

# Filière Systèmes industriels

Orientation Power and Control

## Diplôme 2013

*Mathias Cornut*


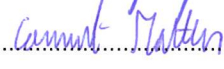
*Evaluation des systèmes  
de stockage d'énergie électrique*

■ Professeur  
Dominique Roggo  
■ Expert  
Sébastien Demont  
■ Date de la remise du rapport  
12 juillet 2013



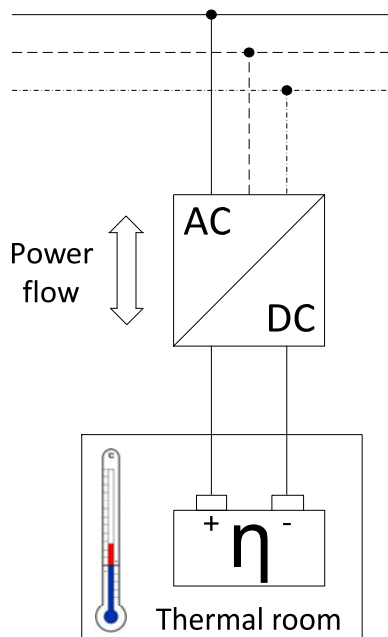
|    |    |
|----|----|
| SI | TV |
| X  | X  |

|   |  |  |
|---|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> FSI<br><input type="checkbox"/> FTV   | Année académique / Studienjahr<br><b>2012/13</b>   | No TD / Nr. DA<br><b>pc/2013/28</b>  |
| Mandant / Auftraggeber<br><input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais<br><input type="checkbox"/> Industrie<br><input type="checkbox"/> Etablissement partenaire<br><i>Partnerinstitution</i> | Etudiant / Student<br><b>Mathias Cornut</b><br><hr/> Professeur / Dozent<br><b>Dominique Roggo</b> | Lieu d'exécution / Ausführungsort<br><input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais<br><input type="checkbox"/> Industrie<br><input type="checkbox"/> Etablissement partenaire<br><i>Partnerinstitution</i> |
| Travail confidentiel / vertrauliche Arbeit<br><input type="checkbox"/> oui / ja <sup>1</sup> <input checked="" type="checkbox"/> non / nein   | Expert / Experte (données complètes)   |  |

|  |   |
|--|---|
| Titre / Titel<br><p style="text-align: center;"><b>Evaluation des systèmes de stockage d'énergie électrique</b></p>  |   |
| Description et Objectifs / Beschreibung und Ziele<br><p>Dans le contexte du développement de la production d'énergie décentralisée, une exploitation optimale des énergies renouvelables nécessite des moyens de stockage, afin de pallier à la différence entre production stochastique et consommation à chaque instant. Quoi que l'efficacité soit au cœur des débats sur notre futur énergétique, il est très difficile et rare de trouver des informations pertinentes sur le rendement des systèmes de stockage, considérés dans la globalité de leur application.</p> <p>L'objectif du travail proposé est de réaliser un banc de tests pour mesurer l'efficacité des cycles de charge et décharge de batteries électriques. Dans certains cas, le rendement du convertisseur de charge pourra être pris en considération. Une série de tests de différents types de batterie devra permettre une évaluation des différentes technologies actuelles et de les comparer avec les systèmes de stockages à grande échelle et centralisés, tel que le pompage turbinage.</p> <p>Résultats attendus du projet :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Conception détaillée du banc de tests: schémas électriques, plateforme de programmation et de contrôle, interface homme-machine</li> <li>— Réalisation de la plateforme de test : assemblage, câblage et programmation des tests de base</li> <li>— Campagne d'essais avec au moins un type de batteries</li> <li>— Description des tests sous forme de mode d'emploi</li> <li>— Rapport incluant les résultats de la campagne de tests.</li> </ul> |   |
| Signature ou visa / Unterschrift oder Visum<br><br>Resp. de la filière<br>Leiter des Studieng.: ..... <br><br><sup>1</sup> Etudiant/Student: .....   | Délais / Termine<br><br>Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags:<br>13.05.2013<br><br>Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts:<br>12.07.2013<br><br>Expositions / Ausstellungen Diplomarbeiten:<br>28 – 30.08.2013<br><br>Défense orale / Mündliche Verfechtung:<br>Semaine   Woche 36 |

<sup>1</sup> Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement le caractère confidentiel du travail de diplôme qui lui est confié et des informations mises à sa disposition.

Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der Student, die Vertraulichkeit der Diplomarbeit und der dafür zur Verfügung gestellten Informationen zu wahren.



## Evaluation des systèmes de stockage d'énergie électrique

Diplômant

Mathias Cornut

### Objectif du projet

Des informations pertinentes sur le rendement de systèmes de stockage manquent généralement. L'objectif du travail est de réaliser un banc de test pour mesurer l'efficacité de cycles de charge et de décharge des batteries électriques.

### Méthodes | Expériences | Résultats

Les cycles de charge et décharge sont réalisés à l'aide d'un convertisseur d'énergie bidirectionnel AC/DC. Les batteries sont chargées, puis l'énergie est réinjectée dans le réseau lors de la décharge. La norme IEC 62660-1 décrit l'algorithme de test permettant d'obtenir des résultats cohérents.

Un automate National Instrument CompactRIO effectue automatiquement l'acquisition de ces mesures lors des différentes phases de test. Ce dernier pilote en outre le convertisseur et fournit les résultats finaux à l'utilisateur via une interface homme-machine. La plateforme de test est fonctionnelle. Le rendement en énergie d'une batterie au plomb pour le stockage décentralisé a pu être mesuré : il varie entre 0.62 et 0.82 selon le courant de charge.

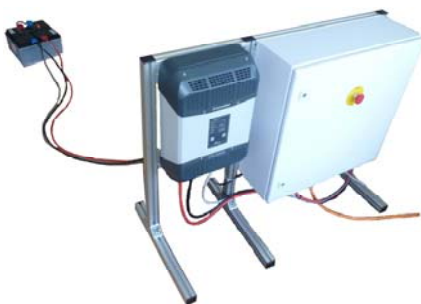
D'autres tests pourront être implémentés grâce à la flexibilité de programmation dont dispose le banc de test. La plateforme d'essais offre une interface modulable. Un convertisseur DC/DC bidirectionnel pourra être inséré entre source et batterie afin d'affiner le réglage du courant de charge et de décharge.

Travail de diplôme  
| édition 2013 |

Filière  
*Systèmes industriels*

Domaine d'application  
*Power and Control*

Professeur responsable  
Dominique Roggo  
dominique.roggo@hevs.ch



Banc de test chargé avec deux batteries au plomb (110 [Ah], 12 [V]) en série



Intérieur du banc de test avec mesures, API et éléments de contrôle.

# TABLE DES MATIERES

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUCTION.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>SPÉCIFICATIONS .....</b>                                      | <b>1</b>  |
| 2.1      | Résultats à obtenir .....  | 1         |
| 2.2      | Objets à tester .....  | 3         |
| 2.2.1    | <i>Types de technologies .....</i>                               | <i>3</i>  |
| 2.2.2    | <i>Types d'accumulateurs électriques .....</i>                   | <i>5</i>  |
| 2.3      | Principe de fonctionnement du banc de test .....                 | 6         |
| 2.4      | Observations .....   | 6         |
| 2.5      | Partie commune .....   | 7         |
| 2.5.1    | <i>Acquisition de données.....</i>                               | <i>7</i>  |
| 2.5.2    | <i>Choix du système d'acquisition .....</i>                      | <i>9</i>  |
| 2.5.3    | <i>Interface homme-machine .....</i>                             | <i>9</i>  |
| 2.5.4    | <i>Paramètres de l'utilisateur .....</i>                         | <i>10</i> |
| 2.5.5    | <i>Affichage pendant le test .....</i>                           | <i>10</i> |
| 2.5.6    | <i>Affichage après le test .....</i>                             | <i>10</i> |
| 2.5.7    | <i>Contrôle de la température .....</i>                          | <i>10</i> |
| 2.5.8    | <i>Programme .....</i>   | <i>10</i> |
| 2.6      | Partie modulable .....   | 11        |
| 2.6.1    | <i>Conversion d'énergie .....</i>                                | <i>11</i> |
| 2.7      | Mesures de tensions .....  | 11        |
| 2.8      | Mesures de courants .....  | 12        |
| 2.8.1    | <i>Alimentation des capteurs de courant .....</i>                | <i>12</i> |
| 2.9      | Mesures de températures .....                                    | 12        |
| 2.10     | Caractéristiques supplémentaires .....                           | 12        |
| 2.11     | Normes de sécurité .....   | 12        |
| 2.12     | Budget .....   | 12        |
| <b>3</b> | <b>ARCHITECTURE DE LA PLATEFORME DE TEST .....</b>               | <b>13</b> |
| 3.1      | Schéma bloc.....   | 13        |
| 3.2      | Choix du matériel .....  | 13        |
| 3.2.1    | <i>Convertisseur AC/DC bidirectionnel .....</i>                  | <i>13</i> |
| 3.2.2    | <i>Convertisseur DC/DC bidirectionnel .....</i>                  | <i>20</i> |
| 3.2.3    | <i>Plateforme de contrôle et d'acquisition des mesures .....</i> | <i>20</i> |
| 3.2.4    | <i>Alimentation 24 VDC.....</i>                                  | <i>21</i> |
| 3.2.5    | <i>Chambre climatique .....</i>                                  | <i>21</i> |
| 3.2.6    | <i>Sondes de courant.....</i>                                    | <i>22</i> |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.2.7    | Armoire électrique.....                | 22        |
| <b>4</b> | <b>ANALYSE DE RISQUES .....</b>        | <b>22</b> |
| <b>5</b> | <b>CONCEPTION ÉLECTRIQUE .....</b>     | <b>23</b> |
| 5.1      | Schéma électrique.....                 | 23        |
| 5.2      | Dimensionnement du matériel.....       | 23        |
| 5.2.1    | Bornes.....                            | 23        |
| 5.2.2    | Interrupteur principal S0.....         | 23        |
| 5.2.3    | Contacteurs.....                       | 24        |
| 5.2.4    | Disjoncteurs .....                     | 25        |
| 5.2.5    | Fusibles.....                          | 25        |
| 5.2.6    | Prise pour chambre climatique .....    | 25        |
| 5.3      | Dimensionnement des conducteurs .....  | 25        |
| 5.3.1    | Puissance DC .....                     | 25        |
| 5.3.2    | Puissance AC .....                     | 25        |
| 5.3.3    | Commande 24 VDC et mesures.....        | 26        |
| 5.4      | Plan d'implantation .....              | 26        |
| 5.5      | Code de couleur pour le câblage .....  | 26        |
| 5.6      | Réalisation.....                       | 26        |
| <b>6</b> | <b>CONCEPTION ÉLECTRONIQUE.....</b>    | <b>31</b> |
| 6.1      | Schéma bloc.....                       | 31        |
| 6.2      | Choix de l'amplificateur .....         | 31        |
| 6.3      | Mesure du courant du réseau .....      | 31        |
| 6.3.1    | Calculs .....                          | 31        |
| 6.3.2    | Simulation .....                       | 34        |
| 6.4      | Mesure du courant DC .....             | 36        |
| 6.5      | Mesure de la tension du réseau .....   | 36        |
| 6.5.1    | Calculs .....                          | 36        |
| 6.5.2    | Simulation .....                       | 38        |
| 6.6      | Mesure de la tension DC .....          | 39        |
| 6.6.1    | Calculs .....                          | 39        |
| 6.6.2    | Simulation .....                       | 42        |
| 6.7      | Dimensionnement des composants .....   | 45        |
| 6.7.1    | Relais .....                           | 45        |
| 6.7.2    | Alimentation .....                     | 45        |
| 6.8      | Schéma électronique.....               | 45        |
| 6.9      | Schéma de routage .....                | 45        |
| 6.10     | Réalisation.....                       | 45        |
| <b>7</b> | <b>CALIBRATION .....</b>               | <b>46</b> |
| <b>8</b> | <b>CONCEPTION MÉCANIQUE .....</b>      | <b>48</b> |
| <b>9</b> | <b>MATÉRIEL, BUDGET ET COUTS .....</b> | <b>48</b> |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 9.1       | Budget .....   | 48        |
| 9.2       | Liste de matériel .....  | 48        |
| 9.3       | Commandes .....  | 48        |
| <b>10</b> | <b>ARCHITECTURE DE LA PLATEFORME DE PROGRAMMATION ET DE CONTRÔLE .....</b> | <b>48</b> |
| <b>11</b> | <b>PROGRAMMATION .....</b>   | <b>48</b> |
| 11.1      | Opérations préalables .....  | 49        |
| 11.2      | Système .....  | 51        |
| 11.3      | FPGA.....  | 53        |
| 11.4      | CPU.....   | 57        |
| 11.4.1    | <i>Interface de communication.....</i>                                     | <i>57</i> |
| 11.4.2    | <i>Initialisation de l'onduleur .....</i>                                  | <i>58</i> |
| 11.4.3    | <i>Charge et décharge .....</i>  | <i>59</i> |
| 11.4.4    | <i>Traitement des mesures .....</i>  | <i>60</i> |
| 11.4.5    | <i>Sécurité .....</i>  | <i>61</i> |
| 11.4.6    | <i>Algorithme de test .....</i>  | <i>62</i> |
| 11.5      | PC, IHM.....   | 72        |
| 11.5.1    | <i>Transfert de données entre le CompactRIO et l'ordinateur.....</i>       | <i>72</i> |
| 11.5.2    | <i>Interface homme-machine .....</i>                                       | <i>73</i> |
| <b>12</b> | <b>MODE D'EMPLOI DE LA PLATEFORME DE TEST .....</b>                        | <b>77</b> |
| 12.1      | Hardware .....   | 77        |
| 12.2      | Software .....   | 78        |
| 12.3      | Récupération des données .....   | 78        |
| <b>13</b> | <b>CAMPAGNE DE TESTS.....</b>  | <b>79</b> |
| <b>14</b> | <b>CONCLUSION .....</b>  | <b>80</b> |
| <b>15</b> | <b>REMERCIEMENTS.....</b>  | <b>81</b> |
| <b>16</b> | <b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>  | <b>82</b> |
| <b>17</b> | <b>ANNEXES.....</b>  | <b>82</b> |

