurs en **microampères**.

Pour pouvoir construire un graphe, on fait appel au module “Graph” qu’on peut sélectionner sur la face avant sur la palette des commandes, à l’intérieur du groupement “Modern”. Cependant, les données représentant respectivement les axes X et Y doivent être, au préalable, séparément concaténées via l’outil “Build array” ; puis converties, de nouveau, en données dynamiques.

Les résultats de mesure devant être sauvegardés, pour une utilisation ultérieure, ils doivent être sauvegardés dans un fichier grâce à l'outil "Write to Measurement File" qui se trouve sur la palette "Fonctions" (voir figure 25-a). La configuration de l'outil est illustrée sur la figure 25-b.



(a)



(b)

Figure 25. La sélection de l'outil "Write to Measurement File" (a) et sa configuration (b)

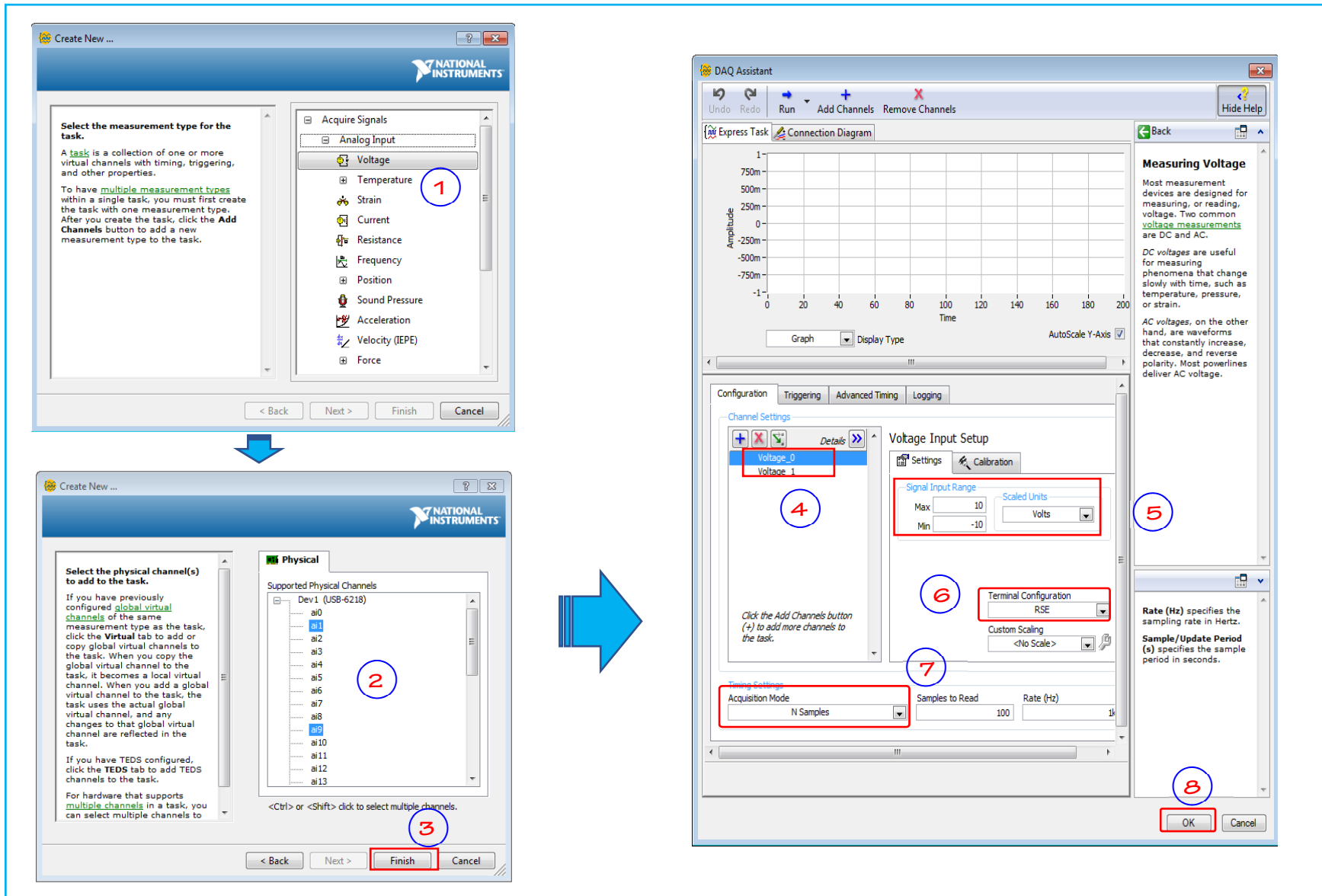


Figure 26. Configuration des entrées analogiques du DAC avec “ Assistant DAQ ”

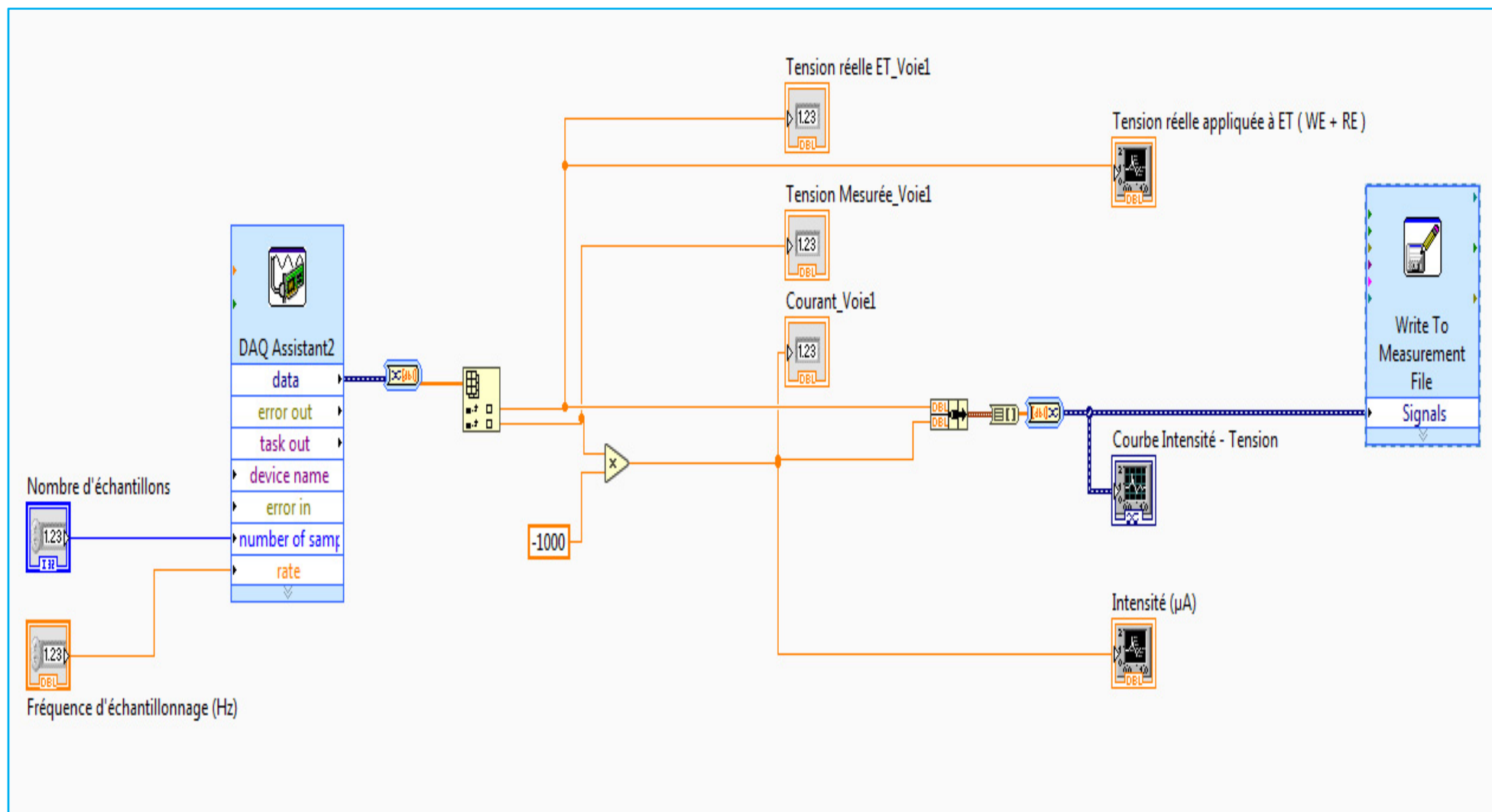


Figure 27. Code G du bloc Acquisition dans sa globalité

Il reste une dernière opération qui consiste à encapsuler la totalité du code **G** du potentiostat dans une boucle de scrutation périodique “While Loop” qui permettra l’exécution continue tant que le bouton **STOP** n’a pas été appuyé. L’outil “While Loop” est pris dans la palette des fonctions (voir figure 28).

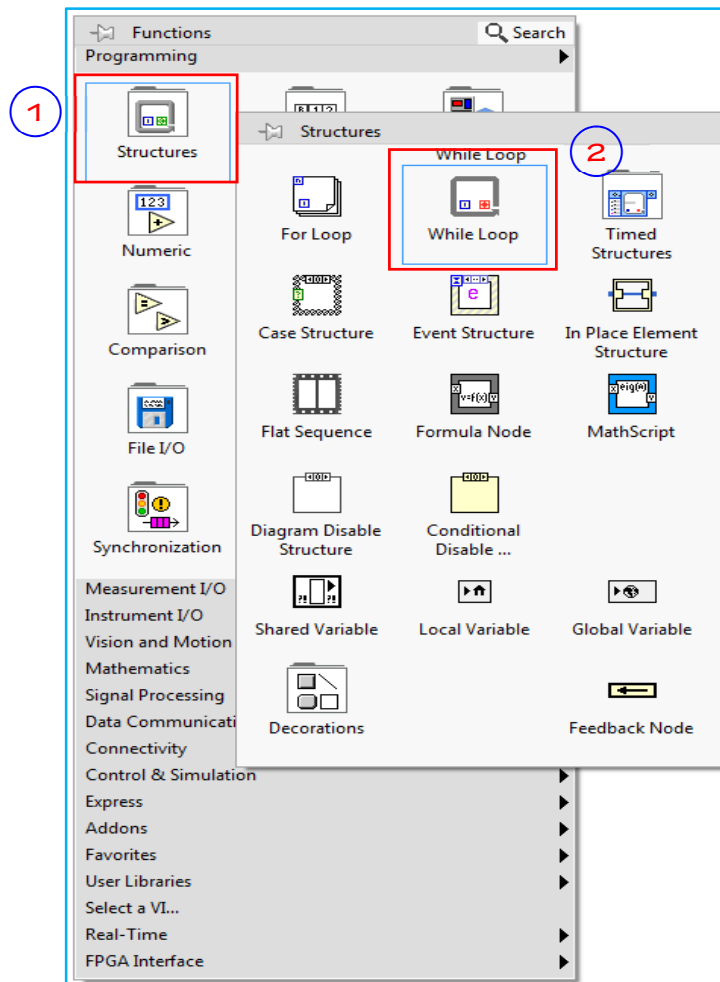


Figure 28. La sélection de l’outil “While Loop”

Le test de notre instrument virtuel se fait en appuyant sur le bouton **Run** dans sur la face avant de l’instrument (figure 29).

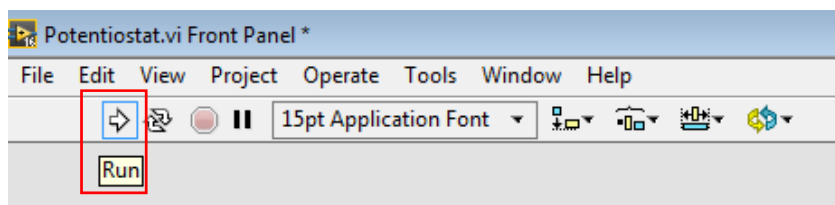


Figure 29. Commande pour le test du potentiostat

Les figures 30 et 31 représentent respectivement la face avant du potentiostat **02** voies et le code **G** correspondant.

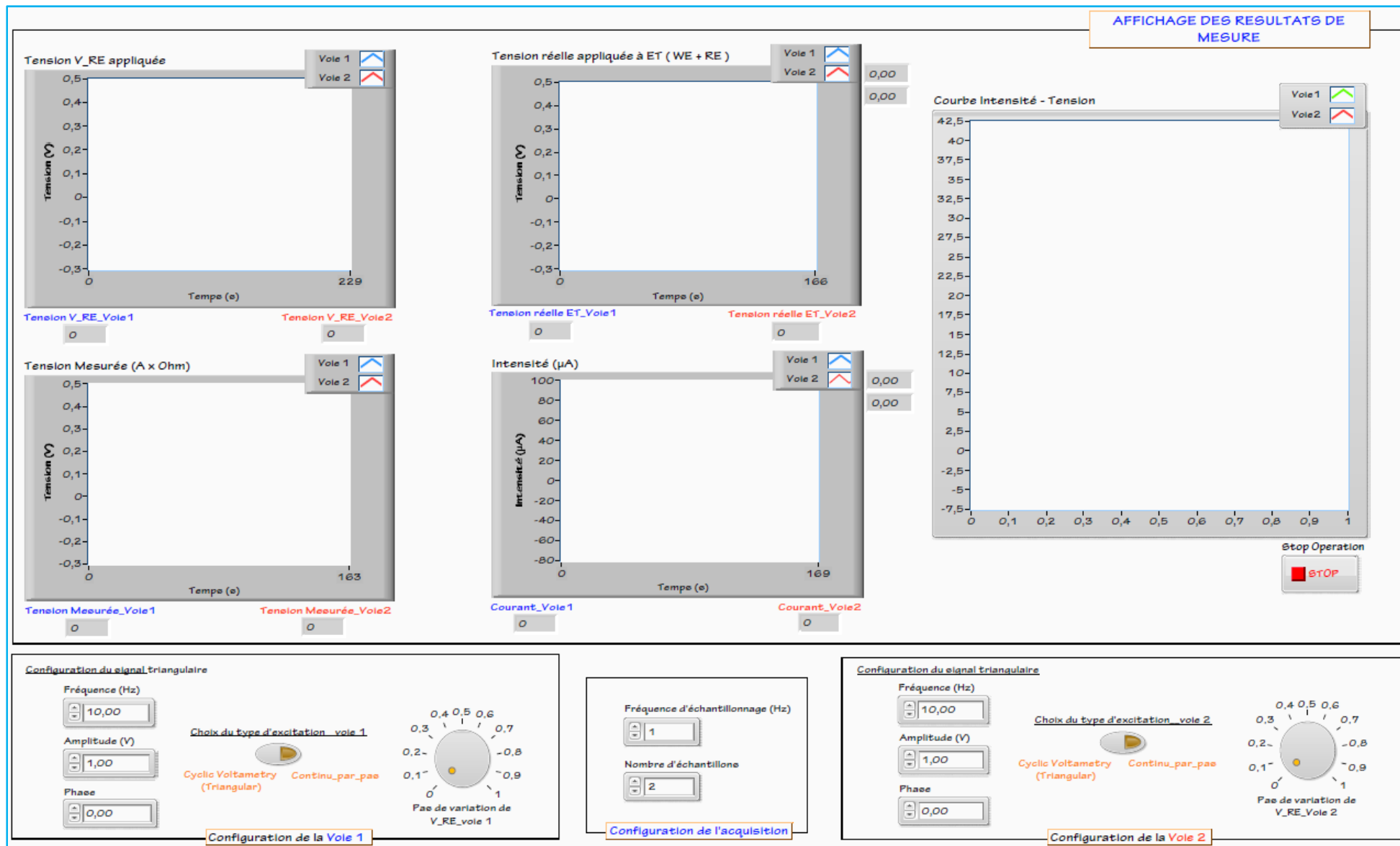


Figure 30. La face avant du potentiostat avec ces 02 voies.

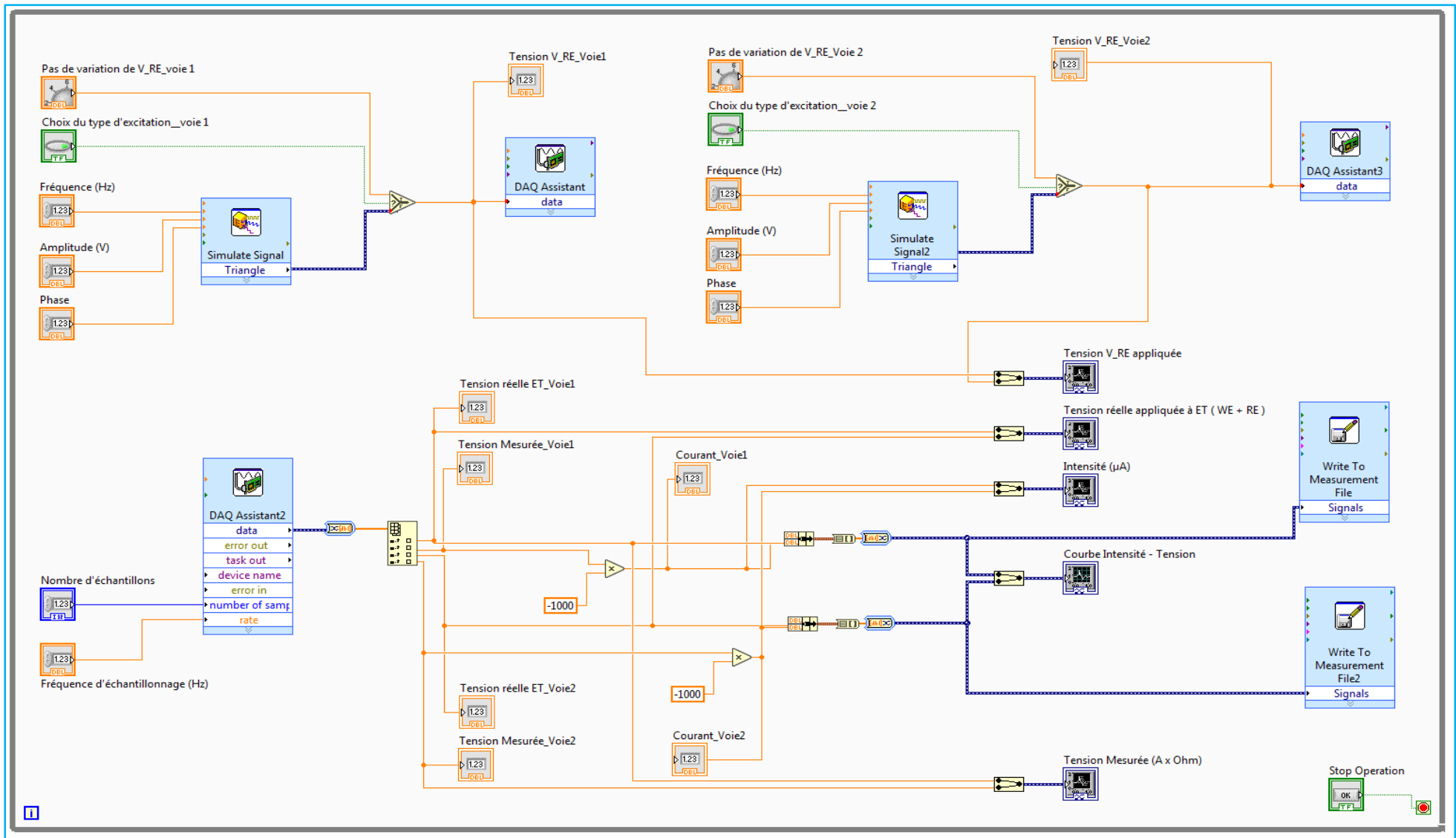


Figure 31. Le code G du potentiostat avec ces 02 voies.