# EVALUATION DES SYSTEMES DE STOCKAGE D'ENERGIE ELECTRIQUE

## 1 INTRODUCTION

L'énergie est une préoccupation importante du vingt-et-unième siècle. Une grande partie du monde en est dépendante. Parmi toutes les formes d'énergie, l'énergie électrique reste difficilement stockable à grande échelle. Différentes possibilités existent cependant, notamment le stockage par pompage-turbinage, le stockage par air comprimé, le stockage par volant d'inertie et les accumulateurs électriques. Ce travail traite des accumulateurs électriques (batteries).

Malgré les récentes évolutions dans le domaine des accumulateurs électriques et le recul sur certaines technologies de stockage pourtant centenaires (accumulateur au plomb de Gaston Planté, année 1859), il est relativement difficile de trouver des informations pertinentes sur leur efficacité. L'objectif de ce travail est : réaliser un banc de test permettant de mesurer l'efficacité de cycles de charge-décharge d'accumulateurs.

Ce banc de test fait partie du projet GridLab développé à l'Ecole d'Ingénieurs de Sion. En effet, la nouvelle architecture du réseau électrique, où le consommateur d'électricité est aussi producteur, nécessite un stockage d'énergie. Les énergies renouvelables (éolien et photovoltaïque) sont distribuées de manière intermittente dans le temps et ne respectent pas la consommation instantanée. Dépendantes pour la plupart de la nature, elles sont, de plus, partiellement imprévisibles. Le cycle jour nuit est prévisible alors que les prévisions météorologiques actuelles contiennent trop d'incertitudes et ne permettent pas de prévoir localement la météo.

Les tâches sont réparties en deux parties distinctes, le projet de semestre et le travail de diplôme. Le projet de semestre traite des aspects techniques, de la conformité aux normes en vigueur du banc de test et de ses dimensions (électriques), alors que le travail de diplôme est consacré à la réalisation de la plateforme de test.

## 2 SPECIFICATIONS

Les accumulateurs électriques regroupent une multitude de technologies différentes. Ils existent de plus en différentes tailles. Ce chapitre offre une brève synthèse du marché de l'accumulateur électrique et propose les spécifications de la plateforme de test nécessaires à l'atteinte d'un résultat concluant pour des tests d'efficacité de batteries électriques.

### 2.1 Résultats à obtenir

Le banc de test doit être en mesure d'effectuer une campagne de test permettant de connaître précisément le rendement d'accumulateurs électriques.

La méthode de test de ces accumulateurs est basée sur les méthodes proposées par la norme IEC 62660-1 [1] (disponible en annexe 1 à l'école d'Ingénieurs de Sion mais non reproductible du fait du Copyright). Cette norme définit notamment l'algorithme et les conditions de test, la méthode de calcul du rendement ainsi que la précision des mesures. La précision des mesures pour les différentes grandeurs est résumée dans le tableau suivant :

| Grandeur mesurée | Précision         |
|------------------|-------------------|
| Tension          | $\pm 0.1 \%$      |
| Courant          | $\pm 1 \%$        |
| Température      | $\pm 2 \text{ K}$ |
| Temps            | $\pm 0.1 \%$      |
| Masse            | $\pm 0.1 \%$      |
| Dimensions       | $\pm 0.1 \%$      |

Tableau 1 Tolérances des mesures de la norme IEC 62660-1 [1]

La norme IEC 62660-1 [1] (en annexe) propose les tests suivants qui ne sont pas à nouveau détaillés :

- 7.8.1.1
- 7.8.1.2
- 7.8.2

Il est aussi judicieux pour des applications de stockage décentralisé d'implémenter un test (hors norme) de rendement où la batterie travaille d'un SOC (state of charge, notion définie dans la norme) de 100 % à un SOC de 80 % puis à nouveau 100 %.

Pour le travail de diplôme, le test partiel (SOC 100%) 7.8.1.1 est implémenté. Le test est alors réalisé aux différentes températures mentionnées par la norme (25 [°C], 45 [°C], -20 [°C]), ce qui ressemble au test 7.8.1.2, et avec trois valeurs de courant de charge différentes.

Ce test est décrit et résumé de manière plus précise et compréhensible par le diagramme temporel suivant :

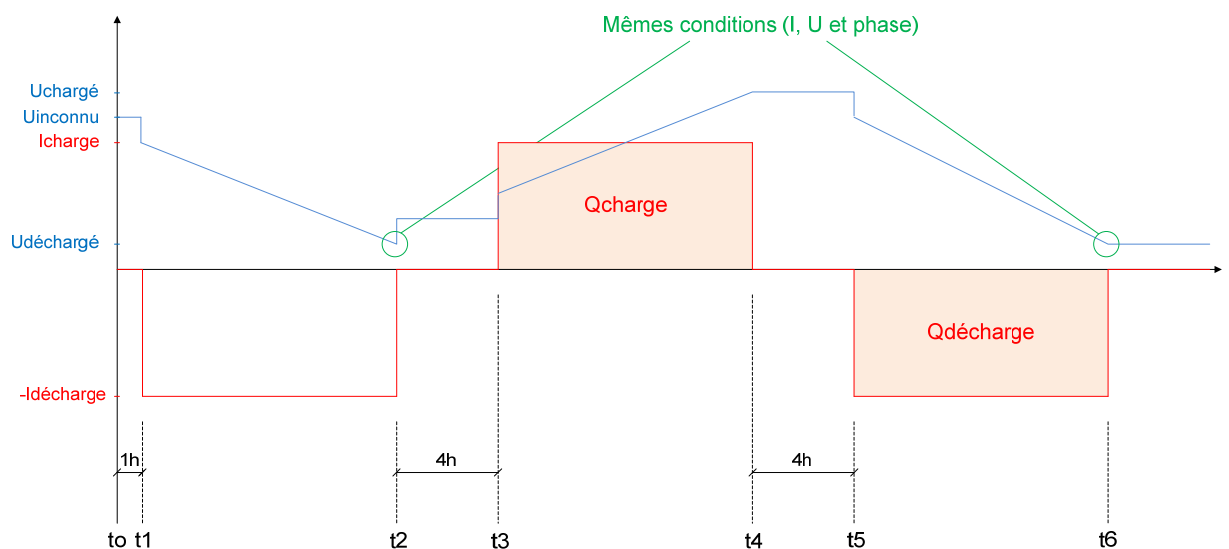


Figure 1 Diagramme temporel du test partiel 7.8.1.1

Dans ce diagramme, il faut noter, en rouge le courant dans la batterie, et en bleu, la tension à ces bornes. Le test se déroule selon six étapes distinctes.

- 1) Une attente, de  $t_0$  à  $t_1$ , d'un temps minimum de 1 [h] nécessaire à ce que l'accumulateur se stabilise à température ambiante (définie dans la norme à 25 [°C]). La température, à ce moment là, selon le test effectué, peut prendre les valeurs évoquées ci-dessus.

- 2) Une décharge, de  $t_1$  à  $t_2$ , à un courant donné et à température ambiante (ou autre selon le test) jusqu'à ce que la tension aux bornes de la batterie atteigne une tension minimale dépendante de la technologie de la batterie. Il est très important de noter les conditions (courant de décharge, température et tension) de la batterie à la fin de cette décharge (le point en vert dans le diagramme temporel).
- 3) Une attente, de  $t_2$  à  $t_3$ , où la batterie se stabilise dans un état déchargé.
- 4) Une charge, de  $t_3$  à  $t_4$ , selon la méthode préconisée par le fabricant de la batterie où la tension de la batterie augmente jusqu'à une valeur qui détermine que la batterie est pleine et que le SOC est alors 100 % (dans le cas de la plateforme de test, la charge utile est par ailleurs déterminée lors de cette phase). Lors de cette phase, les grandeurs (courant, tension et température) sont mesurées à intervalle régulier de moins de 30 secondes tel que défini dans la norme IEC 62660-1 [1].
- 5) Une attente, de  $t_4$  à  $t_5$ , où la batterie se stabilise dans un état chargé.
- 6) Une décharge, de  $t_5$  à  $t_6$ , à un courant donné et à température ambiante (ou autre selon le test) jusqu'à ce que la tension aux bornes de la batterie atteigne une tension minimale dépendante de la technologie de la batterie. Il est très important de noter les conditions (courant de décharge, température et tension) de la batterie à la fin de cette décharge (le point en vert dans le diagramme temporel). Ce point correspond à celui de la première décharge. Lors de cette phase, les grandeurs (courant, tension et température) sont mesurées à intervalle régulier de moins de 30 secondes tel que défini dans la norme IEC 62660-1 [1].

Les résultats obtenus par le banc de test doivent être en mesure de satisfaire la norme IEC 62660-1 [1]. Le diagramme temporel ci-dessus, élaboré à partir de la norme, est utilisé comme base pour le test implémenté dans la plateforme de test.

De plus, la donnée du travail de diplôme [2], propose de prendre en compte le rendement du convertisseur permettant la conversion d'énergie. C'est pour cette raison que les grandeurs (courant et tension) côté AC sont aussi prises en compte (voir Figure 5).

## 2.2 Objets à tester

Il est nécessaire de définir quels accumulateurs électriques doivent être testables par la plateforme de test.

### 2.2.1 Types de technologies

Les technologies d'accumulateurs électriques à tester sont : plomb-acide,  $\text{LiFePO}_4$ , Li-Ion,  $\text{LiMn}_2\text{O}_2$  et NiMH. Ce choix est motivé par les observations suivantes :

- 1) les véhicules électriques sont considérés par certains comme un moyen de stocker l'énergie de manière locale, afin de supporter le réseau électrique. En effet, équiper de grands parkings pour automobiles électriques avec un système de bornes de charge est vu du réseau comme un unique accumulateur d'énergie. C'est pour cela que ce type de batteries est intéressant dans le cadre de la nouvelle vision du réseau électrique. Il ne faut cependant pas réduire le choix à ces technologies qui ont comme contrainte pénalisante de posséder une énergie spécifique élevée.
- 2) Comme le montre les études « e'mobile Ecocars 2012 » et « e'mobile Ecocars 2013 » les technologies d'accumulateurs électriques les plus utilisées pour les véhicules automobiles complètement électriques sont :  $\text{LiFePO}_4$ , Li-Ion et  $\text{LiMn}_2\text{O}_2$ . Ces études se basent sur 31 véhicules de différentes marques en 2012 et 34 en 2013.