2. Réalisation des Circuits imprimés et du boîtier

Par souci de simplicité de mise en œuvre, nous avons opter pour une approche modulaire tel que mentionner dans l'étude détaillée du schéma structurel de notre potentiostat.

Nous avons donc à réaliser **04** cartes électroniques : la carte d'alimentation, **02** cartes de conditionnement et une petite carte sur laquelle seront implantés la varistance at le fusible.

Les différentes cartes de notre dispositif seront réalisées avec le logiciel de routage **ARES** de la suite Proteus® Labcenter™.

Dans un souci de lever tous les conflits du routage signalés par le logiciel **ARES** lors de la conception des différents circuits imprimés, nous avons utilisé des straps.

2.1 La carte d'alimentation

La figure **32** donne un aperçu **3D** de la carte d'alimentation et de celle destinée à accueillir la varistance et le fusible. La figure **33**, quant à elle, regroupe le **PCB** et l'implantation des composants.

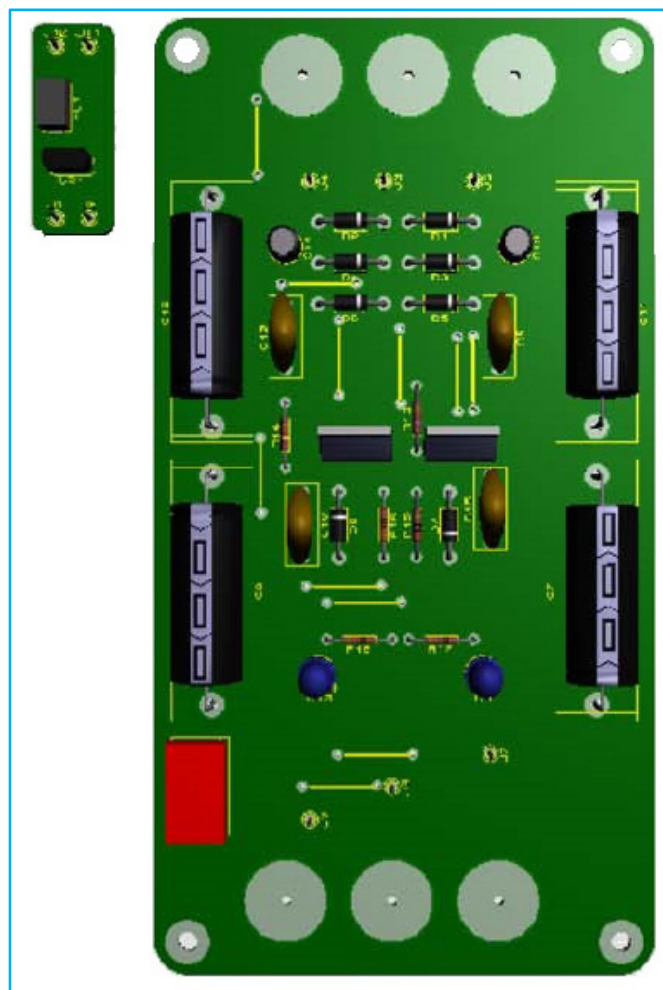


Figure 32. Aperçu 3D de la carte d'alimentation

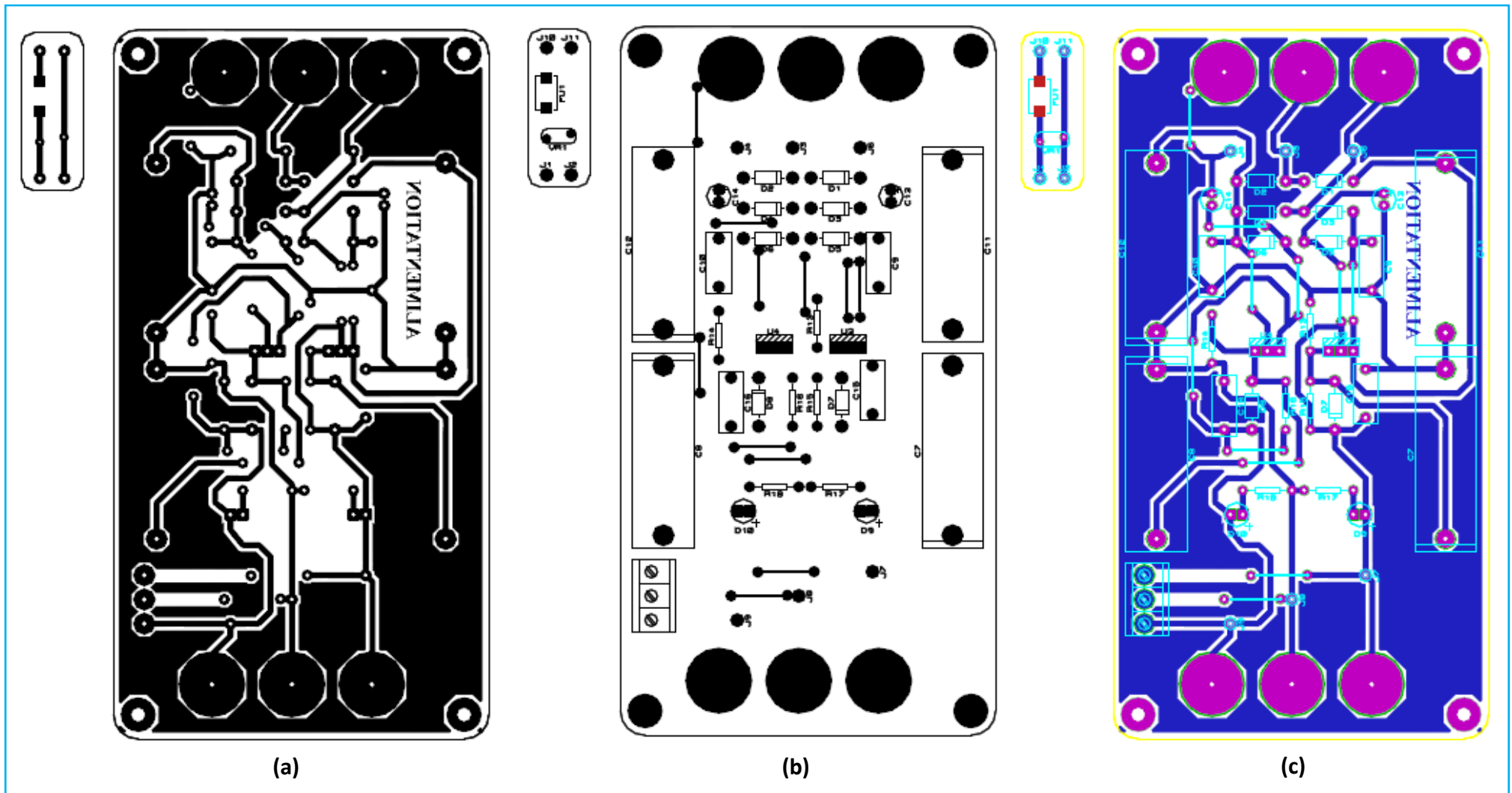


Figure 33. Les différentes vues de la carte d'alimentation : (a) Face cuivre seule vue côté cuivre ; (b) implantation des composants ; (c) Face cuivre et face composants, vue côté cuivre

2.2 La carte de conditionnement

Un aperçu 3D de la carte de conditionnement et une vue coté composants de la face cuivre et celle des composants sont illustrés sur la figure 34.

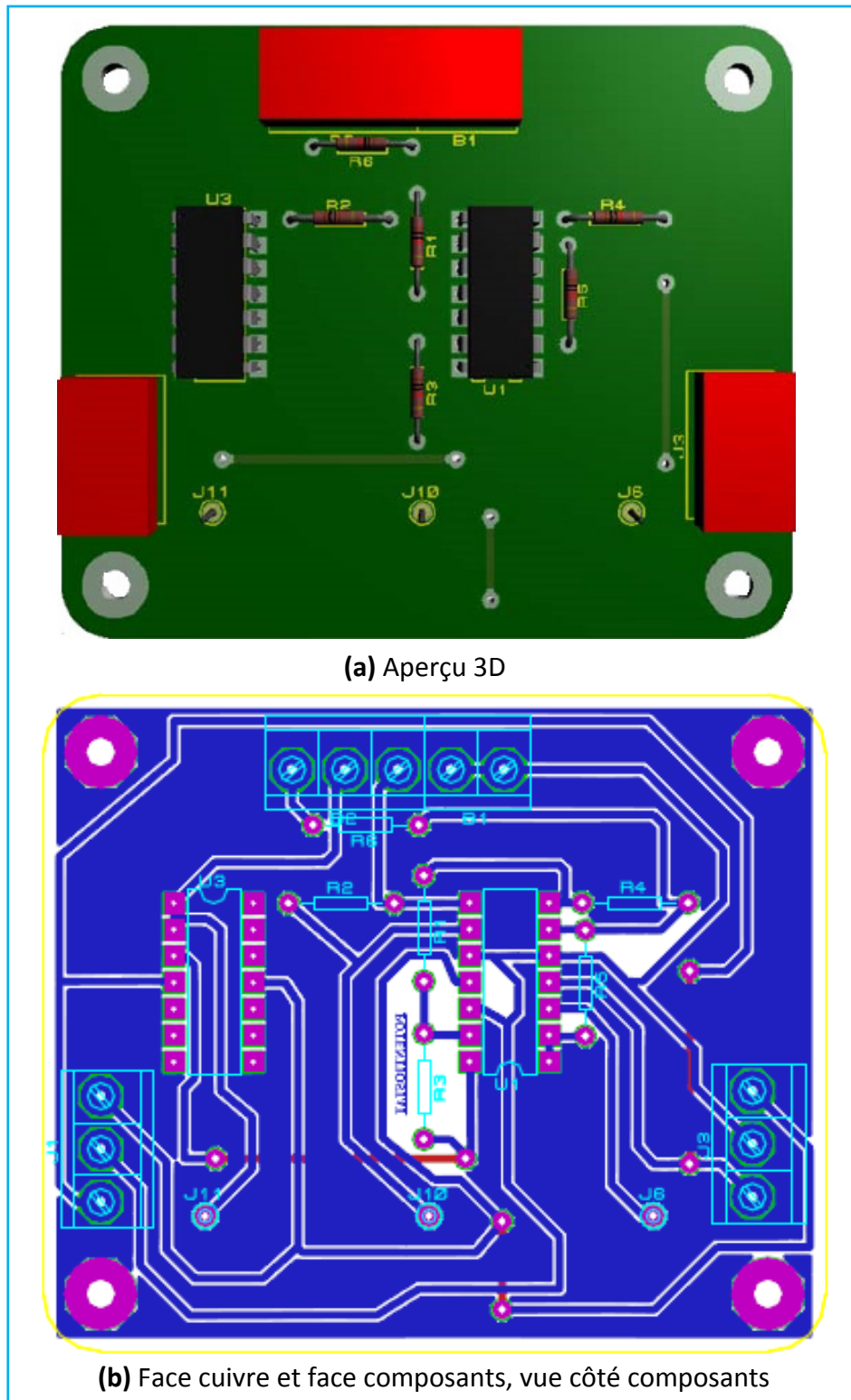


Figure 34. La carte de conditionnement

La figure 35, quant à elle, regroupe le circuit imprimé ainsi que l'implantation des composants de la carte de conditionnement.

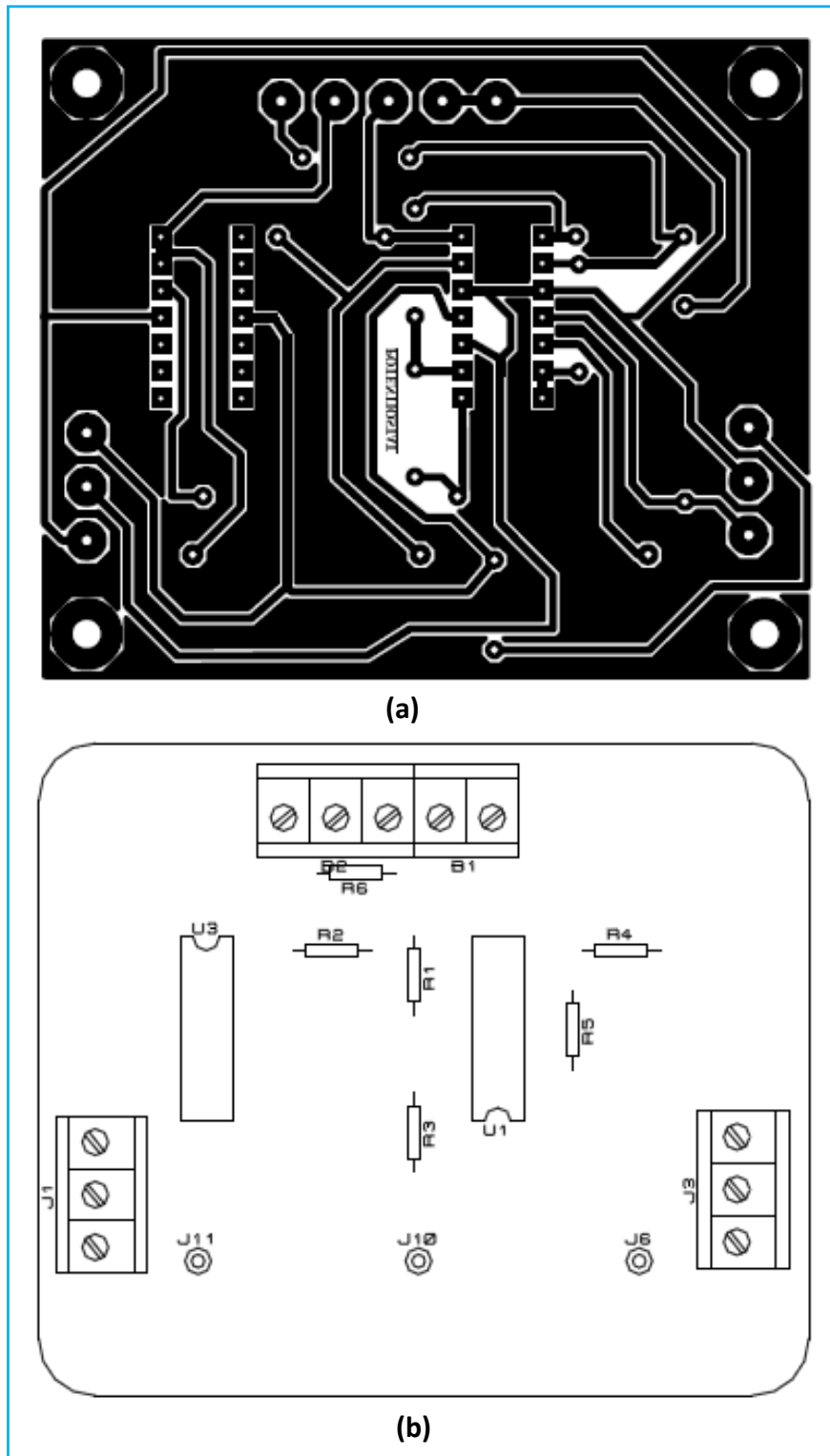


Figure 35. (a) Le circuit imprimé de la carte de conditionnement et son implantation des composants (b).

Pour la mise en boîtier du potentiostat, nous avons opté pour du plexiglass transparent dans un souci de rendre les différents modules visibles à l'œil nu et de concevoir un outil didactique. Un aperçu de la face avant est représentée à la figure 36.

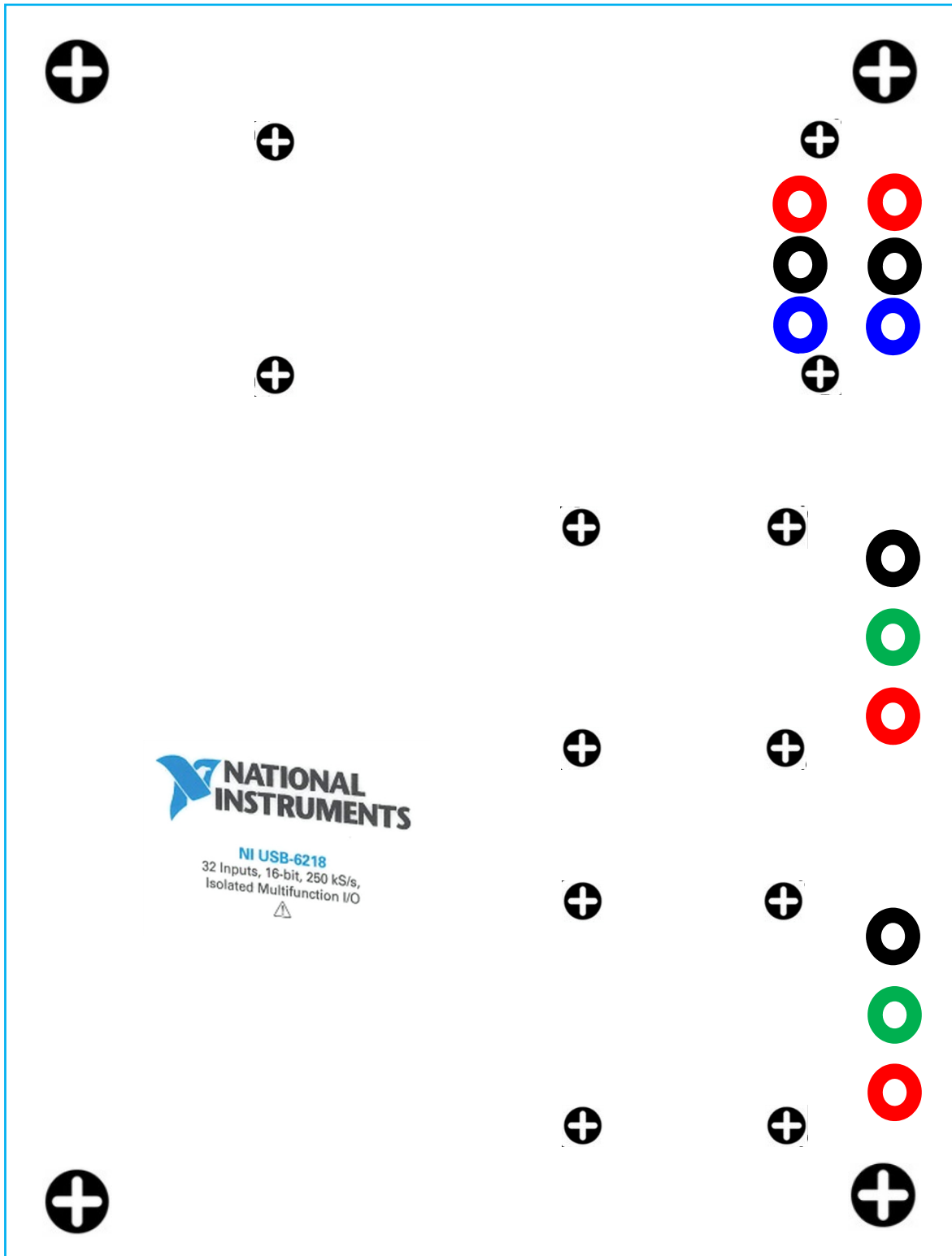


Figure 36. La face avant du potentiostat réalisée avec du plexiglass

3. Tests

3.1 La carte d'alimentation

À l'aide d'un oscilloscope **WENS 3002**, nous avons visualisé et mesuré les valeurs des tensions de sortie de la carte d'alimentation (figure 37).



Figure 37. Les signaux visualisés à la sortie de la carte d'alimentation

3.2 La carte de conditionnement

3.2.1 Calibration et validation du potentiostat

Afin de vérifier les performances de notre potentiostat, nous avons besoin d'un dispositif qui peut simuler, à l'aide d'une association de composants passifs, le comportement dynamique d'une cellule électrochimique. Ce dispositif est désigné par l'appellation "Dummy cell". L'utilisation de cette cellule permet de calculer le courant qui traverse la contre électrode en sachant la valeur de la tension appliquée à l'électrode de travail.

Nous avons utilisé pour calibrer notre potentiostat le modèle "ECO CHEMIE DUMMY CELL 2" fournie par **Metrohm Autolab** (voir figure 38).

En observant la structure de la cellule de test, on constate que les électrodes **CE** et **RE** sont court-circuitées, et que l'électrode **ER** est à la masse. De ce fait, quel que soit la tension qui sera appliquée par le **DAQ**, une tension similaire serait appliquée sur l'électrode **ET**.

Pour la calibration de notre potentiostat, la cellule de test doit être brancher dans le mode E. Dans cette configuration, une résistance de **10 KΩ** est branchée entre les électrodes ET et ER/CE.

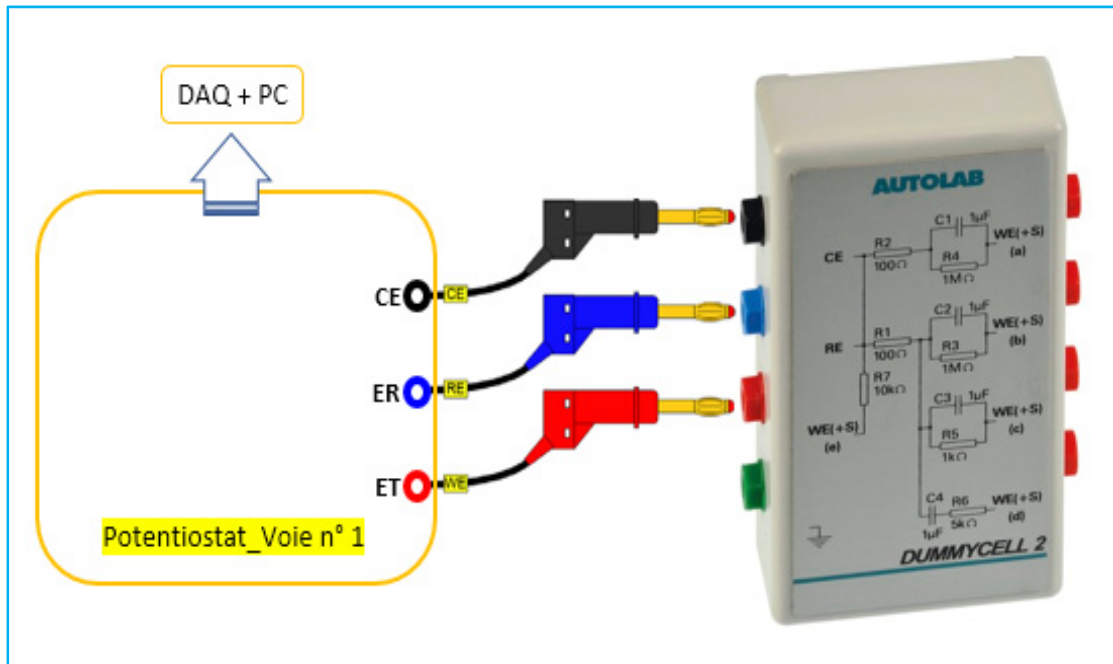


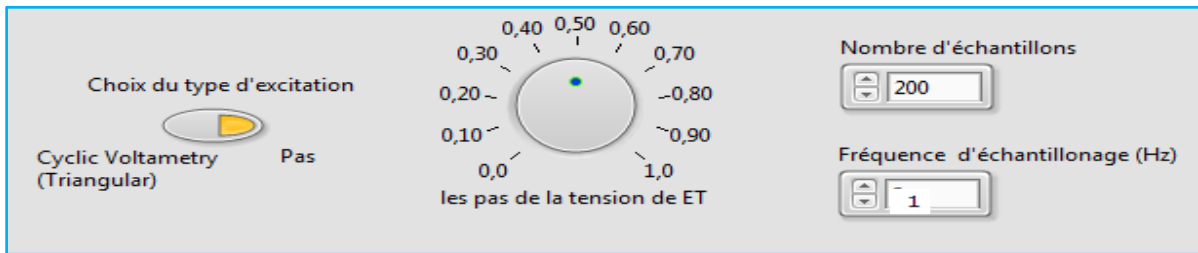
Figure 38. Câblage de la cellule de test pour la calibration d’une voie du potentiostat

En appliquant une tension V_{ET} de **0.5 V**, soit une tension de **1 V** au niveau de **ER**, la valeur théorique du courant qui traverse **CE** est donnée par :

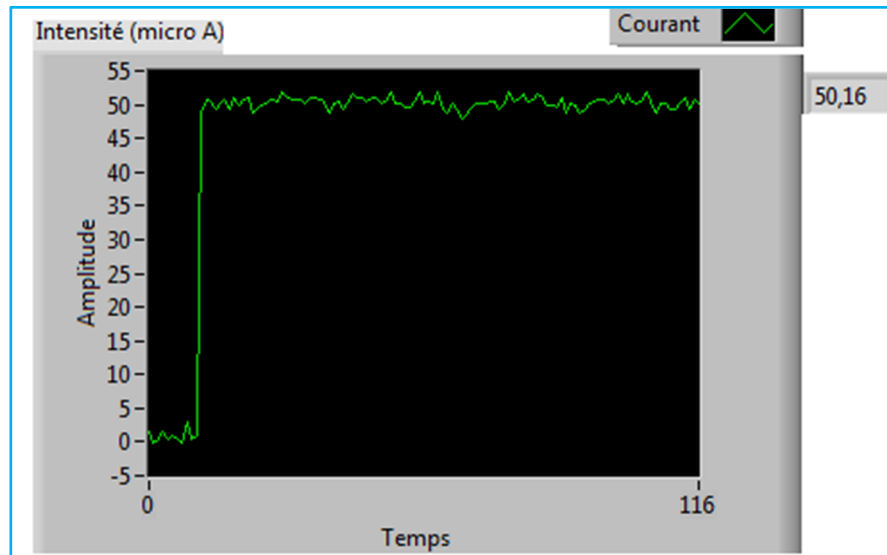
$$I_{CE} = \frac{0.5 V}{10\,000 K\Omega} = 50 \mu A \tag{3.1}$$

Le processus de calibration, sous LabVIEW®, durera **100 s** avec une fréquence d’échantillonnage de **2 Hz** (figure 39-a). Une fois terminé, on obtient le graphique représenté sur la figure 39-b.

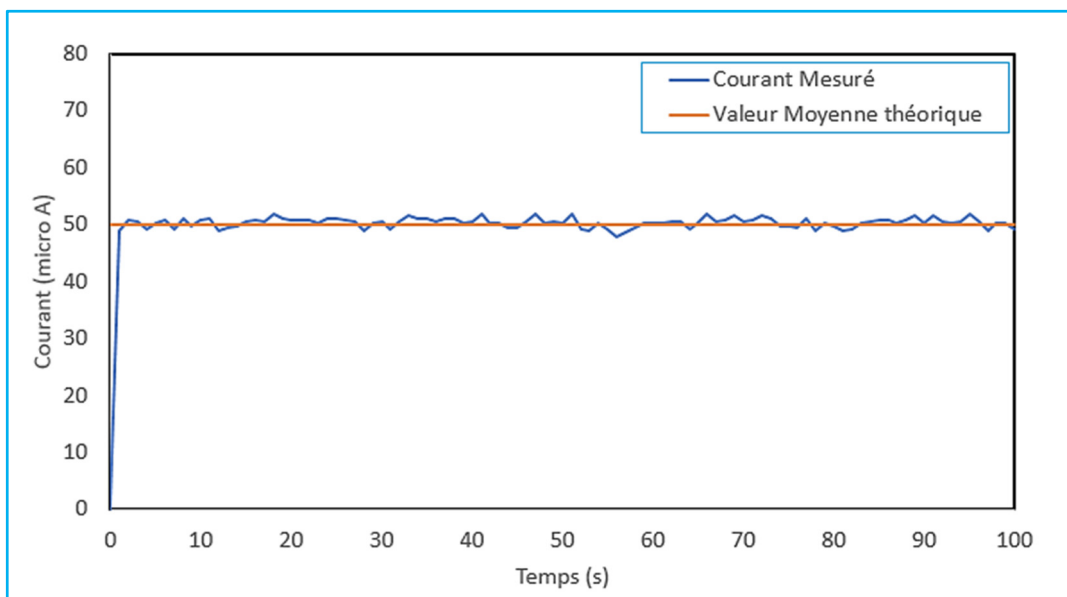
D’après les graphiques donnés aux figures 39-b et c, on peut dire que le test de calibration de notre potentiostat est probant.



(a)



(b)



(c)

Figure 39. (a) Configuration logicielle du potentiostat pour la procédure de calibration ; (b) Résultat obtenu sous LabVIEW® ; (c) Graphique du courant I_c sous Excel.

Conclusion Générale & Perspectives

Discipline charnière entre l'électricité et la chimie, l'électrochimie est un processus de nature interfaciale. Elle décrit les phénomènes chimiques couplés à des échanges réciproques d'énergie électrique. L'électrochimie étudie différents phénomènes physico-chimiques tels que l'électrolyse, la corrosion, l'électrodéposition, ...etc.

Contrairement à ce qu'on peut penser, le phénomène de corrosion ne concerne pas uniquement l'étude des matériaux qui interviennent dans la structure des coques de bateaux [3], il trouve aussi une application très intéressante dans le domaine biomédical. En effet, une condition sine qua none pour une prothèse puisse être homologuée est son aptitude à minimiser les effets du milieu biologique dans lequel elle est implantée. On peut citer à titre d'exemple le cas des implants dentaires métalliques qui se trouvent exposés à un milieu très corrosif dans la cavité buccale [21]. Ce phénomène est étudié et quantifié grâce à montage dit à **03** électrodes ou potentiostat.

Durant le présent projet de fin d'études, Il nous a été confié la mission, au sein de l'équipe de recherche d'électrochimie interfaciale du Laboratoire de Physique et Chimie des Matériaux (**LPCM**), de concevoir un potentiostat multivoies qui permettra de s'affranchir des nombreuses contraintes inhérentes aux potentiostats disponibles au niveau du **LPCM**, telles que la spécificité de leur connectique, leur encombrement physique, leur sophistication déroutante, leur coût, etc.

Nous avons opté pour une architecture mixte : analogique – numérique et matérielle – logicielle. L'utilisation du **DAQ NI USB-6218** nous a énormément facilité la tâche. Cependant, malgré la richesse du logiciel LabVIEW® et l'existence d'une communauté très active sur le web, nous avons rencontré quelques difficultés au niveau de notre application logicielle notamment sur la question qui concerne le format et la nature des données échangées par les différents modules utilisés sous LabVIEW®. Néanmoins, nous estimons avoir atteint l'objectif que nous nous sommes fixés au début de ce travail, à savoir réaliser une interface qui permet d'interagir avec la partie matérielle de notre potentiostat.

Ceci dit, il y a lieu de préciser que des améliorations, tests et calibrations de l'équipement qui a été conçu sont nécessaires pour en améliorer la précision et ainsi prétendre rivaliser avec certains potentiostats professionnels qui existent sur le marché. Toutefois, cet équipement est largement suffisant pour l'élaboration de l'ensemble des manipulations effectuées par les étudiants de chimie du premier cycle.

Conclusion générale et Perspectives

Le travail qui été réalisé pourrait être complété et poursuivi sous différents aspects, notamment :

- L'ajout d'autres voies.
- L'utilisation d'un environnement de programmation open source tel que python [22].
- L'amélioration de la partie analogique en ajoutant des filtres et des dispositifs d'écrêtage pour protéger les entrées analogiques du **DAQ** [23].
- L'utilisation de la plate-forme Android disponible sur les smartphones comme interface logicielle [14].

Bibliographie

Références Bibliographiques

- [1] Miomandre, F., Sadki, S., Audebert, P., Méallet-Renault, R. (2014) *Électrochimie : Des concepts aux applications*, 3e éd., Dunod, Paris, France.
- [2] Rouessac, F., Rouessac, A., Cruché, D. (2004) *Analyse chimique : Méthodes et techniques instrumentales modernes*, 6^e éd., Dunod, Paris, France.
- [3] *Potentiostat*. In : *Wikipédia, l'encyclopédie libre [en ligne]*. Disponible sur : <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Potentiostat>> [Consulté le 25/03/2017].
- [4] Deluzarche, M., Zimmerlin, É. *Réalisation d'un potentiostat : Tracé de courbes intensité-potentiel*, Bulletin de l'Union des Physiciens, Janvier 2002, Vol.96 : n°840, pp. 103-111.
- [5] Lefrou, C., Fabry, P., Poignet, J-C. (2013) *Électrochimie : Concepts fondamentaux illustrés*, 1^e éd., EDP Sciences, France, Collection *Grenoble Sciences*.
- [6] Baroux, B. (2014) *La corrosion des métaux : Passivité et corrosion localisée*, 1^e éd., Dunod, Paris, France. Collection *L'usine nouvelle*.
- [7] *Électrode standard à hydrogène*. In : *Wikipédia, l'encyclopédie libre [en ligne]*. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Électrode_standard_à_hydrogène> [Consulté le 25/03/2017].
- [8] Skoog, D. A., West, D.M., Holler, F.J., Crouch, S. R. (2014) *Fundamentals of Analytical Chemistry*, 9^e éd., Brooks/Cole Cengage Learning, Belmont, U.S.A, pp. 535-648.
- [9] Skoog, D. A., West, D.M., Holler, F.J., Crouch, S. R. (2007) *Principles of Instrumental Analysis*, 6^e éd., Brooks/Cole Thomson, Belmont, U.S.A, pp. 659-760.
- [10] Bond, A. M., Myland, J.C., Oldham, K.B. (2013) *Electrochemical Science and technology: Fundamentals and applications*, 1^e éd., John Wiley & Sons, U.S.A.
- [11] *Galvanostat*. In : *iGEMTUDelft14 [en ligne]*. Disponible sur : <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Galvanostat>> [Consulté le 25/03/2017].
- [12] National Instruments™, *Data M Series: NI USB-621x User Manual*. Avril 2009. [En ligne]. Disponible sur : <<https://www.ni.com/pdf/manuals/371931f.pdf>> [Consulté le 20 avril 2017].
- [13] Cottet, F., Pinard, M., Desruelle, L. (2015) *LabVIEW : Programmation et applications*, 3^e éd., Dunod, Paris, France. Collection *L'usine nouvelle*.

- [14] Jovitha, J. (2010) *Virtual instrumentation using LabVIEW*, 1e éd., PHI Learning, New Delhi, Inde.
- [15] Ehsani, B. (2016) *Data acquisition using LabVIEW: Transform physical phenomena into computer-acceptable data using a truly object-oriented language*, 1e éd., Packt, Birmingham, U.K.
- [16] Bitter, R., Mohiuddin, T., Mawrocki, M. (2007) *LabVIEW™: Advanced Programming techniques*, 2^e éd., CRC Press, New york, U.S.A.
- [17] Sumathi, S., Surekha, P. (2007) *LabVIEW based advanced instrumentation systems*, 1^e éd., Springer.
- [18] National Instruments™, Nipun Mathur. *Technologies behind NI Industrial M and S Series Data Acquisition Devices with Isolation*. Mise à jour le 27 juillet 2012. [En ligne]. Disponible sur : <<http://www.ni.com/white-paper/4912/en/>> [Consulté le 01 avril 2017].
- [19] National Instruments™, *LabVIEW™: Measurements manual*. Avril 2003. [En ligne]. Disponible sur : <[http://fy.chalmers.se/~f7xlh/LV Kurs/LV Meas Man 2003.pdf](http://fy.chalmers.se/~f7xlh/LV_Kurs/LV_Meas_Man_2003.pdf)> [Consulté le 10 juin 2017].
- [20] National Instruments™, *Data Acquisition and signal conditioning course manual*. Aout 2003. [En ligne]. Disponible sur : <[http://www.n4igt.com/dallasis4/labview 7.0 daq course.pdf](http://www.n4igt.com/dallasis4/labview_7.0_daq_course.pdf)> [Consulté le 05 avril 2017].
- [21] Grosogeat, B, Colon, P, La Corrosion : Support de cours. In : *Universit numérique francophone des sciences de la santé et du sport* [en ligne]. Disponible sur : <<http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap6/site/html/1.html>> [Consulté le 30/06/2017].
- [22] Legrand, F. *Potentiostat*. In : *Informatique Appliquée aux Sciences Physiques* [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.f-legrand.fr/scidoc/docmml/sciphys/electrochim/potentiostat/potentiostat.html>> [Consulté le 30/03/2017].
- [23] *Gadget*. In : *Wikipédia, l'encyclopédie libre* [en ligne]. Disponible sur : <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Galvanostat>> [Consulté le 20/03/2017].

ANNEXES

Liste des Annexes

Annexe I : La carte d'acquisition NI USB-6218 : Description matérielle et logicielle	51
Annexe II : Datasheets	67

Annexe I

La Carte d'acquisition NI USB – 6218 Description Matérielle & Logicielle

Cette annexe va s'attacher à présenter des notions de base sur les systèmes d'acquisition de données, désignés par l'acronyme anglais **DAQ** pour **Data Acquisition System**, ainsi qu'une description matérielle et logicielle de la carte d'acquisition **USB-6218** de National Instruments.

1. Qu'est-ce qu'une acquisition de données ?

L'acquisition de données est le processus de mesure d'un phénomène électrique ou physique tel que la tension, le courant, la température, la pression ou le son avec un ordinateur. Un système d'acquisition se compose de 03 éléments essentiels tel qu'illustré à la Figure 1 :

- Un capteur, également appelé **transducteur**, qui permet de convertir un phénomène physique en un signal électrique mesurable.

- Un périphérique **DAQ** qui agit comme interface entre l'ordinateur et les signaux du monde extérieur. Les trois composants clés d'un dispositif **DAQ** utilisé pour mesurer un signal sont les circuits de conditionnement du signal, le convertisseur analogique-numérique (**ADC**) et le bus informatique.