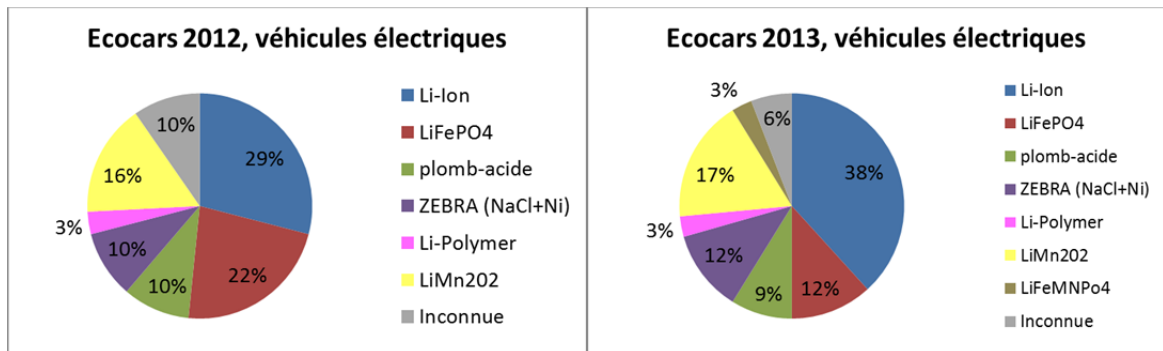


Figure 2 Représentation des études "e'mobile" pour les différentes technologies de batteries utilisées par les véhicules complètement électriques

- 3) L'étude « e'mobile Ecocars 2012 » montre que la majorité des véhicules hybrides utilisent la technologie NiMH, mais aussi que l'utilisation d'accumulateurs électriques Li-Ion est en forte croissance. Ces études se basent sur 31 véhicules de différentes marques en 2012 et 36 en 2013.

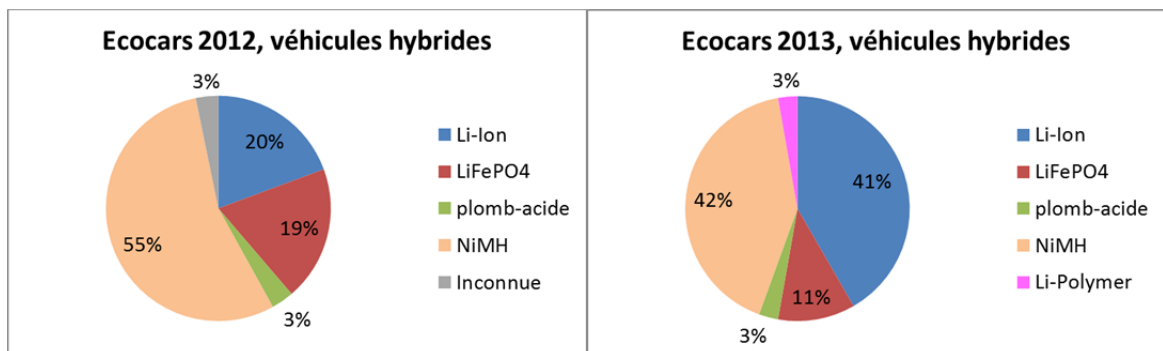


Figure 3 Représentation des études "e'mobile" pour les différentes technologies de batteries utilisées par les véhicules hybrides

- 4) Les accumulateurs électriques de type plomb-acide sont couramment utilisés dans le domaine du stockage d'énergie photovoltaïque pour les systèmes isolés. Ils sont aussi les plus utilisés dans les véhicules standards (non électriques) comme batteries de démarrage. Les batteries au plomb sont cependant construites selon différentes technologies.

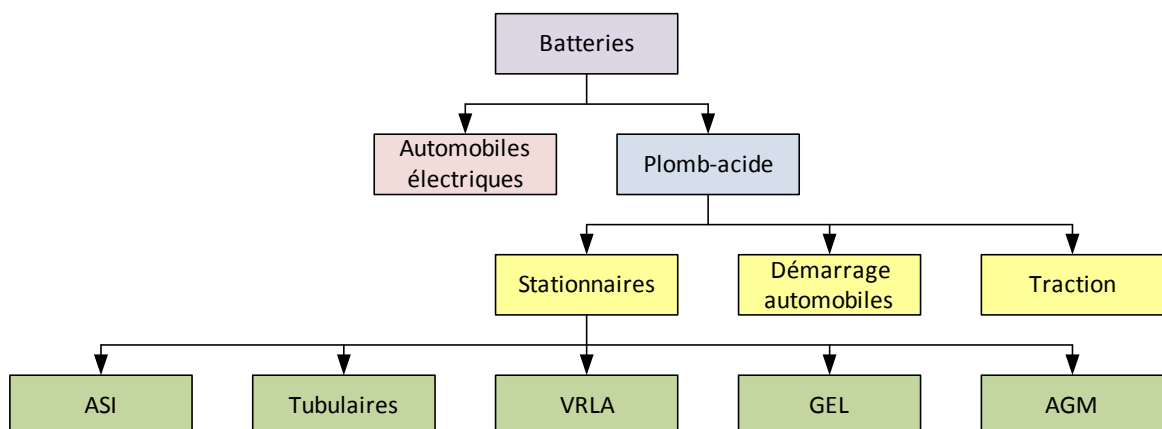


Figure 4 Représentation de l'univers des batteries au plomb

- 5) Les batteries au plomb, les plus intéressantes pour le réseau électrique, sont, selon la représentation ci-dessus, celles de la catégorie « batteries stationnaires ». Toutes ces batteries au plomb doivent par conséquent être testables.

## 2.2.2 Types d'accumulateurs électriques

L'accumulateur électrique existe sous deux formes différentes dans le commerce, la cellule seule et la batterie comprenant plusieurs cellules.

### Cellules

Les cellules sont des éléments ayant des caractéristiques dépendantes de leur technologie. Ces caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

| Accumulateur                                 | Fem<br>à vide $E_0$ [V] | Energie spécifique<br>théorique [Wh/kg] | Energie spécifique<br>pratique [Wh/kg] | Energie volumique<br>pratique [Wh/dm <sup>3</sup> ] |
|--|-------------------------|---|--|---|
| plomb (étanche)                              | 2.1                     | 173                                     | 35                                     | 80  |
| nickel-hydrure métallique (NiMH)             | 1.32                    | 216                                     | 65                                     | 200   |
| lithium-ion (Li-Ion)                         | 4.1                     | 750                                     | 100-150                                | 200-300   |
| lithium-fer-phosphate (LiFePO <sub>4</sub> ) | 3.3                     | -                                       | 90                                     | 220   |
| nickel-zinc (Ni-Zn)                          | 1.65                    | -                                       | 100                                    | 280   |

Tableau 2 Caractéristiques essentielles des principales cellules

Il est possible de combiner plusieurs cellules de façon à obtenir une tension plus haute et une plus grande capacité de stockage. Il est important de pouvoir tester ces cellules pour les raisons suivantes :

- 1) Les cellules ont à l'unité une tension relativement basse. Cependant en les combinant, il est possible de créer un bus DC de presque n'importe quelle tension. De tels bus DC sont employés notamment dans les véhicules électriques. Leurs tensions peuvent être de plusieurs centaines de volts.
- 2) Connaître le rendement d'une cellule permet d'estimer celui de plusieurs cellules combinées.

### Batteries

Les batteries sont composées de plusieurs cellules connectées de manière à obtenir une tension normalisée. Elles comprennent souvent un système BMS (Battery management system) qui permet d'équilibrer l'état de charge des cellules de la batterie. Ce système permet de contrôler certaines grandeurs (électrique et température) et de compenser l'état de santé de chaque cellule. Il est intéressant de tester les batteries complètes pour les raisons suivantes :

- 3) Le système BMS a une influence sur le rendement de la batterie. Cette influence doit être prise en compte.
- 4) Lorsqu'une application nécessite un stockage électrique, il est souvent question de batteries complètes. La batterie représente donc une grande partie du marché du stockage électrique.

Les tensions de ces batteries sont pour la plupart normalisées aux valeurs suivantes : 6, 12, 24, 42 [V]. Souvent, pour obtenir les tensions les plus hautes, plusieurs batteries sont connectées en série.

## 2.3 Principe de fonctionnement du banc de test

Le schéma bloc suivant illustre de manière simple le fonctionnement du banc de test.

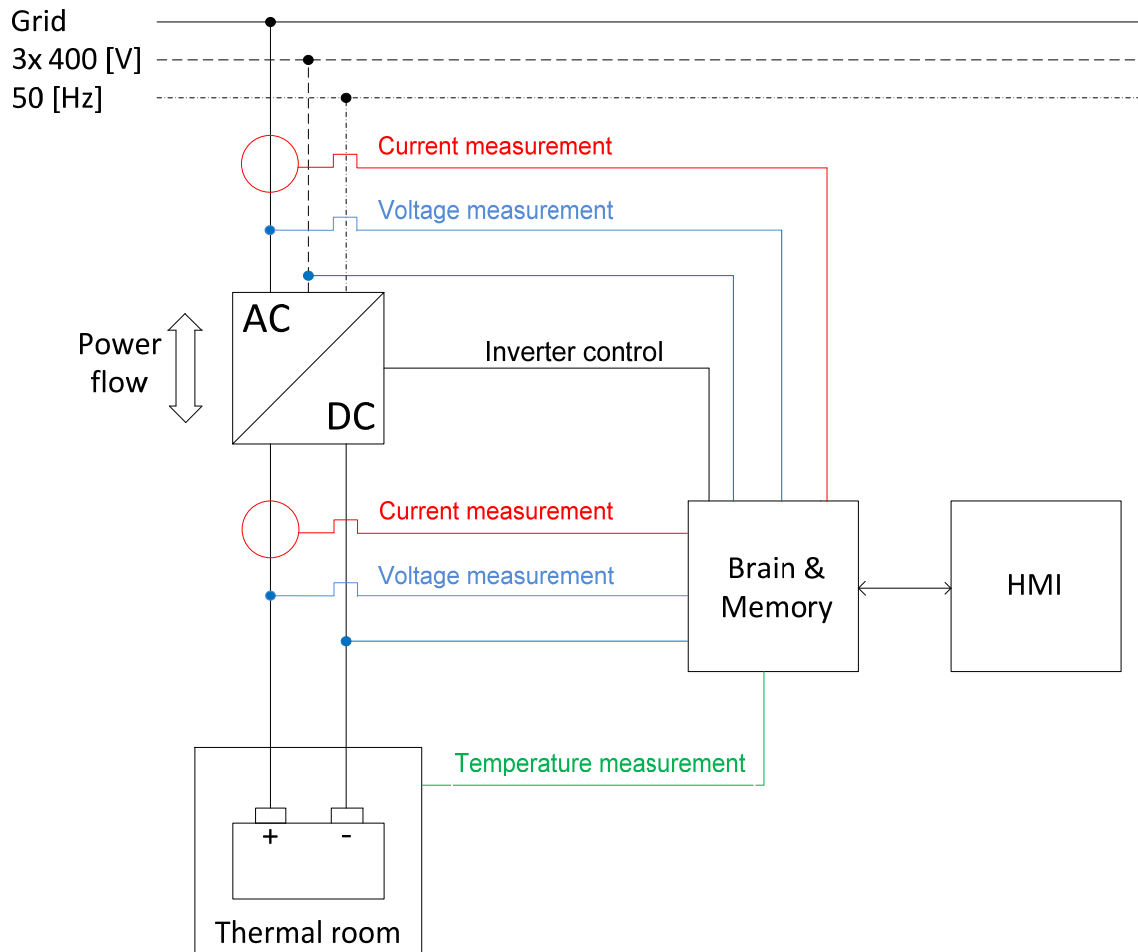


Figure 5 Schéma bloc général du banc de test

Comme le montre le schéma précédent, un convertisseur bidirectionnel permet de charger et décharger les batteries de manière à effectuer un test satisfaisant le diagramme temporel précédent.

Les mesures et le pilotage de ce convertisseur sont réalisés avec un appareil programmable, permettant l'utilisation d'une interface homme-machine, détaillée plus tardivement dans ces spécifications.

## 2.4 Observations

Le banc de test doit être en mesure de mesurer le rendement de cellules et de batteries des technologies mentionnées ci-dessus. Cependant les caractéristiques électriques varient fortement d'une cellule au plomb à un stack de plusieurs centaines de volts. En effet, la tension nominale d'une cellule au plomb est seulement 2.1 [V]. Le courant de charge d'une cellule est au maximum quelques ampères alors qu'une batterie peut avoir un courant de charge de plusieurs dizaines d'ampères.

La conception du banc de test doit alors être suffisamment modulable pour permettre à cette variété d'accumulateurs électriques d'être testée. Il est nécessaire de définir quels éléments du banc de test doivent être modulables.