- Un ordinateur, qui à travers des logiciels adéquats, permet de contrôler le fonctionnement du périphérique **DAQ** ainsi que le traitement, la visualisation et la mémorisation des données de mesure. Le logiciel pilote permet au logiciel d'application d'interagir avec le périphérique **DAQ**, le logiciel d'application, quant à lui, facilite l'interaction entre l'ordinateur et l'utilisateur pour l'acquisition, l'analyse et la présentation des données de mesure acquises par le **DAQ**.

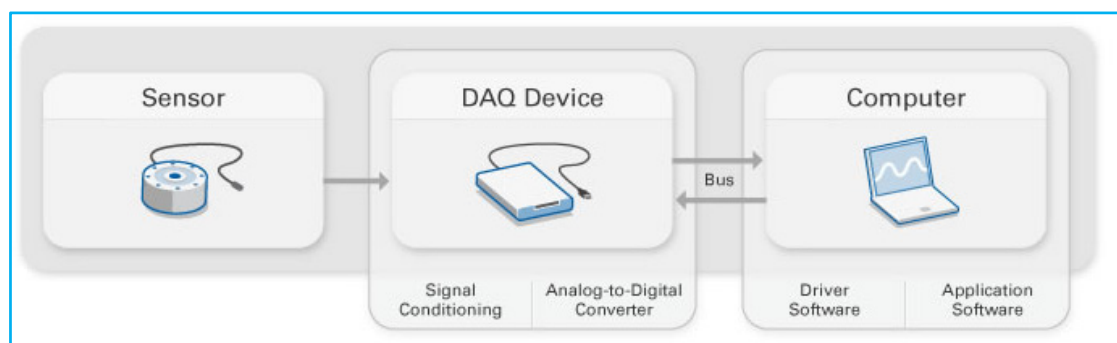


Figure 1. Structure d'un système d'acquisition de données

2. La carte d'acquisition NI USB-6218

La carte d'acquisition que nous avons utilisé dans notre conception est fabriquée par la célèbre firme américaine National Instruments, il s'agit du module **NI 6218** dans sa version **USB** (voir figure 2).

Le module **NI USB-6218** est de type **Multifonction** (Série « **M** »), car il intègre au sein du même boîtier les fonctions suivantes [3] :

- Entrées analogiques ;
- Sorties analogiques ;
- Entrées/Sorties Numériques (statiques/Configurables) ;
- Compteur/Timer à usage général.

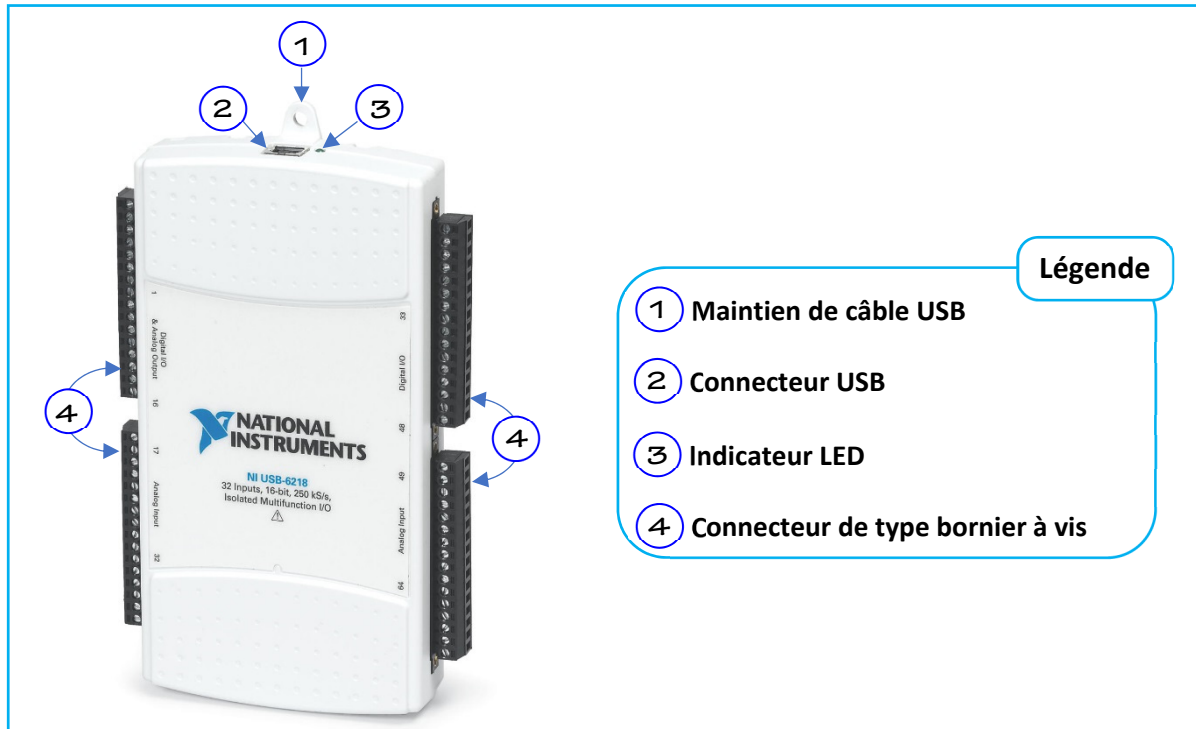


Figure 2. Description du module NI USB-6218

Les principales caractéristiques du module NI USB-6218 sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 1. Les principales caractéristiques du DAQ NI USB-6218

Fonctionnalité	Description
Entrées Analogiques	<ul style="list-style-type: none"> - 16 voies en mode différentiel, 32 en mode asymétrique ; - Résolution du CAN : 16 bits ; - Fréquence d'échantillonnage (voies uniques/voies multiples) : 250 KÉch/s ; - Tension maximale (signal + mode commun) : ±10.4V en mode asymétrique.
Sorties Analogiques	<ul style="list-style-type: none"> - 2 voies - Résolution du CNA : 16 bits ; - Tension maximale : ±10V.

Tableau 1. Les principales caractéristiques du module NI USB-6218 (suite)

Fonctionnalité	Description
Entrées/ Sorties Numériques	- 16 voies d'entrées/sorties numériques statiques. - 16 voies d'entrées/sorties numériques configurables.
Compteurs/ Timers	- Nombre : 2. - Résolution : 32 bits ;

2.1 Description du brochage et des signaux

La figure suivante illustre le brochage du périphérique NI USB-6218. La description détaillée de chaque broche est, quant à elle, donnée dans le tableau 2.

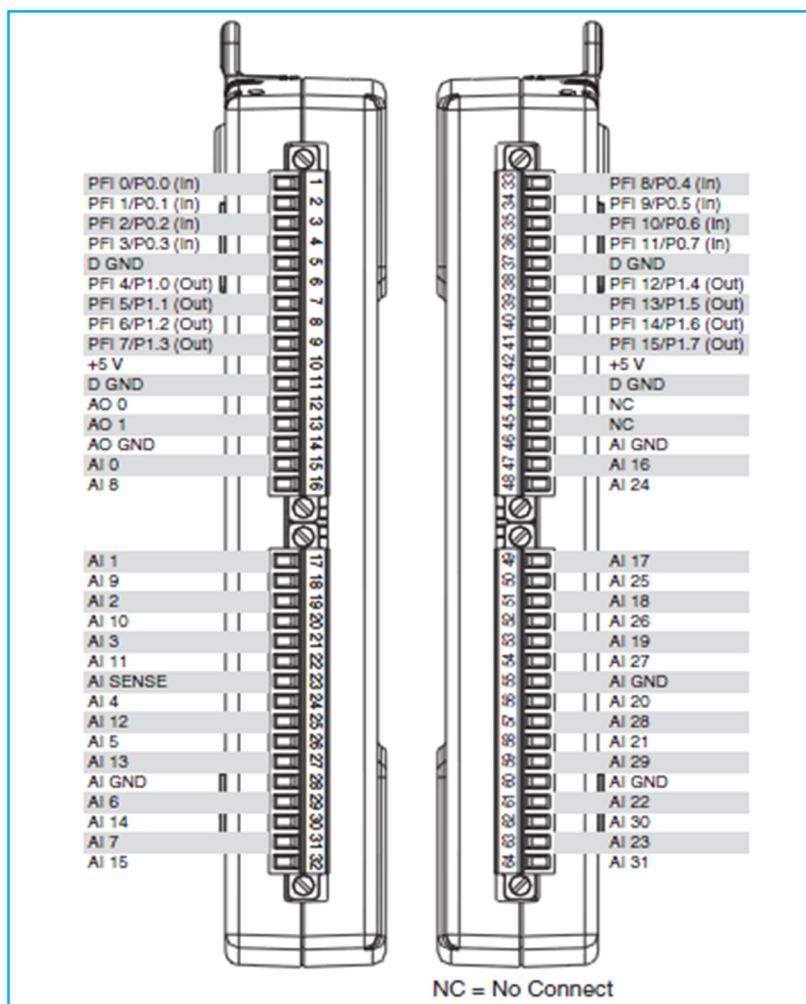


Figure 3. Brochage du module NI USB-6218

Tableau 2. Description des signaux

Nom du signal	Référence	Direction	Description
AI GND	—	—	Masse pour les entrées analogiques — Le point de référence pour les mesures des entrées analogiques en mode asymétrique référencé et le point de retour des courants de polarisation pour les mesures différentielles. Tous les points de références AI GND, AO GND et D GND sont connectés à l'intérieur du dispositif.
AI <0..31>	Varie	Entrée	Voies d'entrée analogique 0 à 31 — Pour les mesures asymétriques, chaque signal est une voie de tension d'entrée analogique, la référence des signaux est AI GND dans le mode référencé (RSE) et AI SENSE dans le mode non référencé NRSE (entrée flottante). Pour les mesures différentielles, AI 0 et AI 8 sont les entrées positive et négative de la voie d'entrée analogique différentielle 0 . Les paires de signaux suivantes forment également des voies d'entrée différentielles : < AI 1 , AI 9 >, < AI 2 , AI 10 >, < AI 3 , AI 11 >, < AI 4 , AI 12 >, < AI 5 , AI 13 >, < AI 6 , AI 14 >, < AI 7 , AI 15 >, < AI 16 , AI 24 >, < AI 17 , AI 25 >, < AI 18 , AI 26 >, < AI 19 , AI 27 >, < AI 20 , AI 28 >, < AI 21 , AI 29 >, < AI 22 , AI 30 >, < AI 23 , AI 31 >.
AI SENSE	—	Entrée	Sens de l'entrée analogique — le point de référence pour chacune des entrées analogiques AI <0..31> dans le mode NRSE .
AO<0..1>	AO GND	Sortie	Voies de sortie analogique 0 à 1 — Fournit la sortie de tension de la voie de sortie analogique 0 ou 1 .
AO GND	—	—	Masse pour les sortie analogiques — le point de référence pour chacune des sorties analogiques AO <0..1> .
D GND	—	—	Masse pour les entrées/sortie numériques — le point de référence pour : PFI <0..15>/P0/P1 et la sortie +5V .

Tableau 2. Description des signaux (suite)

Nom du signal	Référence	Direction	Description
+5 V	D GND	Entrée / Sortie	Source d'alimentation +5 V — Fournit une alimentation de +5 V. Peut service d'entrée d'alimentation externe pour les sorties numériques.
PFI <0..3>, PFI <8..11> / P0 <8..7>	D GND	Entrée	Entrées multifonction configurable — Chaque terminal PFI (Programmable Function Interface) peut être configurer comme : - entrée de déclenchement numérique pour les entrées AI et les sorties AO ; - entrée de compteur d'événements; - Voies d'entrées numérique statiques (SDI) 0 à 7- Port 0
PFI <4..7>, PFI <12..15> / P1 <0..7>	D GND	Sortie	Entrées multifonction configurable — Chaque terminal PFI (Programmable Function Interface) peut être configurer comme : - sortie pour différent signaux AI internes ; - Sortie analogique AO ; - Sortie du compteur/Timer; - Voies de sortie numérique statiques (SDO) 0 à 7- Port 1
NC	—	—	Non Connectée

2.2 Architecture interne

Les principaux composants fonctionnels du module **NI USB-6218** sont illustrés à la figure 4. On y distingue les fonctions principales suivantes :

- La numérisation de signaux ;
- La conversion numérique - analogique – numérique pour la génération de signaux de sortie analogiques ;
- La mesure et le contrôle de signaux entrées/sorties numériques ;

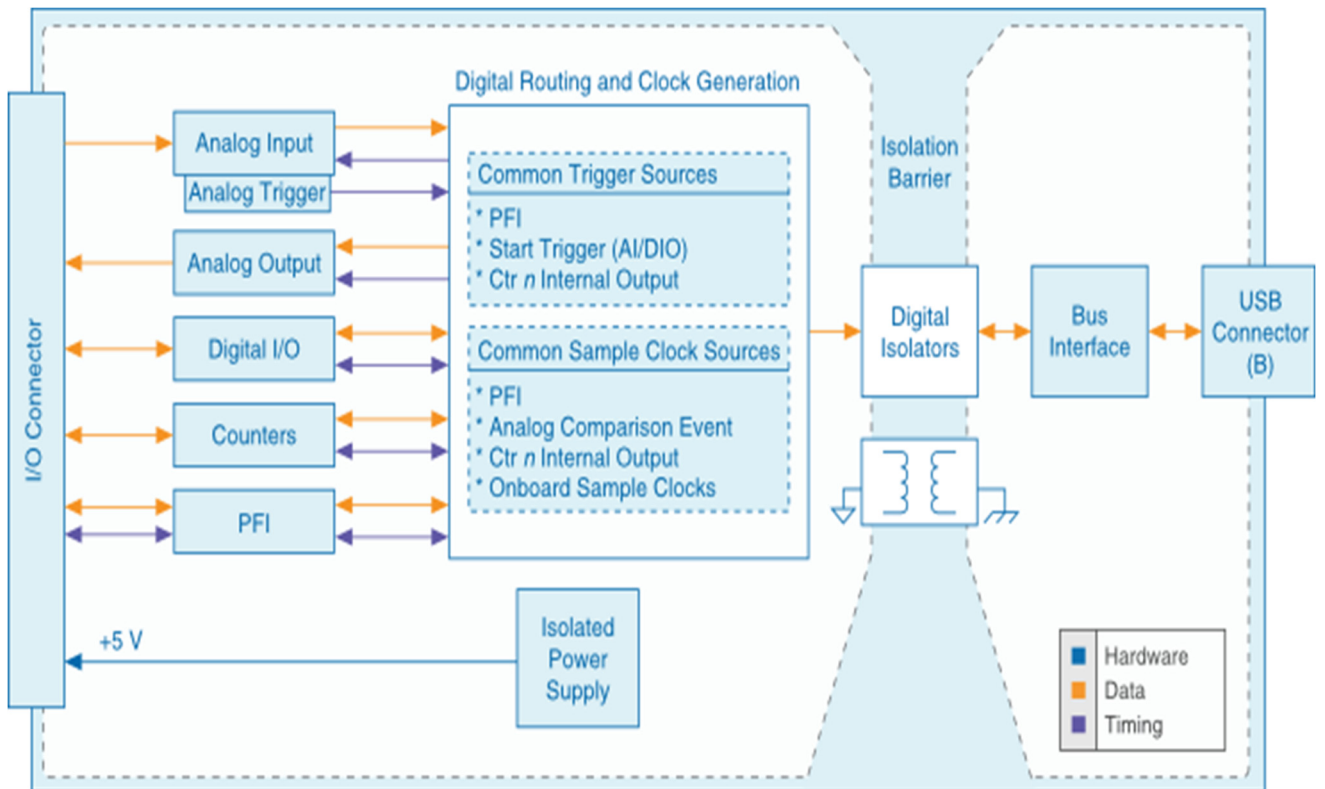


Figure 4. Composants fonctionnels du module NI USB-6218

2.2.1 Les entrées analogiques

La figure suivante illustre le circuit interne des entrées analogiques du module NI USB-6218.

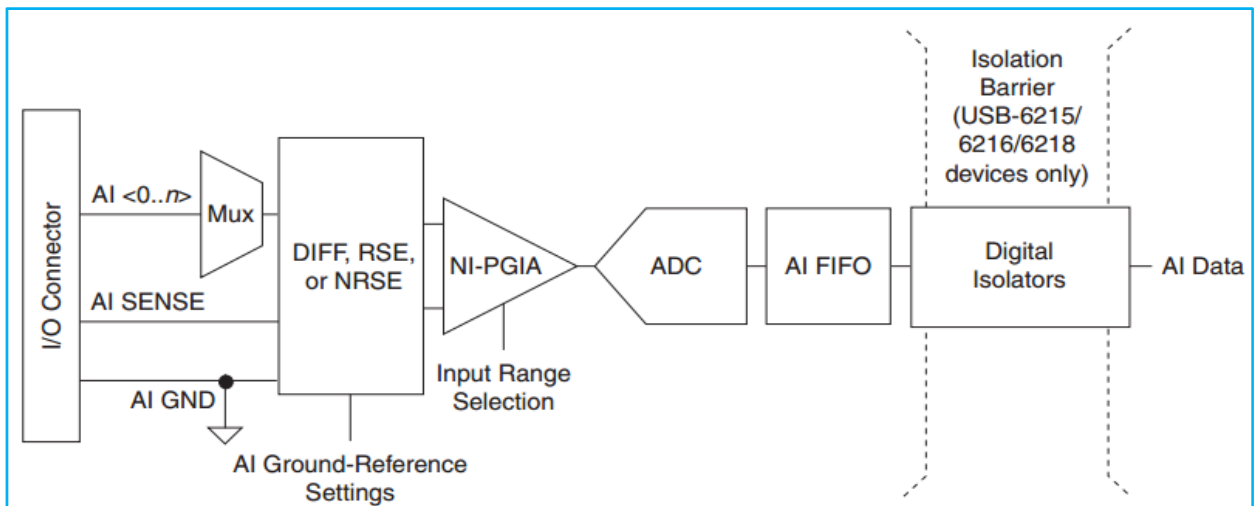


Figure 5. Le Circuit interne des entrées analogiques

Les principaux blocs qui composent le circuit représenté ci-dessus sont :

- **MUX** — Le périphérique NI USB-6218 ne disposant que d'un seul convertisseur analogique-numérique (**ADC**), le multiplexeur (**MUX**) assure le routage d'une voie AI à la fois vers l'**ADC** via le **NI-PGA**.

- **NI-PGA** — Amplificateur d'instrumentation à gain programmable qui peut soit amplifier, soit atténuer le signal présent sur une entrée **AI**.

- **AI-FIFO** — Le module **NI USB-6218** pouvant effectuer des conversions analogiques/numériques simples et multiples d'un nombre fixe ou infini d'échantillons ; un buffer **FIFO** (First-In-First-Out) est utilisé pour sauvegarder les données durant les acquisitions **AI** pour s'assurer qu'aucune donnée ne soit perdue.

Les entrées analogiques **AI** peuvent être configurées pour effectuer des mesures différentielle (**DIFF**), asymétrique référencées à la masse (**RSE**) ou flottante (**NRSE**). Les différentes configurations possibles des entrées analogiques sont regroupées dans le tableau 3.

Tableau 3. Configuration de l'entrée analogique

AI Ground-Reference Setting	Floating Signal Sources (Not Connected to Building Ground)	Ground-Referenced Signal Sources†
	Examples: <ul style="list-style-type: none"> • Ungrounded thermocouples • Signal conditioning with isolated outputs • Battery devices 	Example: <ul style="list-style-type: none"> • Plug-in instruments with non-isolated outputs
Differential (DIFF)		
Non-Referenced Single-Ended (NRSE)		
Referenced Single-Ended (RSE)		<p>NOT RECOMMENDED for the USB-6210/6211/6212</p> <p>Ground-loop potential ($V_A - V_B$) are added to measured signal.</p>

2.2.2 Les sorties analogiques

La figure suivante illustre le circuit interne des sorties analogiques du module **NI USB-6218**.

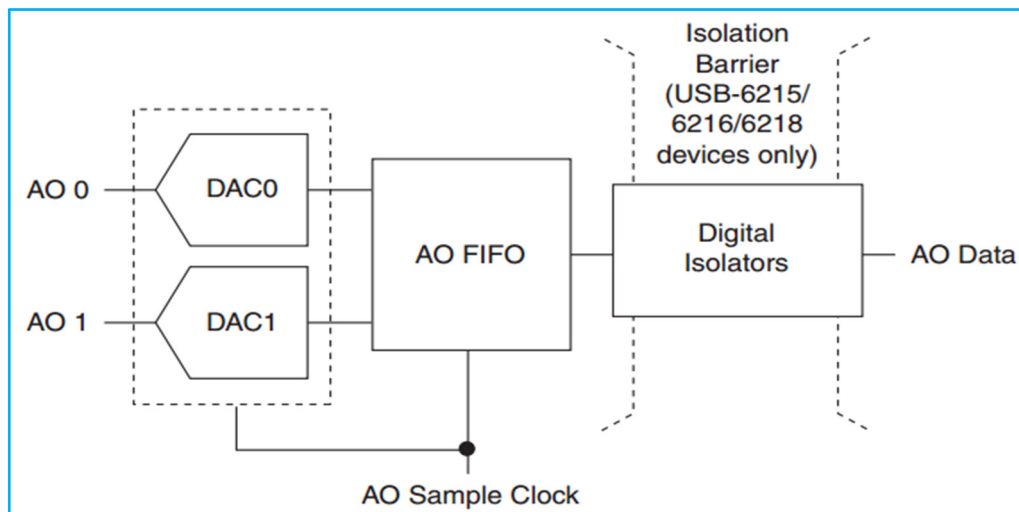


Figure 6. Le Circuit interne des sorties analogiques

Les principaux blocs composant le circuit représenté ci-dessus sont :

- **DAC0 et DAC1** — Chaque sortie analogique possède son convertisseur numérique-analogique dédié.
- **AO-FIFO** — Le buffer **FIFO** (First-In-First-Out) permet la génération d'un signal de sortie analogique. Le signal **AO Sample Clock** permet la lecture des échantillons à partir du buffer **FIFO** afin de générer les tensions analogiques appropriées.

2.2.3 Les entrées/sorties numériques

Le module NI USB-6218 dispose de 16 lignes numériques réparties sur deux ports. Le Port **0** possède huit lignes, **P0<0..7>**, et le Port **1** en possède **8**, **P1<0..7>**. **D GND** est le signal référencé à la masse pour les ports d'E/S numériques. La circuiterie relative aux entrées/sorties numériques est représentée à la figure ci-dessous.

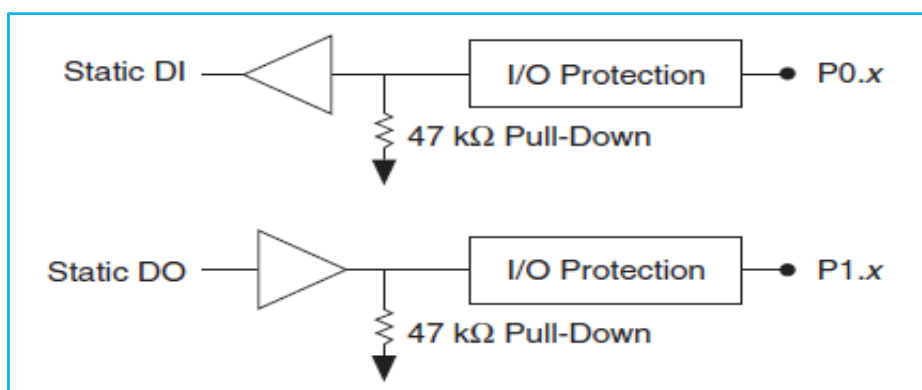


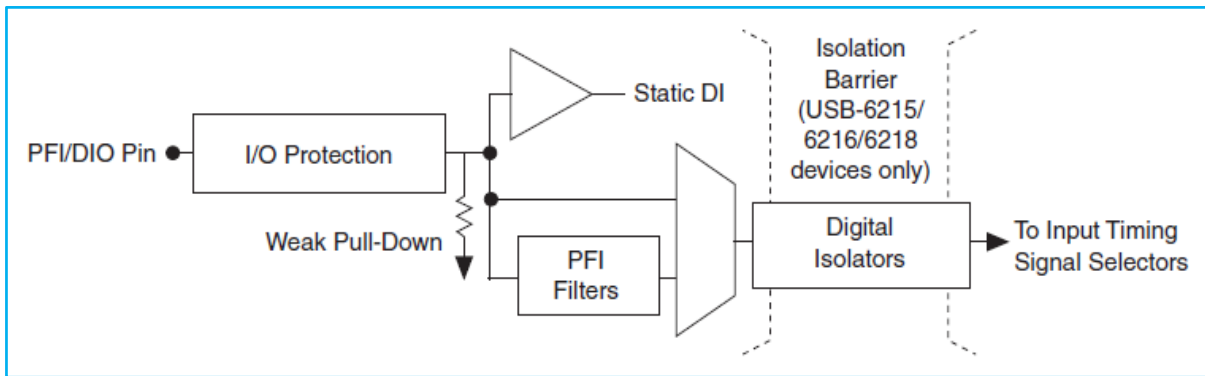
Figure 7. Le Circuit interne des entrées/sorties numériques

Le block **I/O Protection** protège les entrées /sorties numériques, désignées respectivement à la figure 7 par **DI** et **DO**, contre :

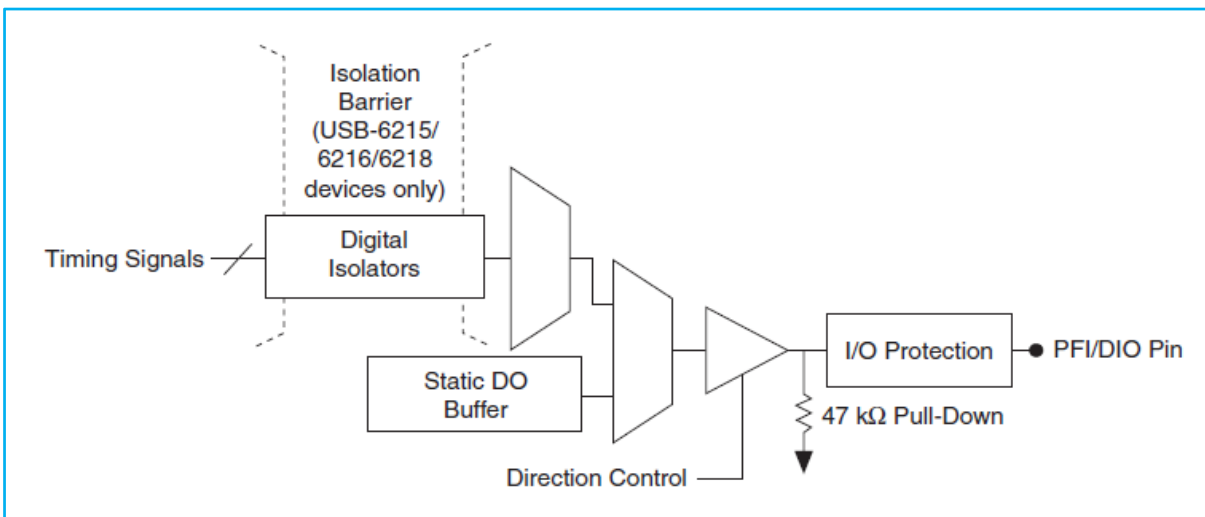
- La surtension ;
- La sous-tension ;
- La surintensité ;
- Les décharges électrostatiques.

2.2.4 Les entrées /sorties PFI

Les entrées/sorties **PFI**, dont les circuits internes sont illustrés à la figure 8, sont des signaux dont la fonction peut être configuré par l'utilisateur suivant les besoins de l'application (voir tableau 2).



(a) Entrée PFI

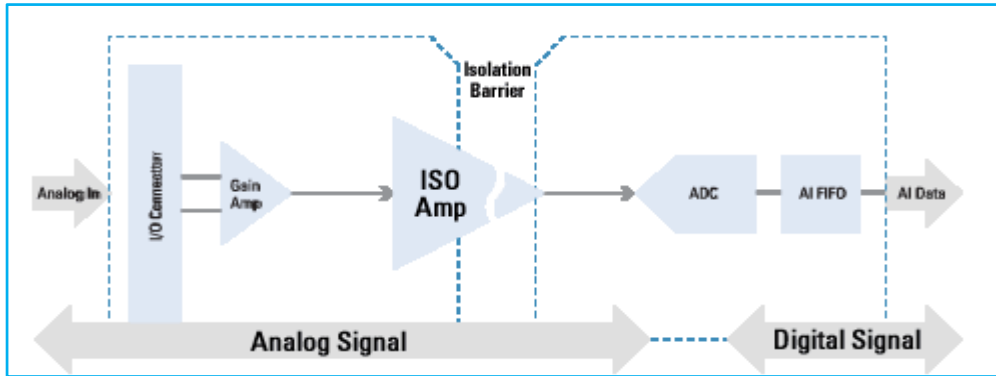


(b) Sortie PFI

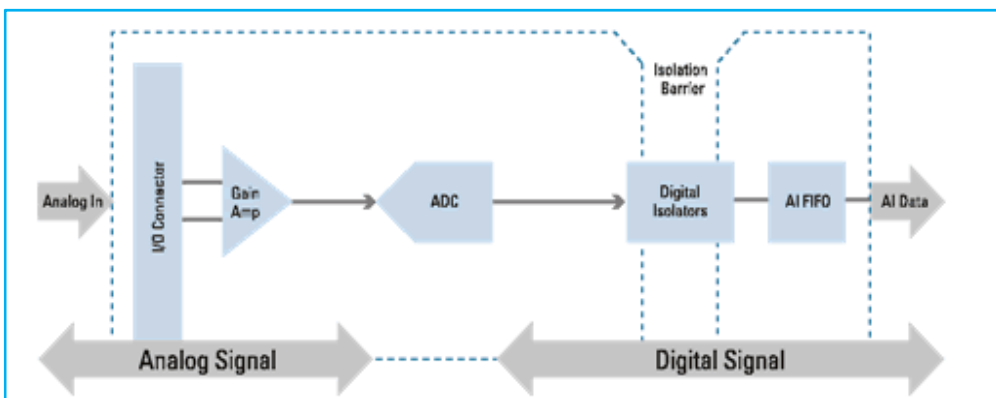
Figure 8. Les Circuit internes des entrées/sorties PFI

2.2.5 le block d'isolation numérique

Pour les voies d'E/S analogiques, l'isolation galvanique peut être appliquée soit dans les sections analogiques ou dans les sections numériques du circuit. L'isolation appliquée dans la section analogique du circuit avant la numérisation du signal analogique s'appelle isolation analogique. L'isolation appliquée après la numérisation du signal analogique est appelée isolation numérique (voir Figure 9).



(a) Isolation analogique



(b) Isolation numérique

Figure 9. La différence entre l'Isolation analogique et l'isolation numérique

Le module **NI USB-6218** utilise la technologie iCoupler. Introduite par analog device en **2001**, la technologie iCoupler est basée sur un couplage inductif. Un iCoupler contient trois parties principales : un émetteur, un transformateur et un récepteur (voir figure 10).

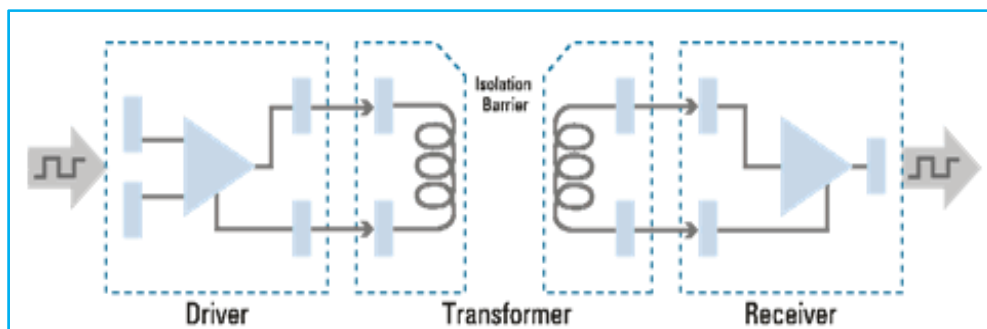


Figure 10. La technologie iCoupler

3. Le logiciel d'acquisition de données

Pour pouvoir utiliser efficacement la carte d'acquisition **NI USB-6218**, cette dernière doit être pilotée par un ordinateur à travers une interface logicielle composée d'un driver **NI-DAQmx**® et d'un logiciel d'acquisition de données.

Nous avons choisi d'utiliser **NI LabVIEW**® comme logiciel d'acquisition pour deux raisons : sa simplicité de mise en œuvre et le fait qu'il soit produit par la même **firme** que celle qui fabrique le périphérique **DAQ** utilisé dans ce présent mémoire.

3.1 Le logiciel LabVIEW®

3.1.1 Qu'est-ce que LabVIEW® ?

LabVIEW® (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) est un langage de programmation dédié au contrôle d'instruments et à l'analyse des données.

LabVIEW® possède certaines particularités qui le distinguent des langages de programmation conventionnels. Parmi ces particularités, on citera :

- LabVIEW® utilise un langage de programmation graphique : le langage **G**.
- L'exécution d'un programme LabVIEW® est pilotée par le **flux de données**, autrement dit, une instruction ne peut s'exécuter que si toutes les données nécessaires à son exécution sont disponibles.

3.1.2 Qu'est-ce qu'un instrument Virtuel (VI) ?

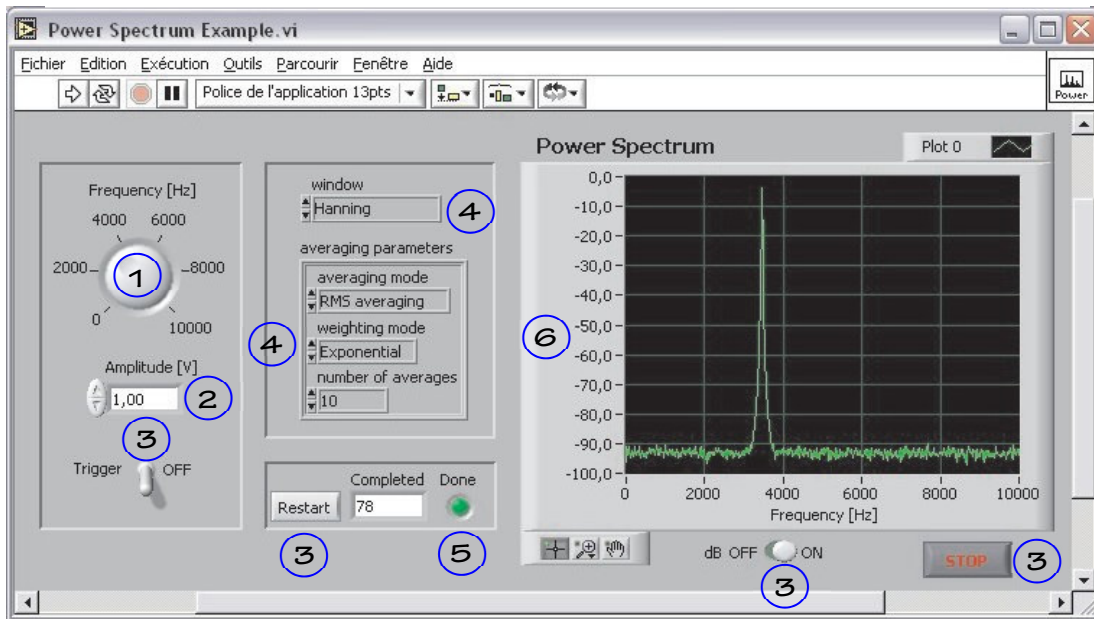
Pour l'utilisateur, un programme écrit en LabVIEW® se présente comme une fenêtre graphique représentant la **face avant** d'un instrument de mesure d'où le nom d'instruments virtuels (**VI**) donné aux codes LabVIEW® (l'extension du nom des programmes LabVIEW® est **.vi**).

Comme pour un instrument matériel, la face avant représente l'interface entre l'instrument et l'utilisateur. On distingue alors deux types d'objets sur la face avant.

- Des contrôles qui permettent à l'utilisateur de transmettre une information ou une commande à l'instrument.
- Des indicateurs qui permettent à l'instrument de transmettre une information à l'utilisateur.

De manière générale, pour l'utilisateur, un **VI** c'est une face avant avec ses boutons, ses entrées numériques, ses sélecteurs et ses indicateurs graphiques qui miment autant que possible le fonctionnement d'un instrument matériel tel qu'illustré à la figure **11**.

Figure 11. Exemple de la face avant d'un instrument virtuel sous LabVIEW®



- ① Bouton rotatif
- ② Sélecteur numérique
- ③ Interrupteur à 2 positions
- ④ Sélecteur liste
- ⑤ Indicateur LED (booléen)
- ⑥ Indicateur numérique (graphe..)

Il est cependant évident que les éléments composants la face avant de l'instrument virtuel ne suffisent pas, à eux seuls, à faire fonctionner le programme, car contrôles et indicateurs jouent le rôle des variables dans les langages classiques. Il est donc important d'aborder ce qui se passe derrière la face avant, autrement dit : le code source du programme désigné dans l'environnement LabVIEW® par le **Diagramme** dont un exemple est donné à la figure ci-dessous.