Les éléments modulables sont les convertisseurs de courants bidirectionnels permettant de charger et de décharger l'accumulateur électrique à tester. Ces convertisseurs doivent en effet être dimensionnés de façon à être adaptés à l'accumulateur en test. Les sondes de courant et de tension doivent être dimensionnées correctement afin d'être adaptées aux grandeurs de l'accumulateur à tester et font donc partie des éléments modulables.

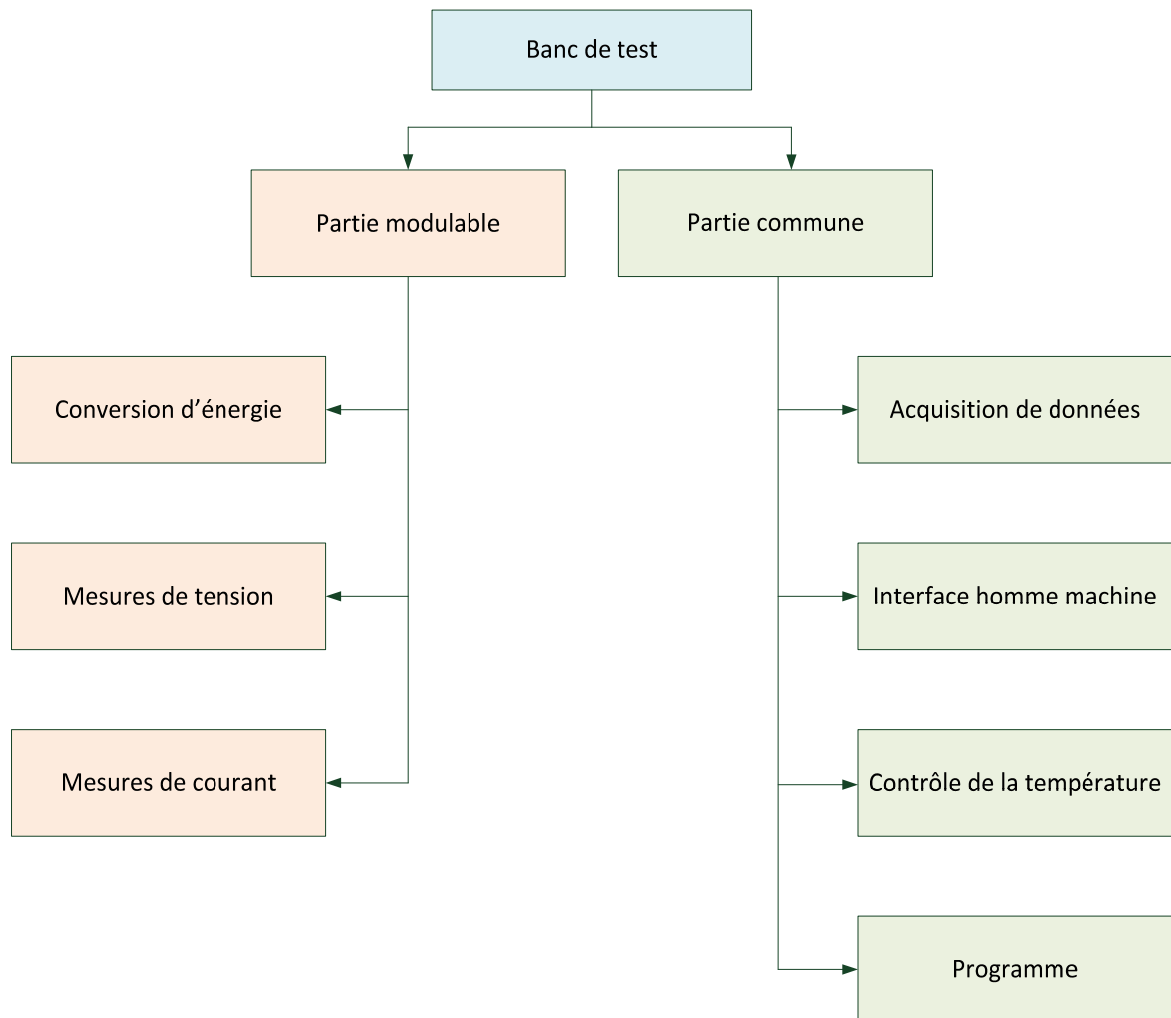


Figure 6 Organisation de la conception du banc de test

## 2.5 Partie commune

Les éléments de cette partie restent les mêmes, peu importe la technologie et la taille de l'accumulateur à tester.

### 2.5.1 Acquisition de données

L'acquisition de données pour toutes les grandeurs (courant et tension) s'effectue en tension. Les cartes d'acquisitions ont une plage d'entrée de -10 [V] à 10 [V]. Chaque mesure doit être normalisée préalablement pour travailler dans cette plage de tension. L'acquisition, ainsi que les chaines de mesure, doivent ensemble rester dans la tolérance de la norme IEC 62660-1 [1].

- 1) Il est préférable d'avoir un seul type de carte d'acquisition, car en cas de panne d'un canal de mesure, il est plus facile d'effectuer un changement.

- 2) Il est nécessaire d'avoir 4 canaux de mesures dont 2 qui permettent de respecter la norme IEC 62660-1.

Pour ces deux canaux, la fréquence d'échantillonnage est déterminée comme suit.

La fréquence d'échantillonnage doit permettre de calculer une valeur moyenne d'un signal du réseau redressé double alternance avec une grande précision. Selon le théorème de Shannon sur le traitement numérique de signaux, la fréquence d'échantillonnage doit respecter la relation suivante.

$$f_{\text{sampling\_min}} = 2 \cdot f_{\text{signal\_max}}$$

Cependant, dans la pratique, pour obtenir des résultats cohérents, la relation devient :

$$f_{\text{sampling\_min}} = (10 \text{ à } 20) \cdot f_{\text{signal\_max}}$$

L'analyse de spectre suivante montre les harmoniques les plus critiques du courant de charge de batteries d'un onduleur (Studer XTM 3500-24). C'est le courant côté DC qui est déterminant. En effet, la tension côté batterie est régulée et donc lisse. Plus de détails sont disponibles dans le chapitre convertisseur AC/DC bidirectionnel.

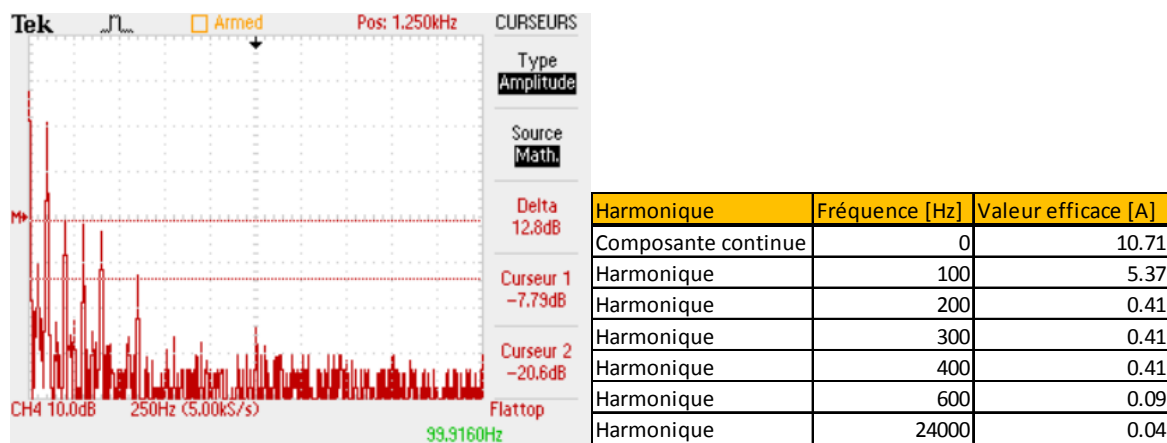


Figure 7 Spectre du courant de charge de batteries d'un onduleur (XTM 3500-24)

Comme le montre l'analyse ci-dessus, l'harmonique critique la plus haute est de l'ordre de 600 [Hz]. Avec la relation ci-dessus, il est alors possible de calculer la fréquence d'échantillonnage nécessaire pour garantir un bon résultat.

$$f_{\text{sampling\_min}} = 20 \cdot 600 = 12 \text{ [kHz]}$$

Le dispositif doit donc être en mesure d'acquérir les données à une fréquence plus grande ou égale à 12 [kHz].

Pour chaque mesure, la fréquence d'acquisition est définie. Ces définitions se trouvent en aval du présent document.

La figure suivante illustre le problème lié à l'acquisition de données. En effet, il est facile de se rendre compte qu'avec une fréquence d'échantillonnage faible ( $T_s$  élevé), il est impossible d'obtenir des résultats concluants.

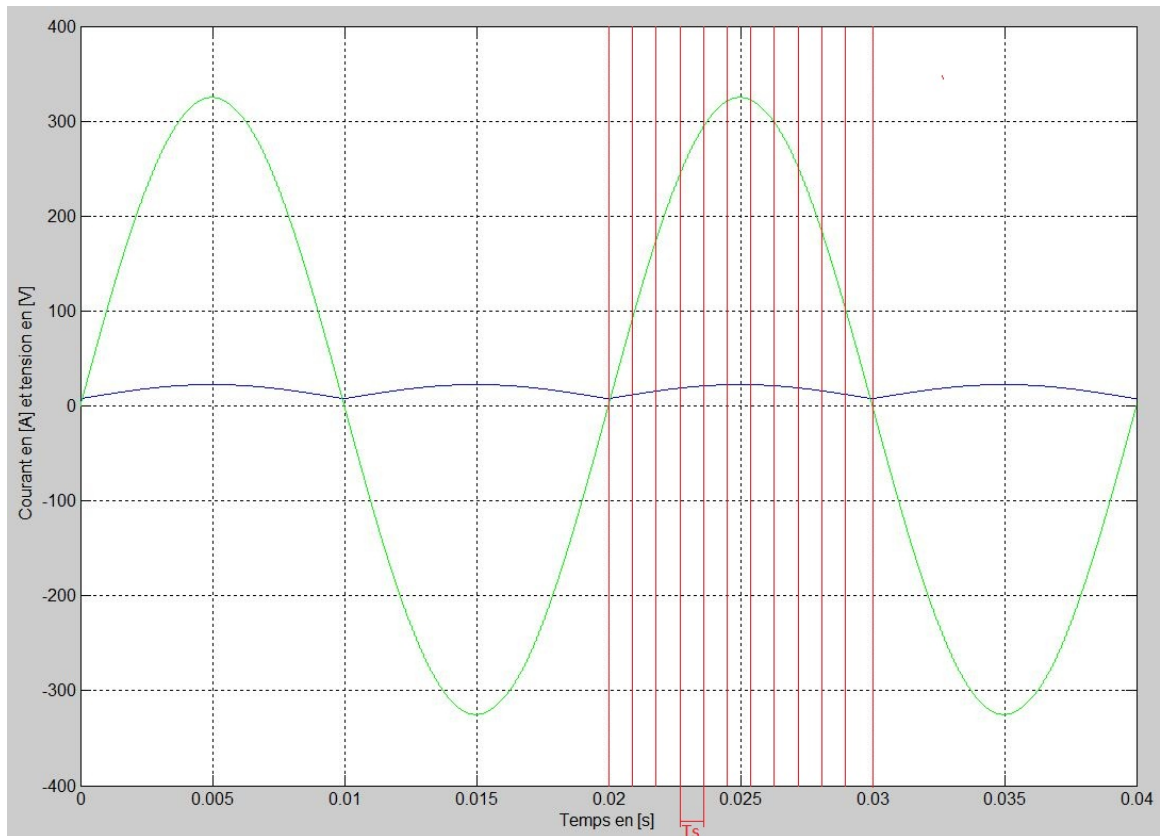


Figure 8 Graphique représentant l'acquisition de données

## 2.5.2 Choix du système d'acquisition

Le système d'acquisition choisi est le CompactRIO de national instrument. Cette plateforme est choisie pour les raisons suivantes :

- 1) L'appareil dispose d'interfaces de communications et est programmable, il est donc possible de piloter l'élément de conversion d'énergie.
- 2) L'appareil a une construction modulaire, il est possible d'utiliser toutes les cartes NI.
- 3) Parmi les cartes proposées par NI, certaines permettent de satisfaire les spécifications du présent document.
- 4) L'interface homme-machine est facilement implémentable avec le système CompactRIO.
- 5) L'appareil est programmé avec LabVIEW, ce langage de programmation est couramment utilisé par les écoles du fait de son interface graphique.

## 2.5.3 Interface homme-machine

L'interface homme-machine est un ordinateur connecté au CompactRIO via TCP/IP.