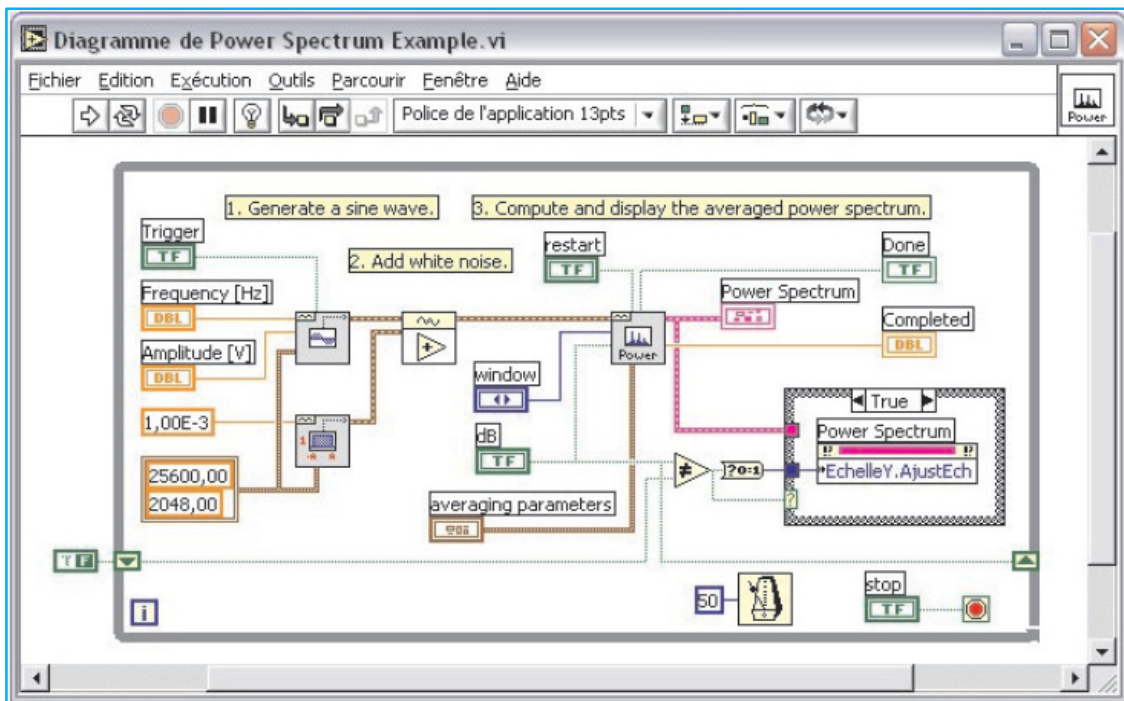


Figure 12. Exemple de diagramme d'un instrument virtuel sous LabVIEW®





3.1.3 l'environnement LabVIEW®

LabVIEW® est un outil d'une richesse telle que tenter de l'aborder dans le détail nécessiterait des livres entiers et non pas quelques pages au sein d'un chapitre ! c'est pour cette raison, que nous avons opter dans ce qui suit, à donner quelques éléments utiles en relation avec les objets qu'un utilisateur serai amener à manipuler pour écrire ces programmes sous LabVIEW®.

3.1.3.1 Les Terminaux

En LabVIEW®, les terminaux représentent les « variables » des langages classiques. On les retrouve sur le diagramme d'un VI. Il existe plusieurs types de terminaux différenciables par un code de couleurs tel qu'illustré par le tableau suivant.

Tableau 4. Code de couleurs des Terminaux

Couleur	Type du terminal	Exemple
Bleu	Entier	
Orange	Réel et Complexe	
Vert	Booléen	
Rose	Chaine de caractère	
Autres couleurs	Types spéciaux	-

Contrairement à la plupart des autres langages, les terminaux sont “directionnels”, c'est à dire que les contrôles sont destinés à être des entrées et les indicateurs des sorties. La distinction de direction se fait par le cerclage du terminal au niveau de la face avant du VI :

- **Plein** : pour les contrôles (figure 17-a).
- **Vide** : pour les indicateurs (figure 17-b).

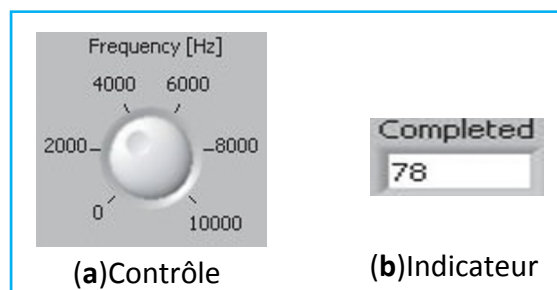


Figure 13. Différence graphique entre les terminaux contrôle et indicateur

3.1.3.2 Les Nœuds

Autres que les variables, un langage de programmation a besoin d'opérateurs ou jeux d'instructions. Sous LabVIEW®, ces opérateurs sont désignés par « Nœuds ». Ces derniers se présentent sous la forme d'icônes possédant sur leur face gauche des “pattes” d'entrées et sur leur face droite des “pattes” de sorties.

Les nœuds sont donc à la fois les opérateurs simples du langage comme l'addition, la soustraction, les opérations logiques, les conversions de type, mais aussi des sous-programmes complexes prenant des arguments en entrée et donnant des valeurs en sortie. Un exemple de nœud illustrant un opérateur arithmétique est représenté par la figure suivante.

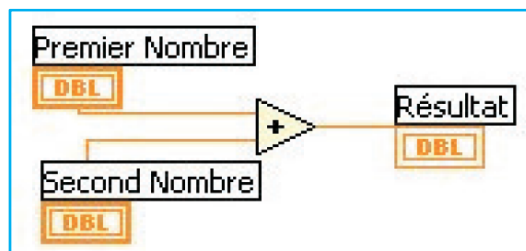


Figure 14. Exemple de nœud sous LabVIEW®

3.1.3.3 Les Structures

Comme dans beaucoup de langages, il apparaît rapidement qu'un programme ne peut être efficace qu'à condition de disposer de mécanismes permettant de contrôler son exécution, c'est le rôle des structures. LabVIEW® possède donc :

- Des boucles telles que la boucle *For* et *While* ;
- Des structures conditionnelles : *if...else*, *case...* ;
- Des structures de séquence permettent de déterminer l'ordre d'exécution de certaines parties du code (voir figure 19).

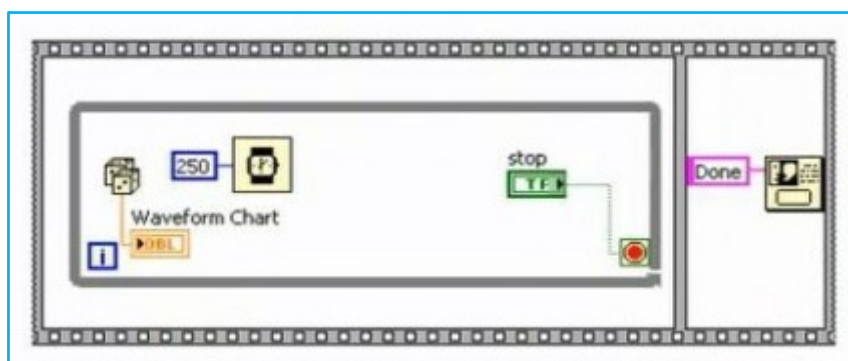


Figure 15. Exemple de structure de séquence

3.1.3.3 les barres d'outils de la face avant et du diagramme

Le détail de ces deux barres d'outils est expliqué dans la figure ci-dessous.

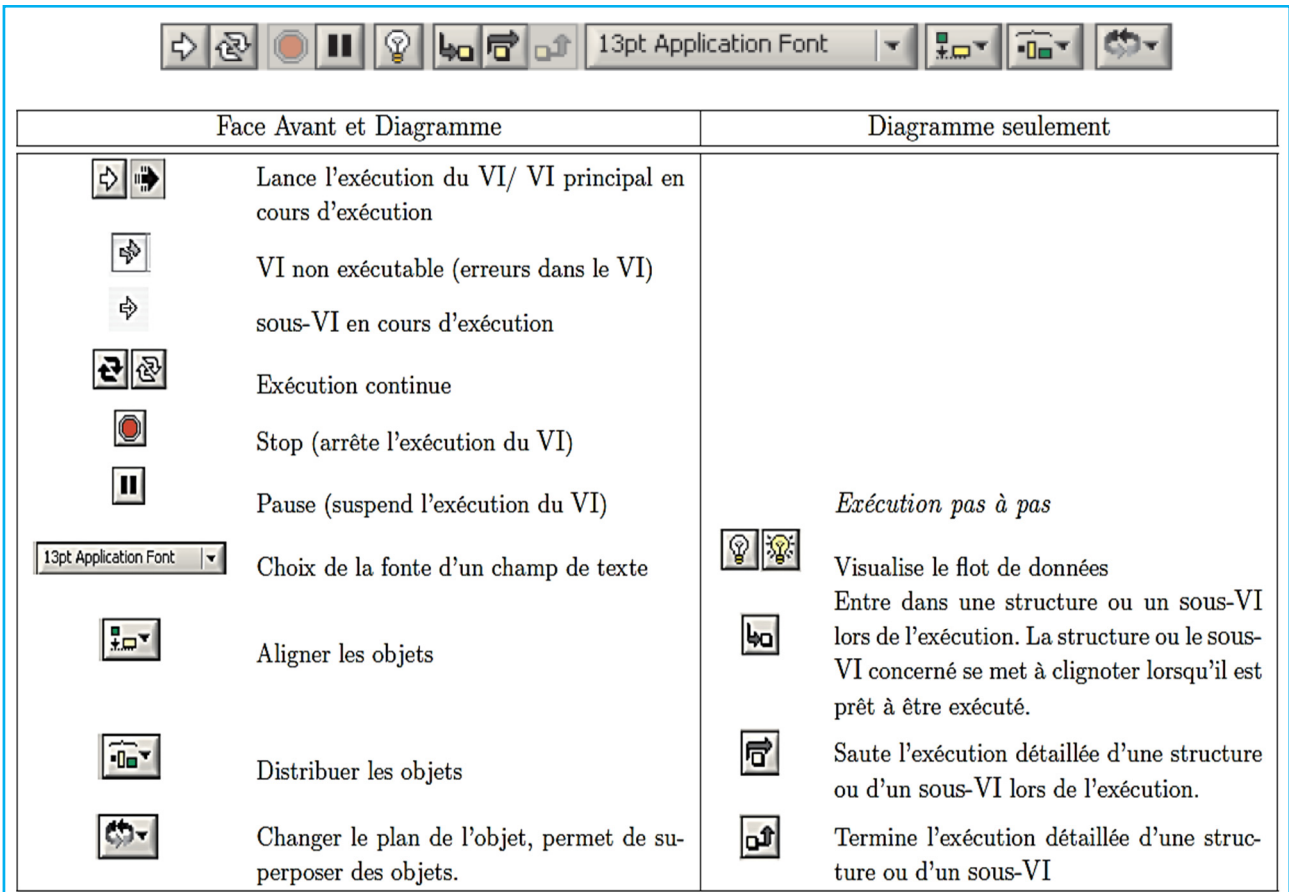


Figure 16. Les barres d'outils de LabVIEW®

3.1.3.4 Les Palettes

Les outils, sous forme d'icônes, dont dispose LabVIEW® sont regroupés par fenêtres appelées palettes. Il existe trois types de palettes qui sont :

- **La palette de commandes** qui permet de créer sur la face avant toutes les commandes et indicateurs quels que soit leur type (voir figure 17-a) ;
- **La palette de fonctions** qui permet de créer sur le diagramme toutes les fonctions LabVIEW® (voir figure 17-b) ;
- **La palette d'outils** qui est accessible sur la face avant et sur le diagramme. Elle permet de modifier les couleurs, les valeurs, de câbler les entrées et les sorties des terminaux et des nœuds. Elle permet d'accéder aux sondes et de placer des points d'arrêt sur le diagramme (voir figure 17-c).

Il est cependant nécessaire de souligner que certaines icônes des palettes suscitées, correspondent à des rubriques donnant accès à des fenêtres secondaires contenant un ensemble d'outils.

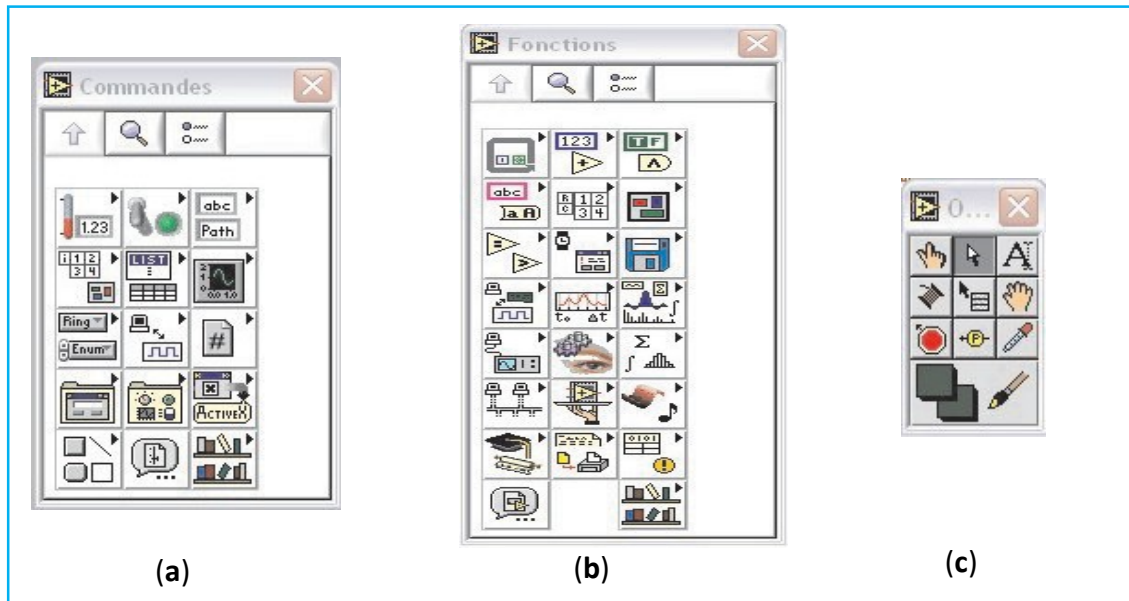


Figure 17. Les palettes : des commandes(a), des fonctions(b) et d’outils (c)

3.2 Le driver NI-DAQmx

Le rôle du driver NI-DAQmx est d’optimisé l’accès au matériel DAQ. La philosophie générale est de définir à l’avance la tâche à accomplir et de transmettre cette tâche à la carte. Suite à un ordre de départ, la carte se charge de façon quasi autonome de l’acquisition.

Les fonctionnalités associées au driver NI-DAQmx sont accessibles à travers une série de nœuds accessibles par le menu “E/S de mesure” de la palettes d fonctions (voir figure 18).

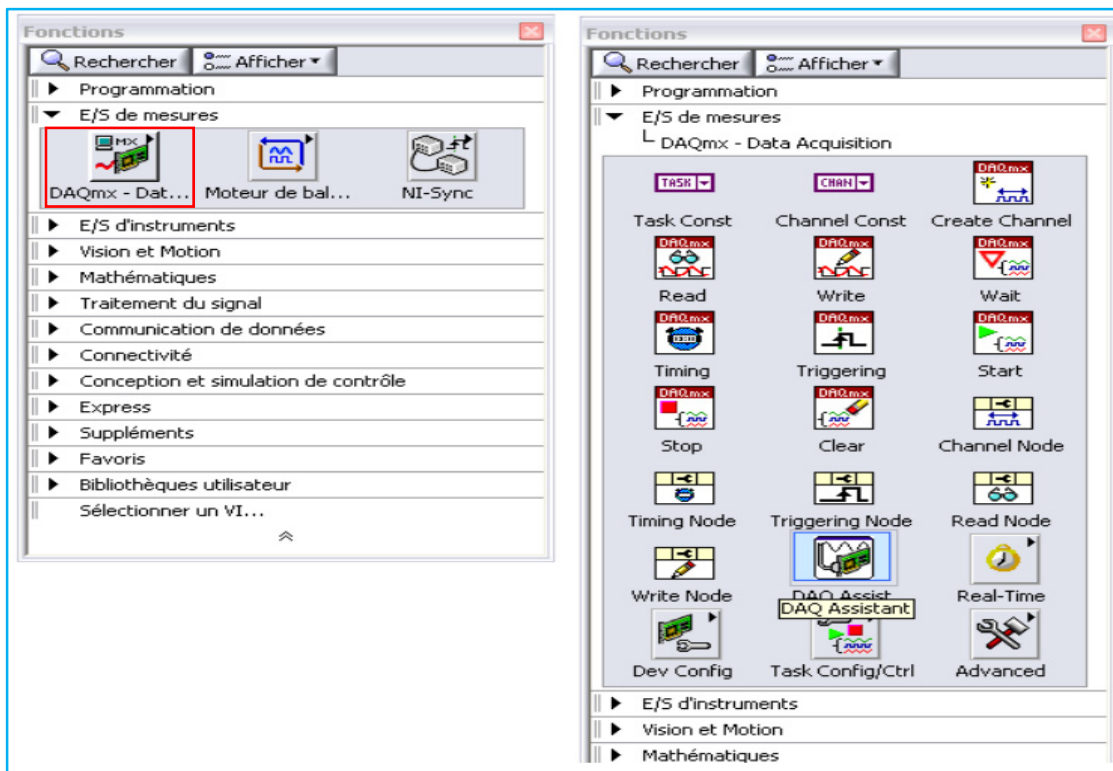


Figure 18. Fonctionnalités associées au driver NI-DAQmx

Annexe II

Datasheets

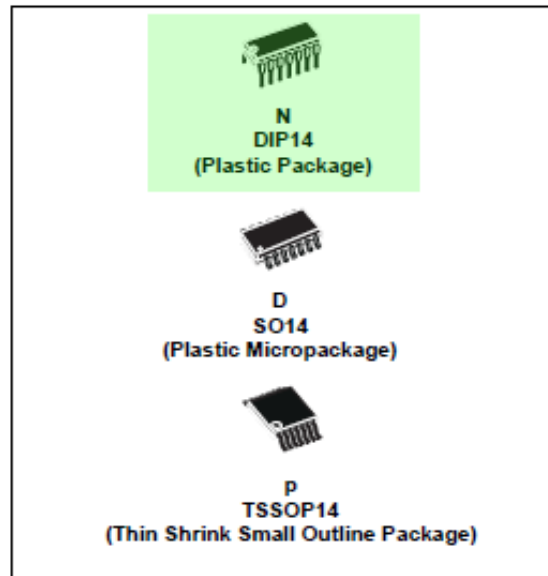
1. TL 084CN



TL084
TL084A - TL084B

**GENERAL PURPOSE J-FET
QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS**

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16V/\mu s$ (typ)



DESCRIPTION

The TL084, TL084A and TL084B are high speed J-FET input quad operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET 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.

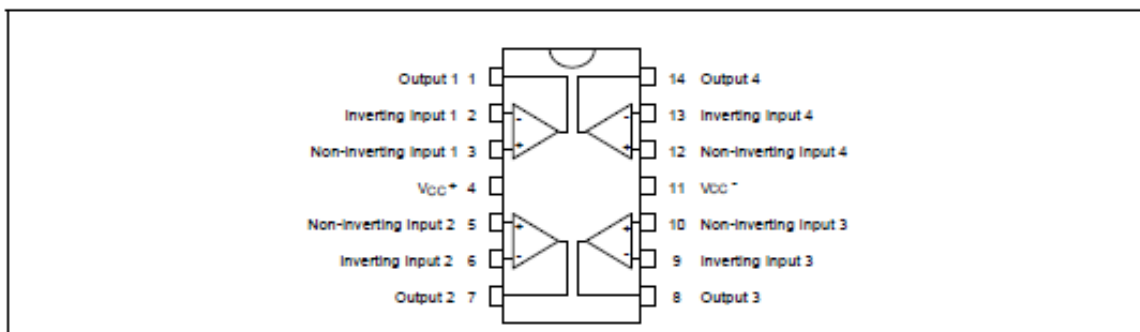
ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
TL084M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•	•
TL084I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•	•
TL084C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•	•

Example : TL084CN, TL084CD

N = Dual In Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

PIN CONNECTIONS (top view)



March 2001

1/12

Figure 1. Résumé des principales caractéristiques.

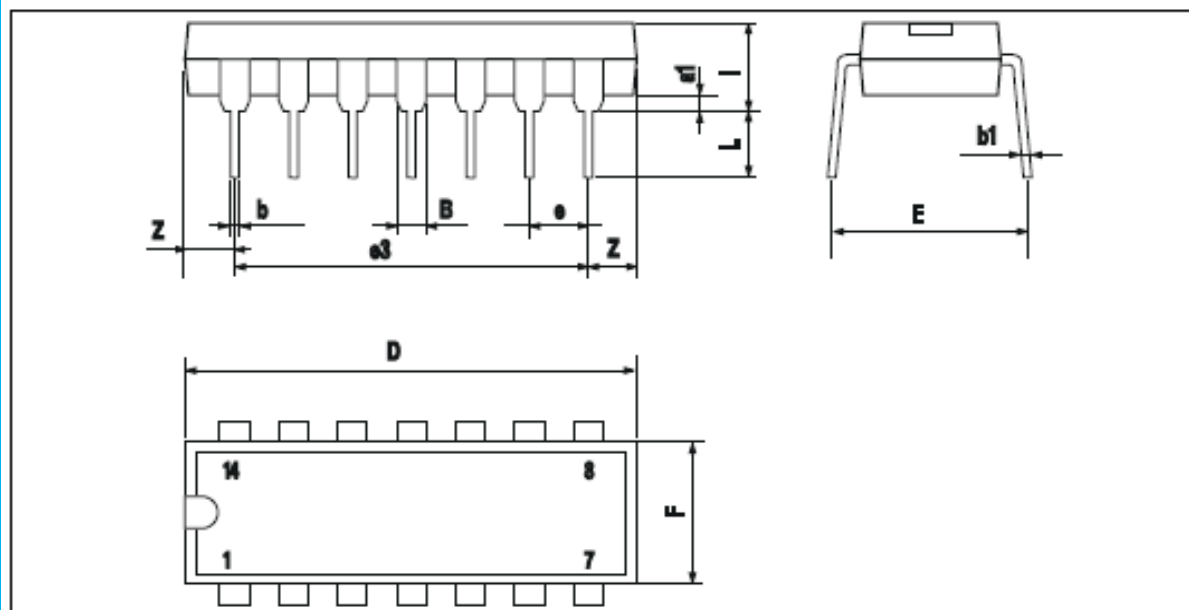
ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL084I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL084C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{IO}	Input Offset Voltage ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$	TL084	3	10		3	10	mV
		TL084A	3	6				
	TL084B	1	3					
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	TL084		13			13	
		TL084A		7				
TL084B		5						
DV_{IO}	Input Offset Voltage Drift		10			10	$\mu V/^{\circ}C$	
I_{IO}	Input Offset Current - note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100		5	100	pA nA
				4		4		
I_{IB}	Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	200		20	400	pA nA
				20		20	20	
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_o = \pm 10V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		25 15	200	V/mV	
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86	dB	
I_{CC}	Supply Current, no load, per amplifier $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.4	2.5 2.5		1.4	2.5 2.5	mA
V_{ICM}	Input Common Mode Voltage Range	± 11	+15 -12		± 11	+15 -12	V	
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86	dB	
I_{OS}	Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10 10	40	60 60	10 10	40	60 60	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	RL = 2k Ω	10	12		10	12	V
		RL = 10k Ω	12	13.5		12	13.5	
		RL = 2k Ω	10			10		
		RL = 10k Ω	12			12		
SR	Slew Rate ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain	8	16		8	16	V/ μs	
t_r	Rise Time ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		0.1			0.1	μs	
K_{ov}	Overshoot ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		10			10	%	
GBP	Gain Bandwidth Product ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$	2.5	4		2.5	4	MHz	
R_i	Input Resistance		10^{12}			10^{12}	Ω	

Figure 2. Caractéristiques électriques.

TL084 - TL084A - TL084B

PACKAGE MECHANICAL DATA
14 PINS - PLASTIC DIP

Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
a_1	0.51			0.020		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.5			0.020	
b_1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e_3		15.24			0.600	
F			7.1			0.280
i			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z	1.27		2.54	0.050		0.100

Figure 3. Caractéristiques mécaniques

2. LM317



LM317

SLVS044X – SEPTEMBER 1997 – REVISED SEPTEMBER 2016

LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

1 Features

- Output Voltage Range Adjustable From 1.25 V to 37 V
- Output Current Greater Than 1.5 A
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Thermal Overload Protection
- Output Safe-Area Compensation

2 Applications

- ATCA Solutions
- DLP: 3D Biometrics, Hyperspectral Imaging, Optical Networking, and Spectroscopy
- DVR and DVS
- Desktop PC
- Digital Signage and Still Camera
- ECG Electrocardiogram
- EV HEV Charger: Level 1, 2, and 3
- Electronic Shelf Label
- Energy Harvesting
- Ethernet Switch
- Femto Base Station
- Fingerprint and Iris Biometrics
- HVAC: Heating, Ventilating, and Air Conditioning
- High-Speed Data Acquisition and Generation
- Hydraulic Valve
- IP Phone: Wired and Wireless
- Intelligent Occupancy Sensing
- Motor Control: Brushed DC, Brushless DC, Low-Voltage, Permanent Magnet, and Stepper Motor
- Point-to-Point Microwave Backhaul
- Power Bank Solutions
- Power Line Communication Modem
- Power Over Ethernet (PoE)
- Power Quality Meter
- Power Substation Control
- Private Branch Exchange (PBX)
- Programmable Logic Controller
- RFID Reader
- Refrigerator
- Signal or Waveform Generator
- Software Defined Radio (SDR)
- Washing Machine: High-End and Low-End
- X-ray: Baggage Scanner, Medical, and Dental

3 Description

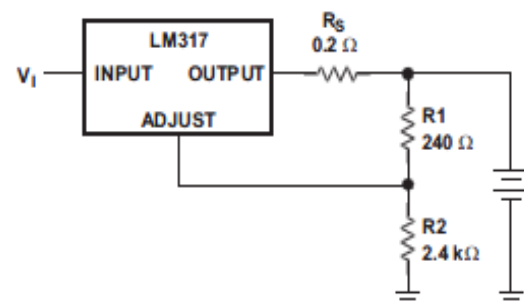
The LM317 device is an adjustable three-terminal positive-voltage regulator capable of supplying more than 1.5 A over an output-voltage range of 1.25 V to 37 V. It requires only two external resistors to set the output voltage. The device features a typical line regulation of 0.01% and typical load regulation of 0.1%. It includes current limiting, thermal overload protection, and safe operating area protection. Overload protection remains functional even if the ADJUST terminal is disconnected.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM317DCY	SOT-223 (4)	6.50 mm × 3.50 mm
LM317KCS	TO-220 (3)	10.16 mm × 9.15 mm
LM317KCT	TO-220 (3)	10.16 mm × 8.59 mm
LM317KTT	TO-263 (3)	10.16 mm × 9.01 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

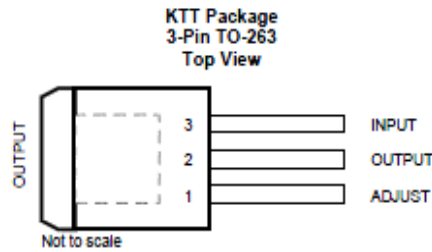
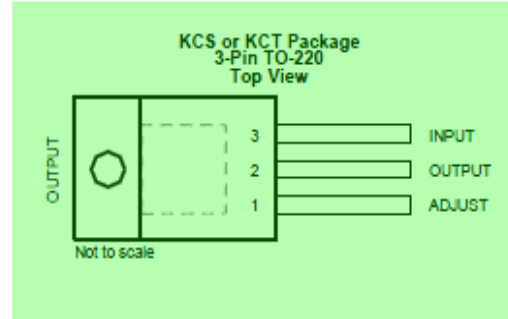
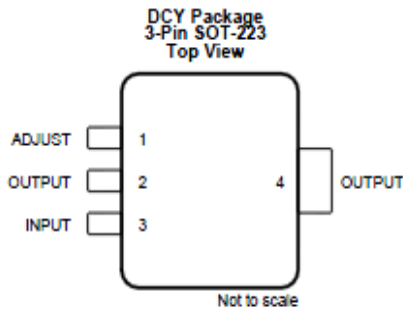
Battery-Charger Circuit



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

Figure 4. Résumé des principales caractéristiques.

5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

NAME	PIN		I/O	DESCRIPTION
	TO-263, TO-220	SOT-223		
ADJUST	1	1	I	Output voltage adjustment pin. Connect to a resistor divider to set V_O
INPUT	3	3	I	Supply input pin
OUTPUT	2	2, 4	O	Voltage output pin

Figure 5. Brochage physique

6.5 Electrical Characteristics

over recommended ranges of operating virtual junction temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾		MIN	TYP	MAX	UNIT
Line regulation ⁽²⁾	$V_I - V_O = 3\text{ V to }40\text{ V}$		$T_J = 25^\circ\text{C}$	0.01	0.04	%V
			$T_J = 0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	0.02	0.07	
Load regulation	$I_O = 10\text{ mA to }1500\text{ mA}$	$C_{ADJ}^{(3)} = 10\ \mu\text{F}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	$V_O \leq 5\text{ V}$		25	mV
			$V_O \geq 5\text{ V}$	0.1	0.5	% V_O
		$T_J = 0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	$V_O \leq 5\text{ V}$	20	70	mV
			$V_O \geq 5\text{ V}$	0.3	1.5	% V_O
Thermal regulation	20-ms pulse,	$T_J = 25^\circ\text{C}$		0.03	0.07	% V_O /W
ADJUST terminal current				50	100	μA
Change in ADJUST terminal current	$V_I - V_O = 2.5\text{ V to }40\text{ V}$, $P_D \leq 20\text{ W}$, $I_O = 10\text{ mA to }1500\text{ mA}$			0.2	5	μA
Reference voltage	$V_I - V_O = 3\text{ V to }40\text{ V}$, $P_D \leq 20\text{ W}$, $I_O = 10\text{ mA to }1500\text{ mA}$		1.2	1.25	1.3	V
Output-voltage temperature stability	$T_J = 0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			0.7		% V_O
Minimum load current to maintain regulation	$V_I - V_O = 40\text{ V}$			3.5	10	mA
Maximum output current	$V_I - V_O \leq 15\text{ V}$,	$P_D < P_{MAX}^{(4)}$	1.5	2.2		A
	$V_I - V_O \leq 40\text{ V}$,	$P_D < P_{MAX}^{(4)}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	0.15	0.4		
RMS output noise voltage (% of V_O)	$f = 10\text{ Hz to }10\text{ kHz}$,	$T_J = 25^\circ\text{C}$		0.003		% V_O
Ripple rejection	$V_O = 10\text{ V}$,	$f = 120\text{ Hz}$	$C_{ADJ} = 0\ \mu\text{F}^{(3)}$	57		dB
			$C_{ADJ} = 10\ \mu\text{F}^{(3)}$	62	64	
Long-term stability	$T_J = 25^\circ\text{C}$			0.3	1	%/1k hr

- (1) Unless otherwise noted, the following test conditions apply: $|V_I - V_O| = 5\text{ V}$ and $I_{O\text{MAX}} = 1.5\text{ A}$, $T_J = 0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$. Pulse testing techniques are used to maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.
- (2) Line regulation is expressed here as the percentage change in output voltage per 1-V change at the input.
- (3) C_{ADJ} is connected between the ADJUST terminal and GND.
- (4) Maximum power dissipation is a function of $T_J(\text{max})$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A) / \theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.

Figure 6. Caractéristiques électriques.

LM317

SLVS044X – SEPTEMBER 1997 – REVISED SEPTEMBER 2016

www.ti.com

8 Application and Implementation**NOTE**

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

8.1 Application Information

The flexibility of the LM317 allows it to be configured to take on many different functions in DC power applications.

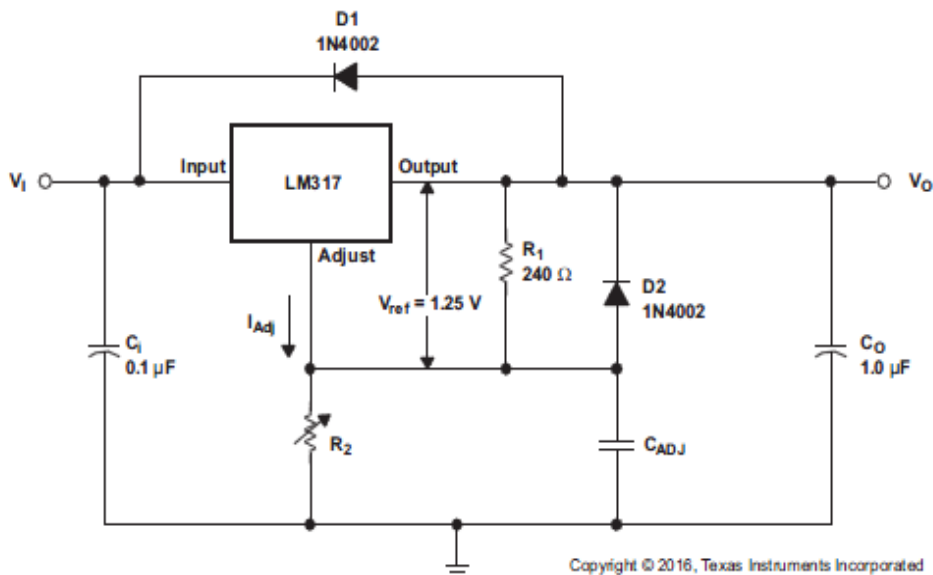
8.2 Typical Application

Figure 9. Adjustable Voltage Regulator

8.2.1 Design Requirements

- R1 and R2 are required to set the output voltage.
- C_{ADJ} is recommended to improve ripple rejection. It prevents amplification of the ripple as the output voltage is adjusted higher.
- C_1 is recommended, particularly if the regulator is not in close proximity to the power-supply filter capacitors. A 0.1- μ F or 1- μ F ceramic or tantalum capacitor provides sufficient bypassing for most applications, especially when adjustment and output capacitors are used.
- C_O improves transient response, but is not needed for stability.
- Protection diode D2 is recommended if C_{ADJ} is used. The diode provides a low-impedance discharge path to prevent the capacitor from discharging into the output of the regulator.
- Protection diode D1 is recommended if C_O is used. The diode provides a low-impedance discharge path to prevent the capacitor from discharging into the output of the regulator.

8.2.2 Detailed Design Procedure

V_O is calculated as shown in Equation 1. I_{ADJ} is typically 50 μ A and negligible in most applications.

$$V_O = V_{REF} (1 + R_2 / R_1) + (I_{ADJ} \times R_2) \quad (1)$$

Figure 7. Configuration type d'implémentation

LM317

SLVS044X—SEPTEMBER 1997—REVISED SEPTEMBER 2016

www.ti.com

9 Power Supply Recommendations

The LM317 is designed to operate from an input voltage supply range between 1.25 V to 37 V greater than the output voltage. If the device is more than six inches from the input filter capacitors, an input bypass capacitor, 0.1 μF or greater, of any type is needed for stability.

10 Layout**10.1 Layout Guidelines**

- TI recommends that the input terminal be bypassed to ground with a bypass capacitor.
- The optimum placement is closest to the input terminal of the device and the system GND. Take care to minimize the loop area formed by the bypass-capacitor connection, the input terminal, and the system GND.
- For operation at full rated load, TI recommends to use wide trace lengths to eliminate $I \times R$ drop and heat dissipation.

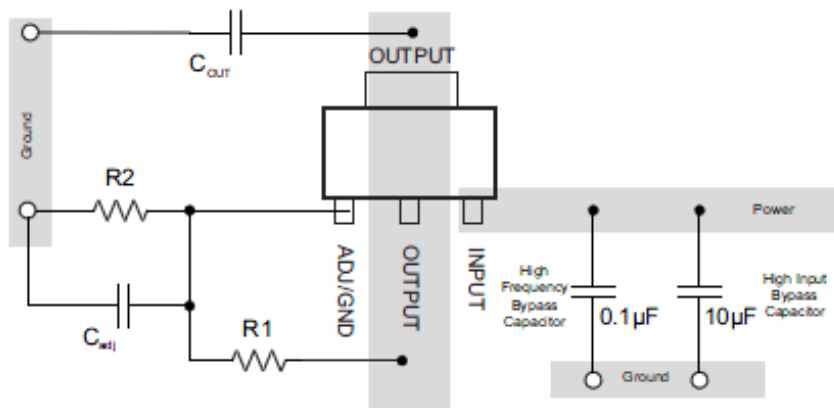
10.2 Layout Example

Figure 24. Layout Example

Figure 8. Recommendations pour le circuit imprimé.