Les langues de l'interface sont le français et l'allemand puisque l'Ecole d'Ingénieurs de Sion est située dans un canton bilingue et accueille des étudiants et collaborateurs des deux langues. S'il est trop contraignant d'avoir deux langues pour l'interface homme-machine, alors l'anglais est choisi comme unique langue.

#### **2.5.4 Paramètres de l'utilisateur**

L'utilisateur doit pouvoir paramétrer le programme via l'interface homme-machine avant chaque test. Les paramètres nécessaires sont les suivants :

- 1) La technologie de l'accumulateur à tester (plomb-acide,  $\text{LiFePO}_4$ , Li-Ion,  $\text{LiMn}_2\text{O}_2$  et NiMH)
- 2) Le nombre de cellules de la batterie
- 3) Les valeurs limites de l'accumulateur à tester
- 4) La tension nominale de l'accumulateur
- 5) La capacité de charge de l'accumulateur
- 6) La configuration de la conversion d'énergie
- 7) Les canaux de mesures utilisés sur les cartes d'adaptation des mesures avec une notion de sécurité dépendante de la configuration de conversion d'énergie
- 8) Le gain des sondes utilisées
- 9) Introduire la campagne (séquence de test, température de tests, ...) du test à réaliser (ou sélectionner un test unique)
- 10) Le lieu où sont créés les fichiers contenant les résultats
- 11) Bouton démarrage du test

#### **2.5.5 Affichage pendant le test**

Il est important, pendant le test d'avoir accès aux éléments suivants :

- 1) Signalisation « test en cours »
- 2) Situation dans la campagne de test
- 3) Graphique temps réel courant, tension et température
- 4) Bouton d'arrêt du test

#### **2.5.6 Affichage après le test**

Une fois le test terminé, l'affichage doit contenir les éléments suivants :

- 1) Les résultats
- 2) La possibilité d'effectuer un nouveau test
- 3) La possibilité de déclencher le banc de test

#### **2.5.7 Contrôle de la température**

La température est mesurée de façon à respecter la norme IEC-62660-1 [1].

La température est contrôlée de manière externe dans un premier temps. Il faut cependant déjà prévoir un contrôle sur l'interface homme-machine ainsi que dans le programme.

#### **2.5.8 Programme**

Le programme doit fonctionner pour chaque configuration de la même manière. Cependant il doit être prévu de façon à pouvoir sélectionner la configuration du test.

## 2.6 Partie modulable

Les éléments de cette partie changent en fonction de l'accumulateur à tester.

### 2.6.1 Conversion d'énergie

Il est nécessaire d'avoir plusieurs convertisseurs bidirectionnels de façon à tester tous types d'accumulateurs.

#### Tests de cellules

Il est nécessaire d'avoir un convertisseur bidirectionnel où la tension et le courant peuvent être réglés. Ce convertisseur doit être en mesure de fournir une tension dans une plage comprise entre 1 [V] et 10 [V] et une plage pour le courant jusqu'à 10 [A].

#### Tests de batteries

Il est nécessaire d'avoir un convertisseur bidirectionnel où la tension et le courant peuvent être réglés. Ce convertisseur doit être en mesure de fournir une tension dans une plage comprise entre 10 [V] et 60 [V] et une plage pour le courant jusqu'à 60 [A].

#### Tests de batteries pour automobiles électriques

Il est nécessaire d'avoir un convertisseur bidirectionnel où la tension et le courant peuvent être réglés. Ce convertisseur doit être en mesure de fournir une tension dans une plage comprise entre 60 [V] et 600 [V] et une plage pour le courant jusqu'à 150 [A].

#### Choix du convertisseur

Il n'est pas possible de réaliser pratiquement toutes les configurations du banc de test. Le choix pour le travail de diplôme est le test de batterie dont la tension est 10 [V] ou 60 [V].

- 1) Il est facile de trouver de telles batteries sur le commerce.
- 2) Certains appareils de conversion d'énergie sont déjà acquis par l'Ecole d'Ingénieurs de Sion.
- 3) Les mesures pour ces plages de courant et de tensions sont plus facilement réalisables.

## 2.7 Mesures de tensions

La mesure de tension est réalisée, sur un PCB qui permet d'adapter la tension de façon à utiliser toute la plage de travail du système d'acquisition de données.

Le PCB de mesure de tension comprend 2 canaux de mesure :

- 1) Un canal de mesure qui adapte la tension du réseau à la tension d'acquisition ( $V_{max} = 10$  [V]). Ce canal n'est pas concerné par la norme, il n'est donc pas nécessaire de respecter la tolérance de  $\pm 0.1$  %. Cependant une précision hors norme de 2 % est nécessaire.
- 2) Un canal de mesure qui adapte la tension DC (des accumulateurs) à la tension d'acquisition avec une tolérance inférieure à  $\pm 0.1$  %. Un système de relais (pilotés par le CompactRIO) est nécessaire pour spécifier :
  - 5 [V] = 10 [V]
  - 20 [V] = 10 [V]
  - 50 [V] = 10 [V]

- $600 \text{ [V]} = 10 \text{ [V]}$

## 2.8 Mesures de courants

Les mesures de courant sont réalisées via des sondes de courant. Une alimentation séparée alimente les capteurs. Les interférences EM générées par l'alimentation ne doivent pas perturber la précision de mesure et le déroulement des tests.

Le PCB de mesure de courant comprend 2 canaux de mesure :

- 1) Un canal fixe qui permet d'adapter le signal de sortie de la sonde de courant à une tension de  $\pm 10 \text{ [V]}$ . Ce canal sert à mesurer le courant côté réseau. Une précision hors norme de 2 % est nécessaire.
- 2) Un canal avec une précision inférieure à  $\pm 1 \text{ %}$  qui permet de mesurer le courant du côté de l'accumulateur en adaptant le signal de sortie de la sonde de courant à une tension de  $\pm 10 \text{ [V]}$ .

### 2.8.1 Alimentation des capteurs de courant

Les capteurs de courant sont alimentés avec les tensions suivantes : GND et  $\pm 15 \text{ [V]}$ , la précision de ces tensions doit être  $\pm 5 \text{ %}$ . La puissance de cette alimentation doit être dimensionnée de telle manière qu'elle soit suffisante pour alimenter les deux sondes de courant (réseau et DC).

## 2.9 Mesures de températures

La précision de la mesure de température et son acquisition doit respecter la tolérance de  $\pm 2 \text{ [K]}$ . Les tests sont réalisés aux températures suivantes :  $-20 \text{ [}^\circ\text{C]}$ ,  $25 \text{ [}^\circ\text{C]}$  et  $45 \text{ [}^\circ\text{C]}$ , il doit donc être possible de mesurer toutes les températures situées entre ces deux extrêmes. Cependant, il est plus prudent de pouvoir mesurer toutes les températures situées entre  $-35 \text{ [}^\circ\text{C]}$  et  $120 \text{ [}^\circ\text{C]}$  qui représentent les valeurs extrêmes de fonctionnement de la chambre climatique de l'école.

## 2.10 Caractéristiques supplémentaires

Le banc de test n'a pas besoin d'être aisément transportable car il comprend un onduleur, du matériel délicat et une chambre climatique. Sa conception est de type statique.

Cependant, il est nécessaire qu'il soit suffisamment compact pour tenir sur une table (sauf chambre climatique). De plus, la construction du banc de test doit être robuste et durable. Se situant toujours à l'intérieur, il n'a pas besoin d'être étanche mais un indice de protection IP 55 est néanmoins essentiel.

Le banc de test doit idéalement pouvoir fonctionner à température ambiante à l'intérieur ( $10 \text{ [}^\circ\text{C]}$  à  $30 \text{ [}^\circ\text{C]}$ ).

## 2.11 Normes de sécurité

La plateforme de test doit de plus répondre aux normes de sécurité pour les utilisateurs.

## 2.12 Budget

Le budget, pour la partie batterie, est détaillé dans le chapitre matériel, budget et coûts. Il est inconnu en début de projet et est déterminé après la sélection du matériel nécessaire.

### 3 ARCHITECTURE DE LA PLATEFORME DE TEST

Dans cette partie, il est question de la conception générale du banc de test. Ce point est primordial pour choisir le matériel principal rapidement pour que les délais de livraisons soient dans les temps. De plus, une fois l'architecture clairement définie, il est possible de dessiner rapidement les schémas électriques détaillés.

#### 3.1 Schéma bloc

La version finale du schéma bloc établi se trouve en annexe à ce rapport (annexe 2). Avec ce schéma il est possible d'établir une liste du « gros » matériel.

#### 3.2 Choix du matériel

Le matériel suivant est sélectionné et commandé directement après la réalisation du schéma bloc.

##### 3.2.1 Convertisseur AC/DC bidirectionnel

Le convertisseur AC/DC bidirectionnel sélectionné est l'onduleur Studer XTM 3500-24. Ce choix découle de l'expérience préalable de l'école d'Ingénieurs de Sion avec ce produit conçu et fabriqué à Sion.

Le modèle choisi monophasé autorise une tension DC de 24 [V] pour une puissance de 3.5 [kW].



Figure 9 Onduleur Studer Innotec Xtender XTM 3500-24

Des tests sont réalisés avec cet onduleur et présentent les résultats suivants :

##### Configurations de tests

L'onduleur est bidirectionnel, il convient de tester les deux cas suivants : l'application en îlot et l'application en chargeur de batteries (voir Figure 10). L'application en îlot permet de tester un flux de puissance dans la direction de la batterie à la source alors que le chargeur de batterie permet de tester un flux de puissance dans la direction du réseau à la batterie.

Pour chacun de ces tests, les courants AC et DC ainsi que les tensions AC et DC sont mesurées. Le rendement peut ainsi être déduit. Les problèmes évoqués dans le présent

document au sujet des perturbations sur le courant lors de la charge peuvent être observés et quantifiés.

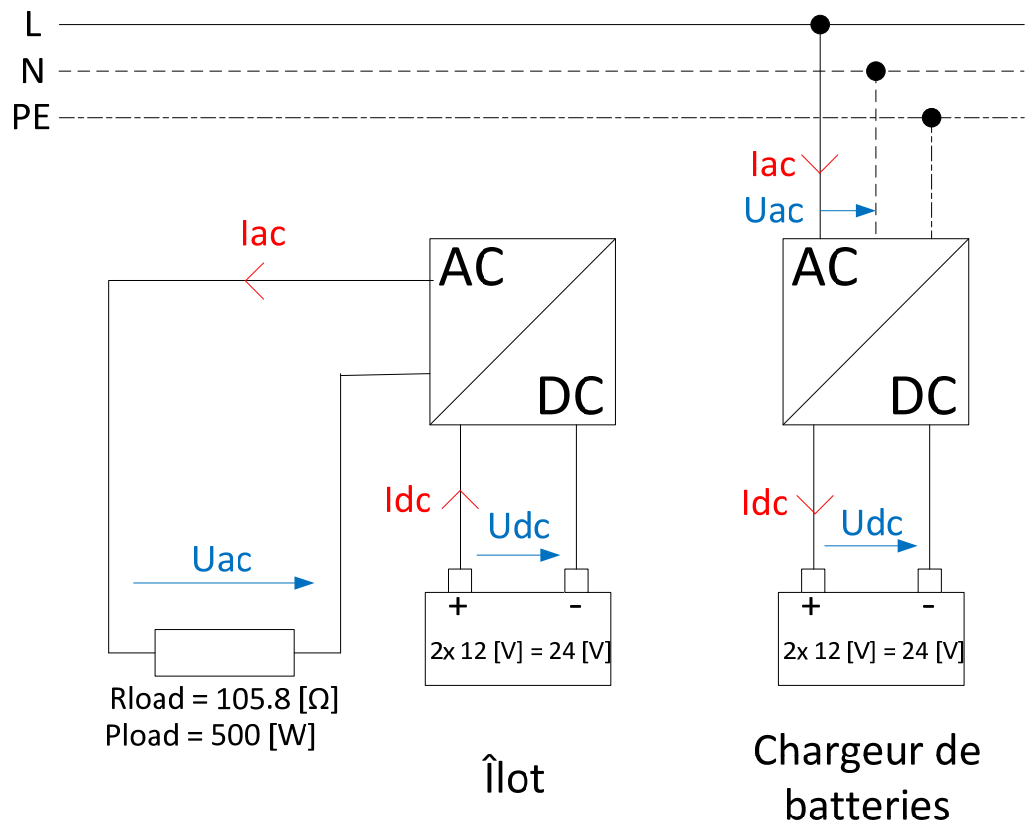


Figure 10 Configuration des tests

### Test en Îlot

Pour tester l'onduleur en îlot, il est nécessaire de dimensionner une charge ohmique. Il est décidé pour des raisons pratiques d'effectuer ce test pour une puissance de 500 [W]. Les équations ci-dessous permettent de dimensionner cette résistance :

$$P = 500 [W], U_{ac} = 230 [V], U_{dc} = 24 [V]$$

$$R_{load} = \frac{U_{ac}^2}{P} = 105.8 [\Omega]$$

$$I_{ac} = \frac{U_{ac}}{R_{load}} = 2.17 [A]$$

$$I_{dc} = \frac{P}{U_{dc}} = 20.83 [A]$$

A l'aide d'un multimètre Metrahit, il est possible de calculer la puissance du côté AC. Du côté DC la tension est mesurée avec un voltmètre similaire et le courant est mesuré avec une pince ampèremétrique. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, de plus le rendement de l'onduleur est calculé. Pour cette configuration en îlot, le rendement obtenu est juste.

| Udc [V] | Idc [A] | Pdc [W] | Uac [V] | Iac [A] | Pac [W] | Qac [Var] | Sac [VA] | η    |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|----------|------|
| 23.11   | 23.41   | 541.01  | 228.00  | 2.14    | 487.69  | 0.00      | 0.00     | 0.90 |

Tableau 3 Résultats du test en îlot « avec multimètre »

La figure suivante montre l'allure des valeurs du test en îlot. La tension côté AC apparaît en jaune, La tension côté DC en bleu, le courant AC en rose et le courant côté DC en vert. De plus les valeurs moyennes sont calculées et affichées par l'oscilloscope.