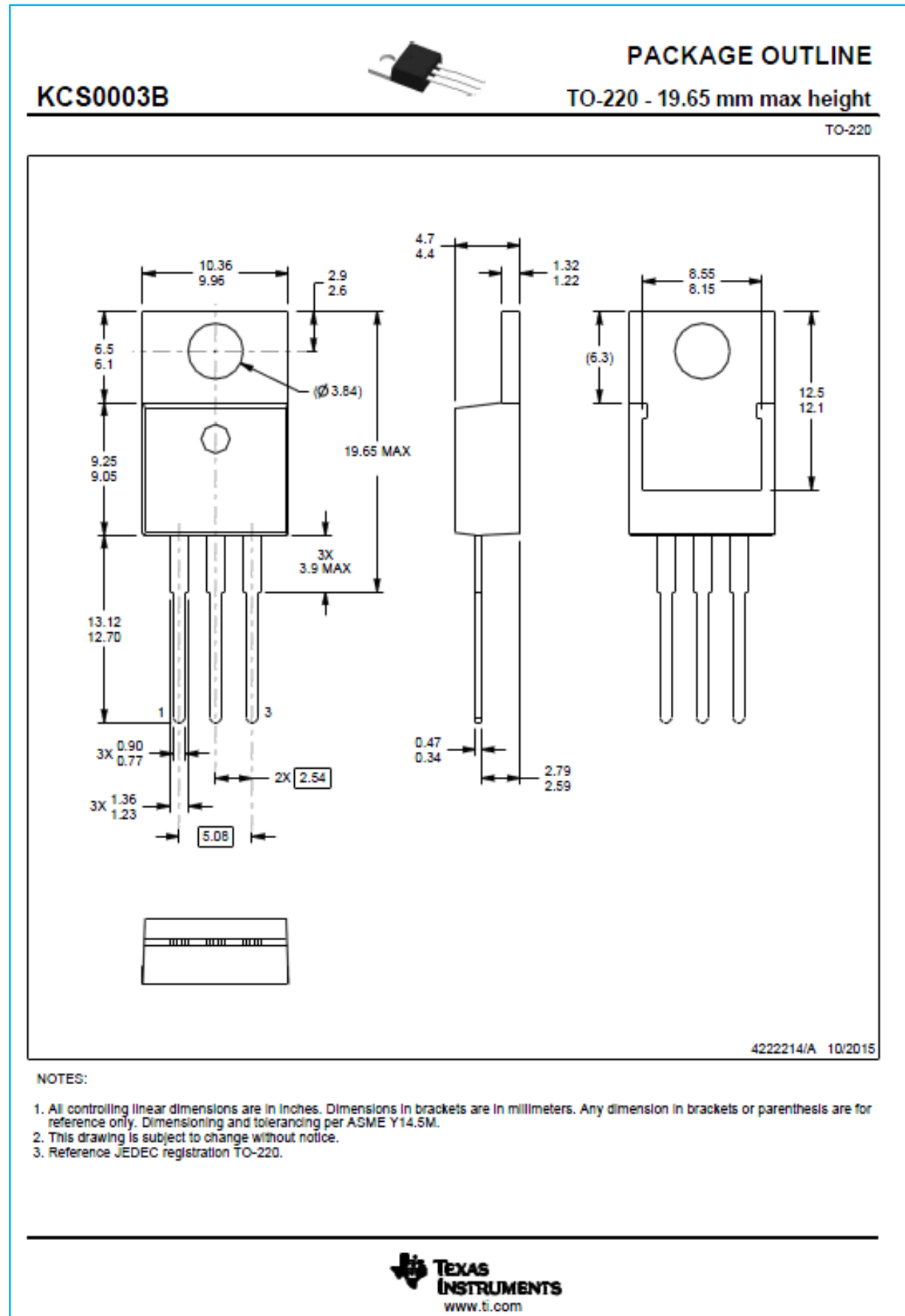


Figure 9. Caractéristiques mécaniques

3. LM337



LM237, LM337

SLVS047L – NOVEMBER 1981 – REVISED JANUARY 2015

LMx37 3-Terminal Adjustable Regulators

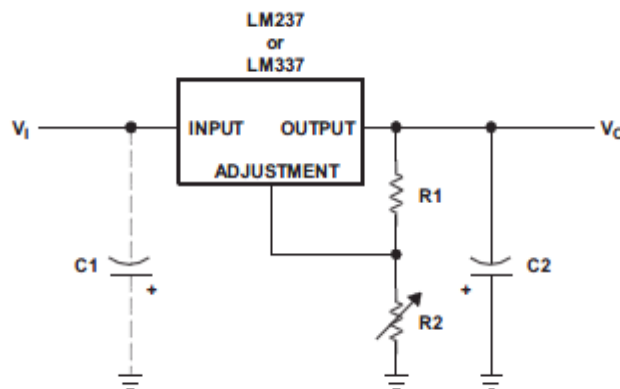
1 Features

- Output Voltage Range Adjustable From -1.2 V to -37 V
- Output Current Capability of 1.5 A Max
- Input Regulation Typically 0.01% Per Input-Voltage Change
- Output Regulation Typically 0.3%
- Peak Output Current Constant Over Temperature Range of Regulator
- Ripple Rejection Typically 77 dB
- Direct Replacement for Industry-Standard LM237 and LM337

2 Applications

- Applications Requiring Negative Output Voltage or Precision Current Regulation
- Consumer Electronics
- End Equipment
- Portable Applications

4 Simplified Schematic



3 Description

The LM237 and LM337 are adjustable 3-terminal negative-voltage regulators capable of supplying in excess of -1.5 A over an output voltage range of -1.2 V to -37 V . They require only two external resistors to set the output voltage and one output capacitor for frequency compensation.

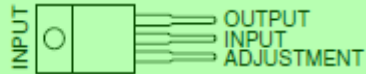
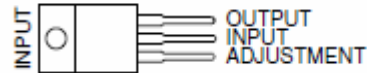
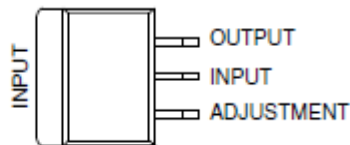
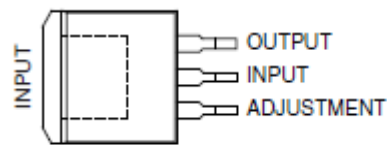
Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LMx37	TO-220 (4)	10.16 mm x 8.82 mm
	TO-263 (4)	10.16 mm x 9.02 mm
	TO-252 (4)	6.6 mm x 6.10 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Figure 10. Résumé des principales caractéristiques.

6 Pin Configuration and Functions

**LM237, LM337...KC (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)**

**LM337...KCS (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)**

**LM337...KTE, KTP, OR KVV PACKAGE
(TOP VIEW)**

**LM337...KTT (TO-263) PACKAGE
(TOP VIEW)**


Pin Functions

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
ADJUSTMENT	1	I	Adjustment pin for the output voltage. Connect two external resistors to adjust the output voltage.
INPUT	2	I	Input voltage. The input voltage and current will be designated V_I and I_I respectively.
OUTPUT	3	O	Output voltage. The output voltage and current will be designated V_O and I_O respectively.

Figure 11. Brochage physique

7.5 Electrical Characteristics

over recommended ranges of operating virtual junction temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	LM237			LM337			UNIT			
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX				
Input regulation ⁽²⁾	$V_I - V_O = -3\text{ V to } -40\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$			0.01	0.02	0.01	0.04	%V		
		$T_J = \text{MIN to MAX}$			0.02	0.05	0.02	0.07			
Ripple rejection	$V_O = -10\text{ V}, f = 120\text{ Hz}$				60			dB			
	$V_O = -10\text{ V}, f = 120\text{ Hz}, C_{\text{ADJ}} = 10\ \mu\text{F}$	66	77		66	77					
Output regulation	$I_O = 10\text{ mA to } 1.5\text{ A},$ $T_J = 25^\circ\text{C}$	$ V_O \leq 5\text{ V}$		25		50		mV			
		$ V_O \geq 5\text{ V}$		0.3%	0.5%	0.3%	1%		—		
	$I_O = 10\text{ mA to } 1.5\text{ A}$	$ V_O \leq 5\text{ V}$		50		70		mV			
		$ V_O \geq 5\text{ V}$		1%		1.5%			—		
Output-voltage change with temperature	$T_J = \text{MIN to MAX}$	0.6%			0.6%			—			
Output-voltage long-term drift	After 1000 h at $T_J = \text{MAX}$ and $V_I - V_O = -40\text{ V}$	0.3%			1%			—			
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to } 10\text{ kHz}, T_J = 25^\circ\text{C}$	0.003%			0.003%			—			
Minimum output current to maintain regulation	$ V_I - V_O \leq 40\text{ V}$	2.5			5			mA			
	$ V_I - V_O \leq 10\text{ V}$	1.2			3						
Peak output current	$ V_I - V_O \leq 15\text{ V}$	1.5	2.2		1.5	2.2	A				
	$ V_I - V_O \leq 40\text{ V}, T_J = 25^\circ\text{C}$	0.24	0.4		0.15	0.4					
ADJUSTMENT current		65			100			μA			
Change in ADJUSTMENT current	$V_I - V_O = -2.5\text{ V to } -40\text{ V}, I_O = 10\text{ mA to MAX},$ $T_J = 25^\circ\text{C}$	2			5			μA			
Reference voltage (OUTPUT to ADJUSTMENT)	$V_I - V_O = -3\text{ V to } -40\text{ V},$ $I_O = 10\text{ mA to } 1.5\text{ A},$ $P \leq \text{rated dissipation}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$			-1.225	-1.25	-1.275	-1.213	-1.25	-1.287	V
		$T_J = \text{MIN to MAX}$			-1.2	-1.25	-1.3	-1.2	-1.25	-1.3	
Thermal regulation	Initial $T_J = 25^\circ\text{C}$, 10-ms pulse	0.002			0.02			0.003	0.04	%W	

- (1) Unless otherwise noted, the following test conditions apply: $|V_I - V_O| = 5\text{ V}$ and $I_O = 0.5\text{ A}$. For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions. All characteristics are measured with a $0.1\text{-}\mu\text{F}$ capacitor across the input and a $1\text{-}\mu\text{F}$ capacitor across the output. Pulse-testing techniques are used to maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately.
- (2) Input regulation is expressed here as the percentage change in output voltage per 1-V change at the input.

7.6 Electrical Characteristics

$T_J = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	LM237, LM337			UNIT	
		MIN	TYP	MAX		
Input regulation ⁽²⁾	$V_I - V_O = -3\text{ V to } -40\text{ V}$	0.01			0.04	%V
Ripple rejection	$V_O = -10\text{ V}, f = 120\text{ Hz}$				60	dB
	$V_O = -10\text{ V}, f = 120\text{ Hz}, C_{\text{ADJ}} = 10\ \mu\text{F}$	66	77			
Output regulation	$I_O = 10\text{ mA to } 1.5\text{ A}$	$ V_O \leq 5\text{ V}$		50		mV
		$ V_O \geq 5\text{ V}$		0.3%	1%	
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to } 10\text{ kHz}$	0.003%				—
Minimum output current to maintain regulation	$ V_I - V_O \leq 40\text{ V}$	2.5			10	mA
	$ V_I - V_O \leq 10\text{ V}$	1.5			6	
Peak output current	$ V_I - V_O \leq 15\text{ V}$	1.5	2.2			A
	$ V_I - V_O \leq 40\text{ V}$	0.15	0.4			
ADJUSTMENT current		65			100	μA
Change in ADJUSTMENT current	$V_I - V_O = -2.5\text{ V to } -40\text{ V}, I_O = 10\text{ mA to MAX}$	2			5	μA
Reference voltage (OUTPUT to ADJUSTMENT)	$V_I - V_O = -3\text{ V to } -40\text{ V}, I_O = 10\text{ mA to } 1.5\text{ A},$ $P \leq \text{rated dissipation}$	-1.213	-1.25	-1.287		V

- (1) Unless otherwise noted, the following test conditions apply: $|V_I - V_O| = 5\text{ V}$ and $I_O = 0.5\text{ A}$. All characteristics are measured with a $0.1\text{-}\mu\text{F}$ capacitor across the input and a $1\text{-}\mu\text{F}$ capacitor across the output. Pulse-testing techniques are used to maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately.
- (2) Input regulation is expressed here as the percentage change in output voltage per 1-V change at the input.

Figure 12. Caractéristiques électriques.

9 Application and Implementation

NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

9.1 Application Information

9.1.1 General Configurations

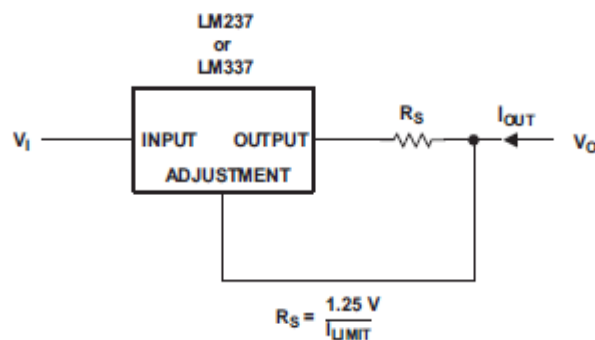


Figure 2. Current-Limiting Circuit

This application uses the LMx37 device's reference voltage, combined with the series resistor R_S , to limit the current to $1.25 \text{ V} \div R_S$.

9.2 Typical Application

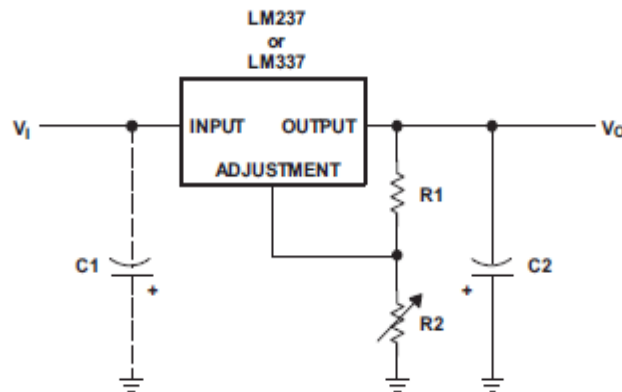


Figure 3. Adjustable Negative-Voltage Regulator

9.2.1 Design Requirements

- 1- μF solid tantalum on the input pin if the regulator is more than 10 cm from the power supply filter capacitor
- 1- μF solid tantalum or 10- μF aluminum electrolytic capacitor is required on the output pin for stability.
- R1, which is usually 120 Ω as part of the resistor divider.
- R2, which can be varied to change the value of V_O .

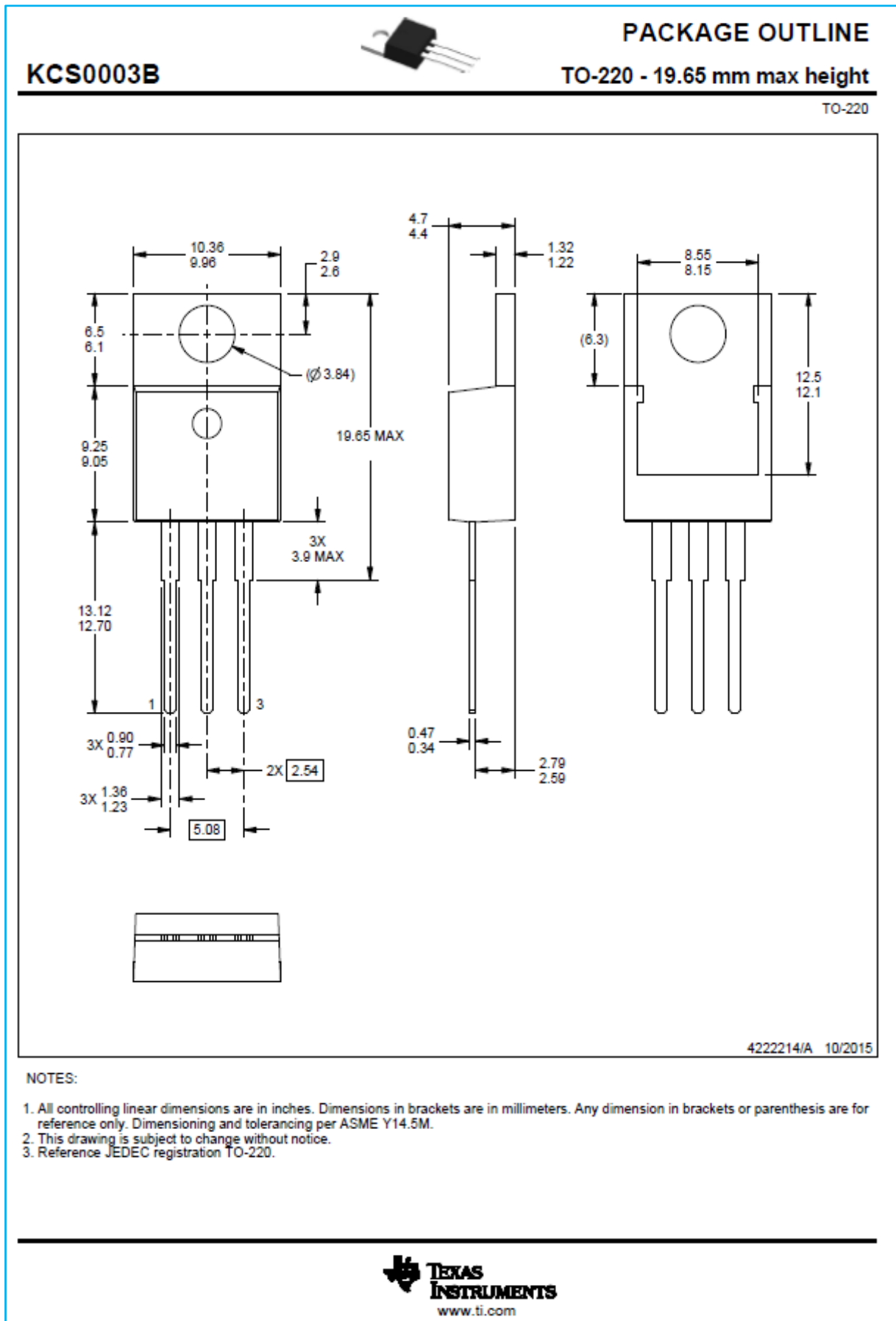


Figure 14. Caractéristiques mécaniques

Résumé

Discipline charnière entre l'électricité et la chimie, L'électrochimie est aujourd'hui une science qui se situe souvent en arrière-plan de nombreuses problématiques scientifiques actuelles dans de nombreux domaines dits à fort impact technologique et sociétal. Parmi ces domaines, nous pouvons citer : les énergies nouvelles, les nano- et neurosciences, la microscopie électrochimique, etc.

L'électrochimie, comme toute technique analytique, fait appel à un ensemble très varié d'appareillage de mesure. Parmi ces derniers, nous avons choisi de nous intéresser au potentiostat qui, grâce à un jeu d'électrodes immergées dans une solution d'électrolytes, permet de mesurer le courant électrique qui parcourt une des électrodes en imposant un potentiel. Cet instrument est très utilisé dans l'étude des phénomènes de corrosion et dans la conception des biocapteurs.

On trouve dans le commerce différents modèles de potentiostats. Malheureusement leurs prix sont élevés. Le prix est essentiellement dû à une sophistication qui n'est pas nécessaire pour les expériences telles que celles pratiquées en premier cycle universitaire.

Le présent travail décrit une conception d'un potentiostat multivoies, peu onéreux, réalisé grâce à une carte d'acquisition (**NI USB-6218**), et doté d'une interface logicielle conviviale programmée sous LabVIEW. Le potentiostat conçu permet de suivre l'évolution temporelle des grandeurs électriques mesurées telles que le potentiel de l'électrode de travail par rapport à celle de l'électrode de référence ainsi que le courant qui parcourt la contre électrode.

Le potentiostat que nous allons concevoir est destiné à être utilisé au sein du Laboratoire de Physique et Chimie des Matériaux (**LPCM**) du département de chimie de l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.

Mots clés : électrochimie, potentiostat, galvanostat, électrode, courbe intensité-potentiel, acquisition, instrument virtuel.

Abstract

Intermediary branch between electricity and chemistry, Electrochemistry is today a science that often lies in the background of many current scientific problems in many fields known as high technological and societal impact. Among these domains we can cite: new energies, nano- and neurosciences, electrochemical microscopy, etc.

Electrochemistry, like all analytical techniques, uses a very varied set of measuring equipment. We have chosen to focus on the potentiostat which, thanks to a set of electrodes immersed in an electrolyte solution, makes it possible to measure the electric current which passes through one of the electrodes by imposing a potential. This instrument is widely used in the study of corrosion phenomena and in the design of biosensors.

Various models of potentiostats are available commercially. Unfortunately, their prices are high. The price is mainly due to a sophistication that is not necessary for experiments such as those practiced in undergraduate university.

The present work describes a design of an inexpensive multi-channel potentiostat made with an acquisition board (**NI USB-6218**) and equipped with a user-friendly software interface programmed under LabVIEW. The potentiostat designed makes it possible to follow the time evolution of the measured electrical quantities such as the potential of the working electrode with respect to that of the reference electrode and the current which runs through the counter electrode.

The potentiostat we are going to design is intended to be used in the Laboratory of Physics and Materials Chemistry (**LPCM**) of the chemistry department of Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou University.

Keywords: electrochemistry, potentiostat, galvanostat, electrode, Curve intensity - potential, acquisition, virtual instrument