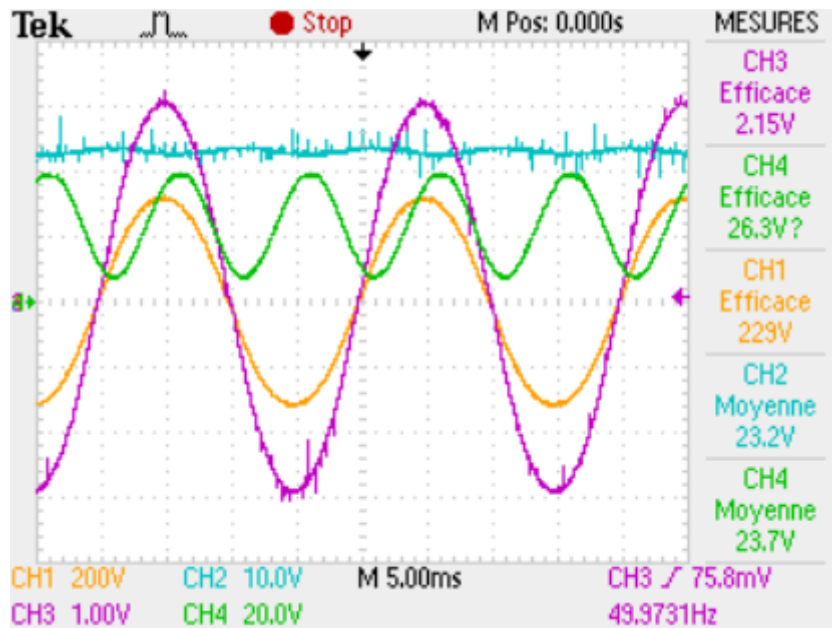


Figure 11 Allure des grandeurs du test en îlot

Le tableau suivant montre que les valeurs calculées avec le multimètre sont, pour ce test, correctes :

| Udc moy [V] | Idc moy [A] | Pdc [W] | Uaceff [V] | Iaceff [A] | Pac [W] | $\eta$ |
|-------------|-------------|---------|------------|------------|---------|--------|
| 23.20       | 23.70       | 549.84  | 229.00     | 2.15       | 492.35  | 0.90   |

Figure 12 Grandeurs du test en îlot avec les valeurs moyennes DC et efficace AC

Il convient aussi d'effectuer une analyse spectrale du courant AC pour connaître le THDi. La figure suivante montre le résultat de l'analyse spectrale du test en îlot. Aucune grandeur ne semble perturbée.

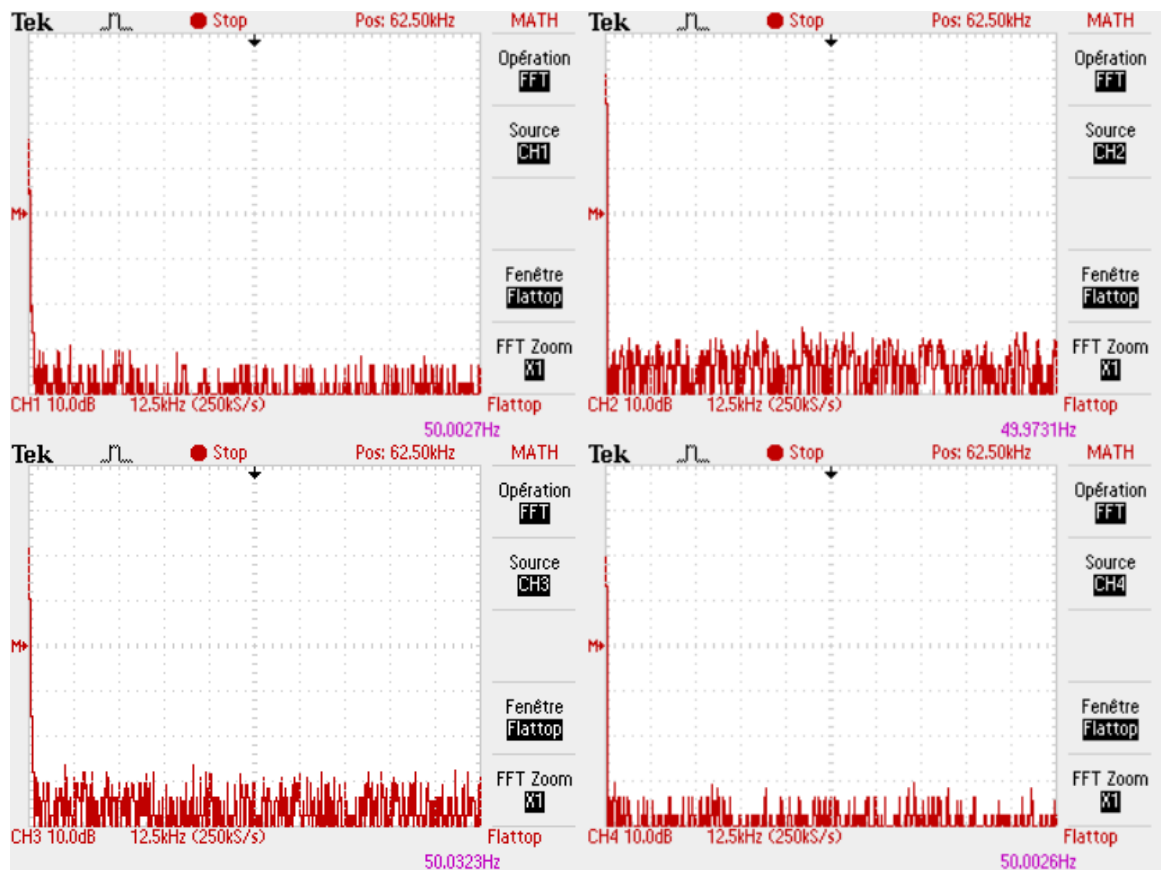


Figure 13 Spectre des grandeurs du test en îlot

### Test en chargeur de batterie

Pour ce test, le même dispositif (avec les multimètres) est utilisé pour mesurer le rendement. Le tableau suivant présente les résultats obtenus. A priori ceux-ci semblent corrects car ils concordent avec ceux du fonctionnement en îlot.

| Udc [V] | Idc [A] | Pdc [W] | Uac [V] | Iac [A] | Pac [W] | Qac [Var] | Sac [VA] | $\eta$ |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|----------|--------|
| 24.44   | 9.41    | 229.98  | 234.90  | 1.40    | 253.00  | 211.00    | 328.86   | 0.91   |

Tableau 4 Résultats du test en chargeur de batteries « avec multimètre »

De manière analogue au test en îlot, la figure suivante montre l'allure des grandeurs du test en chargeur de batterie. La tension côté AC apparaît en jaune, La tension côté DC en bleu, le courant AC en rose et le courant côté DC en vert. De plus, les valeurs moyennes sont calculées et affichées par l'oscilloscope.

A première vue, le courant côté réseau est perturbé, la tension DC est bien lisse, mais le courant DC semble comprendre une pulsation à 100 [Hz].

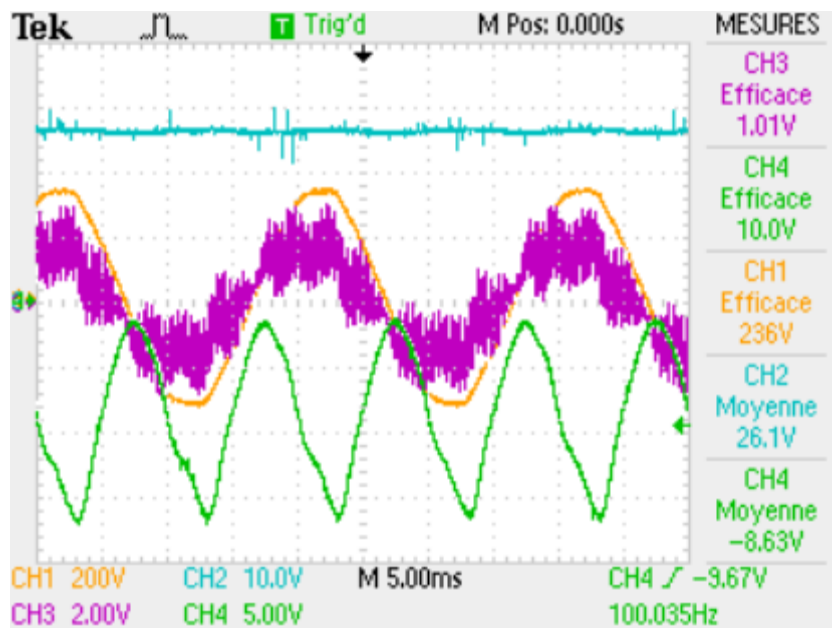


Figure 14 Allure des grandeurs du test en chargeur de batterie

La figure suivante montre le spectre de la tension continue, cette tension ne comprend qu'une composante continue à 26.1 [V].

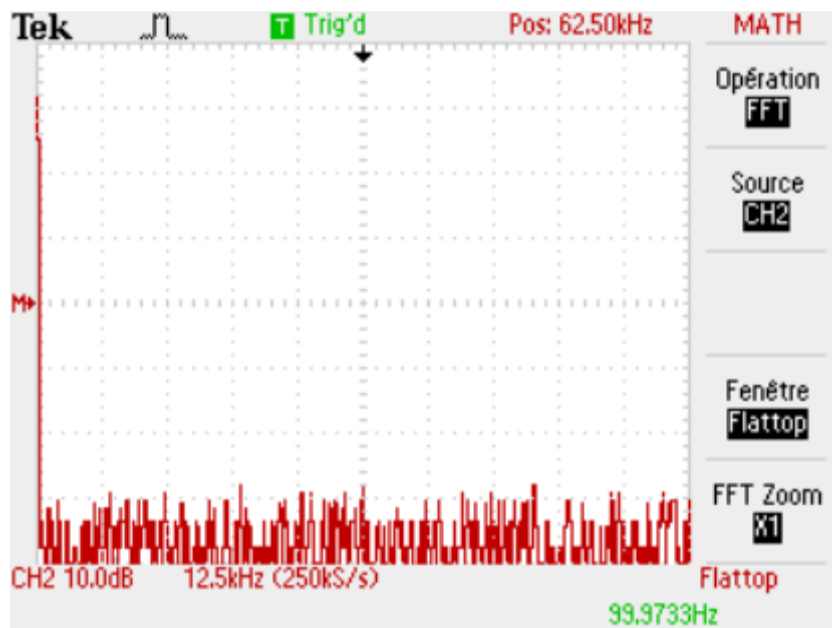


Figure 15 Spectre de la tension continue

La tension du réseau est relativement propre, il y a cependant une harmonique à 24 [kHz] sa valeur efficace est 2.25 [V]. Cette harmonique reste négligeable à côté de la fondamentale à 50 [Hz] qui a une valeur efficace de 237.14 [V].

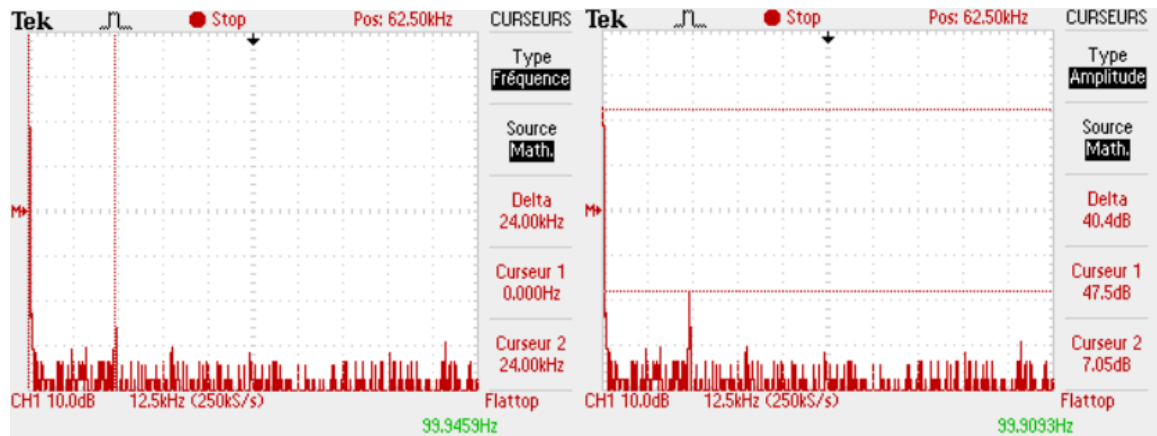


Figure 16 Spectre de la tension du réseau

La figure suivante montre l'analyse spectrale du courant côté réseau. Les principales harmoniques sont détaillées dans le tableau suivant.

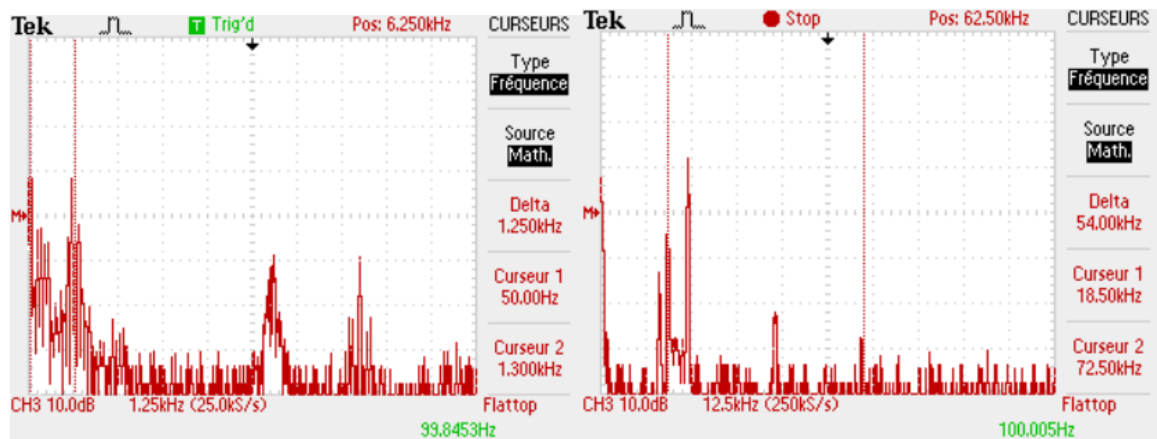


Figure 17 Analyse spectrale du courant du réseau

| Harmonique      | Fréquence [Hz] | Valeur efficace [A] |
|-----------------|----------------|---------------------|
| Fondamentale    | 50             | 2.51                |
| Harmonique 26   | 1300           | 2.51                |
| Harmonique 138  | 6900           | 0.40                |
| Harmonique 180  | 9000           | 0.40                |
| Harmonique 370  | 18500          | 0.16                |
| Harmonique 480  | 24000          | 0.75                |
| Harmonique 970  | 48500          | 0.01                |
| Harmonique 1450 | 72500          | 0.01                |

Figure 18 Principales harmoniques rejetées sur le courant du réseau

Dans le cas d'une utilisation en tant que chargeur de batterie dans le banc de test, le principal problème est l'allure du courant DC de charge de la batterie. Il serait souhaitable, pour effectuer une mesure précise, qu'il soit le plus lisse possible. Or, ce n'est pas le cas (voir Figure 19). Cette analyse spectrale est importante pour déterminer la fréquence d'échantillonnage du dispositif d'acquisition.

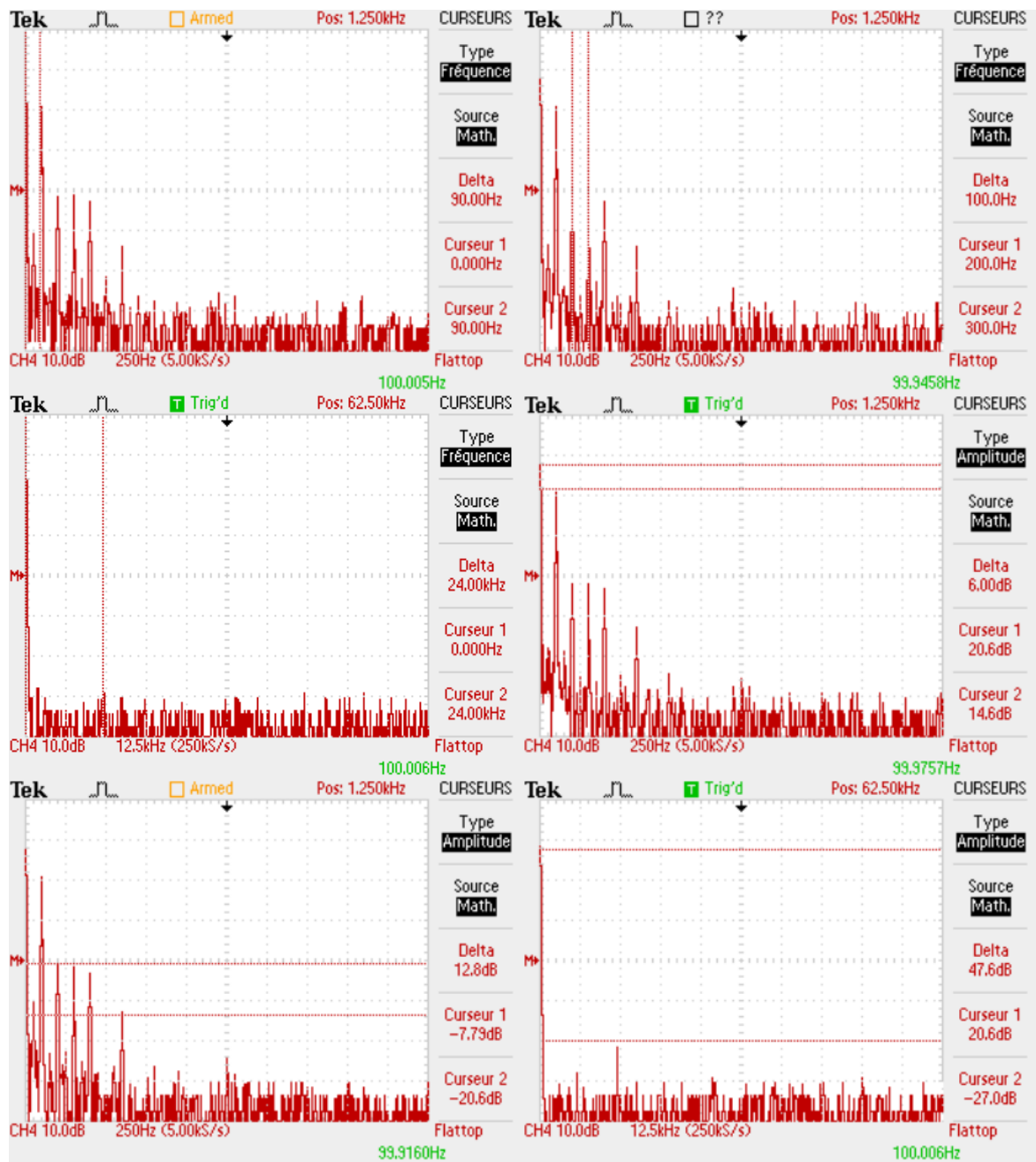


Figure 19 Analyse spectrale du courant DC (qui charge les batteries)

| Harmonique          | Fréquence [Hz] | Valeur efficace [A] |
|---------------------|----------------|---------------------|
| Composante continue | 0              | 10.71               |
| Harmonique          | 100            | 5.37                |
| Harmonique          | 200            | 0.41                |
| Harmonique          | 300            | 0.41                |
| Harmonique          | 400            | 0.41                |
| Harmonique          | 600            | 0.09                |
| Harmonique          | 24000          | 0.04                |

Figure 20 Principales harmoniques sur le courant DC

La norme IEC 62660-1 [1] ne donne aucune information sur la forme et la qualité des grandeurs de tests (tension et courant) du côté DC. Cet onduleur est donc idéal si le

système d'acquisition est en mesure d'effectuer une acquisition suffisamment rapide (voir le chapitre spécifications).

### 3.2.2 Convertisseur DC/DC bidirectionnel

Malheureusement, au terme du travail de diplôme, le marché n'offre pas encore de solutions satisfaisantes pour le convertisseur DC/DC. Les projets en cours à l'Ecole d'Ingénieurs de Sion pour en réaliser un ne sont par ailleurs pas suffisamment aboutis.

Le banc de test est alors uniquement en mesure de tester des batteries 24 [V].

### 3.2.3 Plateforme de contrôle et d'acquisition des mesures

Au cours du projet de semestre, le choix s'est porté sur l'automate compactRIO. Un important rabais est offert à l'école pour le châssis NI cRIO-9074 (voir chapitre matériel budget et coûts). Ce châssis dispose de deux ports Ethernet et d'un port série.



Figure 21 Automate NI cRIO-9074

Il est en revanche nécessaire de sélectionner des cartes de mesures permettant de respecter les spécifications évoquées en début de document.

- Une carte de mesure de tension comprenant au moins 4 canaux de mesure  $\pm 10$  [V] et permettant d'échantillonner au minimum à 12 [kHz]. Cette carte ne doit pas limiter la précision des mesures de la tension DC sujette à la norme (précision de 0.1%). Parmi les cartes NI, la carte NI 9215 permet d'effectuer cette tâche.



Figure 22 Carte d'acquisition de tension  $\pm 10$  [V]

- Une carte permettant de mesurer les tensions produites par des thermocouples et de garantir une précision de  $\pm 2$  [K]. Parmi les cartes NI, la carte NI 9211 permet d'effectuer cette tâche.

- Une carte de sortie à relais permettant de piloter les quatre canaux du PCB de mesure (voir schéma bloc) et les trois contacteurs de l'armoire électrique. Parmi les cartes NI, la carte NI 9485 permet d'effectuer cette tâche.

Les datasheets détaillés de ce matériel National Instrument est en annexe à ce rapport (annexe 3, 4, 5, 6).

### 3.2.4 Alimentation 24 VDC

L'alimentation fournie en option avec le CompactRIO est vendue trop chère (275 CHF). Une offre et un rabais sont alors demandés à Phoenix Contact de manière à obtenir une alimentation aux caractéristiques similaires meilleur marché (voir matériel, budget et coûts).

Cette alimentation, d'une puissance de 100 [W], permet d'alimenter le CompactRIO, les bobines des contacteurs ainsi que le PCB de mesure.

### 3.2.5 Chambre climatique

L'école dispose d'une chambre climatique Brouwer réglée à une température pouvant se situer entre  $-35^{\circ}$  et  $125^{\circ}$ . Cette chambre climatique satisfait entièrement les conditions de tests en température de la norme IEC 62660-1 [1]. La dimension de cette chambre est de 0.47 x 0.30 x 0.27 [m].



Figure 23 Chambre climatique Brouwer

### 3.2.6 Sondes de courant

Les sondes de courant sélectionnées sont pour les deux mesures les modèles LEM it 60-s. Ces sondes sont choisies en raison de leur stabilité et de leur grande précision (voir datasheet ci-joint). De plus, l'Ecole d'Ingénieurs de Sion dispose déjà de plusieurs exemplaires.

### 3.2.7 Armoire électrique

De façon à rendre le banc de test suffisamment robuste et propre, et pour respecter les spécifications. Il est nécessaire de placer l'ensemble du matériel électrique dans une armoire.

Une demande d'offre est envoyée chez Rittal de façon à obtenir un prix intéressant pour l'armoire suivante : 1060.500 (600x600x210 mm). Cette armoire est volontairement choisie un peu plus grande. Cependant une fois terminée, il ne reste plus autant de place que prévu à l'intérieur.

## 4 ANALYSE DE RISQUES

Certains aspects liés à ce travail peuvent être relativement dangereux. Le temps alloué au travail de diplôme est bien trop court pour homologuer parfaitement la plateforme de test aux normes de sécurité. Néanmoins, par mesure de précaution, la brève analyse suivante classe les risques et apporte des solutions de façon à rendre le banc de test le moins dangereux possible pour ses utilisateurs.

| Analyse de risque |  |             |             |  |
|-------------------|--|-------------|-------------|--|
| Numéro            | Risque   | Probabilité | Dangerosité | Solution   |
| 1                 | Electrocution côté réseau (3x400 [V])                        | faible      | élevé       | - Coffret électrique<br>- Isolation des parties dangereuses<br>- Indication de danger                                |
| 2                 | Electrocution côté DC (stack 600 [V])                        | moyen       | élevé       | - Coffret électrique<br>- Isolation des parties dangereuses<br>- Indication de danger<br>- Manipulation hors tension |
| 3                 | Mauvaise manipulation fils côté DC, court-circuit à la terre | élevé       | moyen       | - Mode d'emploi<br>- Personnes formées<br>- Indication de danger<br>- Manipulation hors tension                      |
| 4                 | Mauvais connexion côté batterie de la part de l'utilisateur  | élevé       | moyen       | - Mode d'emploi<br>- Indications locale<br>- Contrôle de l'automate et message d'erreur                              |
| 5                 | Se couper avec des parties tranchantes                       | faible      | faible      | - Réalisation soignée  |
| 6                 | Se blesser par du matériel lourd qui tombe                   | faible      | moyen       | - Fixation robuste   |
| 7                 | Se blesser avec une partie chaude                            | moyen       | faible      | - Indication locale<br>- Mise en garde sur l'IHM   |
| 8                 | Défaut menant à un incendie                                  | faible      | élevé       | - Disjoncteurs dimensionnés correctement<br>- Arrêt d'urgence<br>- Câblage dimensionné correctement                  |
| 9                 | Génération de bruit (Ouïe)                                   | moyen       | moyen       | - Insonoriser au maximum<br>- Pamirs à disposition   |
| 10                | Génération de perturbations EMC                              | élevé       | faible      | - Coffret électrique<br>- Respect des normes concernant l'EMC  |

## 5 CONCEPTION ELECTRIQUE

### 5.1 Schéma électrique

De façon à respecter l'architecture de la plateforme de test, de la rendre plus précise, d'obtenir une liste de matériel et de permettre un câblage efficace, il est nécessaire de dessiner un schéma électrique selon les règles de l'art.

Le schéma électrique est dessiné avec le logiciel Microsoft Visio 2010. Il comprend trois pages classées selon les critères suivants : la partie puissance, la partie commande et la partie mesure. Les renvois ainsi que les noms des composants et des contacts permettent d'effectuer le lien entre les différentes pages.

Le schéma électrique est disponible en annexe (annexe 8).

### 5.2 Dimensionnement du matériel

Dans cette partie, il est question du dimensionnement du matériel principal de l'armoire électrique. Seul le choix des composants principaux est détaillé. En effet il n'est pas nécessaire de rapporter le choix du matériel tel que les canaux à câble et les rails DIN.

#### 5.2.1 Bornes

Deux types de bornes différents sont utilisés dans l'armoire électrique. Les bornes pour les conducteurs DC pour une section jusqu'à 70 mm<sup>2</sup>. Toutes les autres bornes sont, pour des raisons pratiques (plus de place pour le câblage), des bornes permettant l'utilisation de conducteurs jusqu'à 4 mm<sup>2</sup>. Le dimensionnement de ces bornes est dépendant du dimensionnement des conducteurs détaillé ci-après.



Figure 24 Borne Woertz 4 [mm<sup>2</sup>]

#### 5.2.2 Interrupteur principal S0

Côté réseau, l'armoire électrique est mise sous tension avec un interrupteur principal. Cet interrupteur doit être capable de commuter le courant maximum que l'armoire peut être en mesure de consommer simultanément. Le courant est maximal lorsque la chambre thermique est enclenchée et l'onduleur fonctionne à pleine puissance, ce qui équivaut à un courant pour la phase la plus chargée de 21 [A]. L'interrupteur choisi permet de commuter 25 [A] à 500 [V], ce qui laisse encore une marge pour l'alimentation 24 V (maximum 500 [mA]) et les bobines des contacteurs.



Figure 25 Interrupteur principal 3P+N Eaton 500 [V] 25 [A]

### 5.2.3 Contacteurs

Les quatre contacteurs doivent être dimensionnés correctement afin d'être en mesure de commuter sous charge. Les contacteurs AC sont dimensionnés selon la catégorie d'emploi AC-3.

#### Principal K21

Le contacteur principal (pour la sécurité) est dimensionné pour être capable de commuter 21 [A]. Le contacteur choisi permet de commuter 23 [A].

Sa bobine est pilotable avec une tension de 230 [V], ce qui permet d'effectuer une commande avec un bouton d'arrêt d'urgence et de soulager l'alimentation 24 VDC.

#### Chambre thermique K24

Le contacteur est dimensionné pour permettre de commuter la chambre thermique en charge de façon à pouvoir effectuer un arrêt depuis l'automate si la température est trop élevée. La consigne de la chambre thermique est manuelle, ce contacteur est le seul moyen de couper la chambre thermique en cas de surchauffe.

La chambre thermique tire au maximum un courant de 5 [A] sur chaque phase. Le contacteur choisi permet la commutation d'un courant de 9 [A].

#### Convertisseur AC/DC K25 et convertisseur DC/DC K26

Ces deux contacteurs devraient permettre de commuter le courant DC à la puissance maximale de l'onduleur. Ce courant est au maximum de 150 [A]. Cependant, pour des raisons de coût et parce qu'à ce stade du projet seule de petites batteries sont testées, des contacteurs Crydom DC100D80 MOSFET 80 [A] sont utilisés (CHF 130/pièce à la place de CHF 250 pour une offre chez Omron ou Schaltbau). Le désavantage de ces composants reste leur polarité (MOSFET dans un sens et diode intrinsèque de l'autre)



Figure 26 Contacteur (Solide State Relay) DC Crydom DC100D80 80 [A]

#### Remarque

Sans le remplacement de ces contacteurs par un modèle 200 [A], la plateforme de test doit travailler à puissance réduite. Le courant côté DC ne doit en aucun cas dépasser 80 [A], sous peine de détruire ces contacteurs.

#### 5.2.4 Disjoncteurs

Il est très important de dimensionner correctement les disjoncteurs qui permettent de protéger les lignes situées en aval. Dans ce projet, il convient alors de protéger la ligne de la chambre thermique et celle de l'onduleur.

##### **Chambre climatique Q1**

La chambre climatique tire à puissance nominale 5 [A] par phase. Cependant, cette chambre comprend un compresseur avec un fort courant d'appel au démarrage. Le disjoncteur choisi est alors légèrement surdimensionné 10 [A] de manière à ne pas se déclencher de manière intempestive. Le récepteur étant classique, ce disjoncteur fonctionne selon la courbe C.

##### **Convertisseur AC/DC Q2**

Le convertisseur AC/DC tire à puissance maximale 15 [A] côté réseau. Le disjoncteur sélectionné a un courant nominal de 16 [A] mais est de catégorie D puisque le récepteur a un fort courant d'appel.

#### 5.2.5 Fusibles

Côté DC le courant maximal est 150 [A], des disjoncteurs seraient alors une solution trop chère. Pour cette raison, des fusibles HPC 160 [A] sont utilisés. Il est important de signaler que Studer impose une protection sur les deux pôles [3] (page 17).

#### 5.2.6 Prise pour chambre climatique

La prise utilisée est déterminée par la fiche de la chambre climatique, qui ne doit pas être modifiée et au courant qu'elle tire à régime nominal. Ce qui correspond à une prise T15 5P 10 [A], 400 [V].

### 5.3 Dimensionnement des conducteurs

Les conducteurs sont dimensionnés selon le tableau 5.2.3.1.1.15.2.2 de la norme NIBT 2012. Ce tableau s'applique pour une température du conducteur de 70 [°C] à une température ambiante de 30 [°C] et pour un circuit.

#### 5.3.1 Puissance DC

Le tableau donne pour un courant de 137 [A], avec la méthode de référence F (câbles mono-conducteurs), une section de 35 [mm<sup>2</sup>].

#### 5.3.2 Puissance AC

Avant les disjoncteurs, il convient d'utiliser des fils permettant de faire passer 21 [A]. Les mêmes fils sont utilisés pour alimenter l'onduleur. La section nécessaire est 2.5 [mm<sup>2</sup>].

Pour alimenter la chambre climatique (5 [A]), il suffit d'utiliser des fils d'une section de 1.5 [mm<sup>2</sup>] qui permettent de passer 13 [A].

### 5.3.3 Commande 24 VDC et mesures

Pour la commande et les mesures une section de 1 [mm<sup>2</sup>] est recommandée pour un câblage efficace. Ce qui est suffisant pour conduire le courant nécessaire aux bobines des contacteurs.

## 5.4 Plan d'implantation

Lors de la réalisation de l'armoire de façon à connaître l'emplacement des composants, il est nécessaire d'avoir un plan d'implantation. Ce plan d'implantation est dessiné avec le logiciel Autodesk Inventor (voir Figure 28) et se trouve en annexe à ce document (annexe 9).

## 5.5 Code de couleur pour le câblage

De façon à respecter les normes de couleurs des conducteurs et de se repérer correctement, le tableau des couleurs suivant est élaboré :

| Fonction                         | Couleur    | Norme |
|----------------------------------|------------|-------|
| Réseau L1                        | brun       | Oui   |
| Réseau L2                        | noir       | Oui   |
| Réseau L3                        | gris       | Oui   |
| Réseau N                         | bleu clair | Oui   |
| Réseau PE                        | jaune-vert | Oui   |
| + 24 VDC                         | violet     | Non   |
| 0 VDC                            | bleu foncé | Non   |
| Batterie + (35 mm <sup>2</sup> ) | rouge      | Non   |
| Batterie - (35 mm <sup>2</sup> ) | noir       | Non   |
| Mesure +                         | rouge      | Non   |
| Mesure -                         | noir       | Non   |

Figure 27 couleurs des conducteurs de l'armoire électrique

## 5.6 Réalisation

La réalisation et le câblage du châssis et de l'armoire électrique est entièrement effectué par mes soins au cours de la période du travail de diplôme.

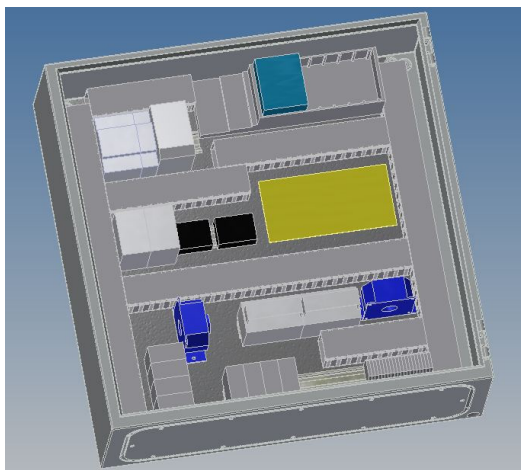


Figure 28 Création du plan d'implantation

Les figures suivantes exposent les tâches pratiques effectuées pendant le travail de diplôme. Il faut noter que les mesures se situent sur la droite de l'armoire et la puissance sur la gauche de manière à bien séparer ces deux aspects pour éviter les perturbations EMC.



Figure 29 Vue d'ensemble de l'intérieur de l'armoire électrique

Sur la figure suivante, il est possible de repérer les composants suivants :

- 1) Disjoncteurs AC
- 2) Alimentation Phoenix Contact 24 VDC 100 [W]
- 3) Automate cRIO avec ses trois cartes
- 4) Contacteurs AC
- 5) Contacteurs DC
- 6) PCB de mesure
- 7) Sonde de courant DC
- 8) Fusible HPC pour le bus DC
- 9) Sonde de courant AC
- 10) Bornes permettant la connexion d'un convertisseur DC/DC
- 11) Bornier pour Studer XTM 3500-24
- 12) Bornier
- 13) XCOM
- 14) Interrupteur principal

15) Vers l'arrêt d'urgence

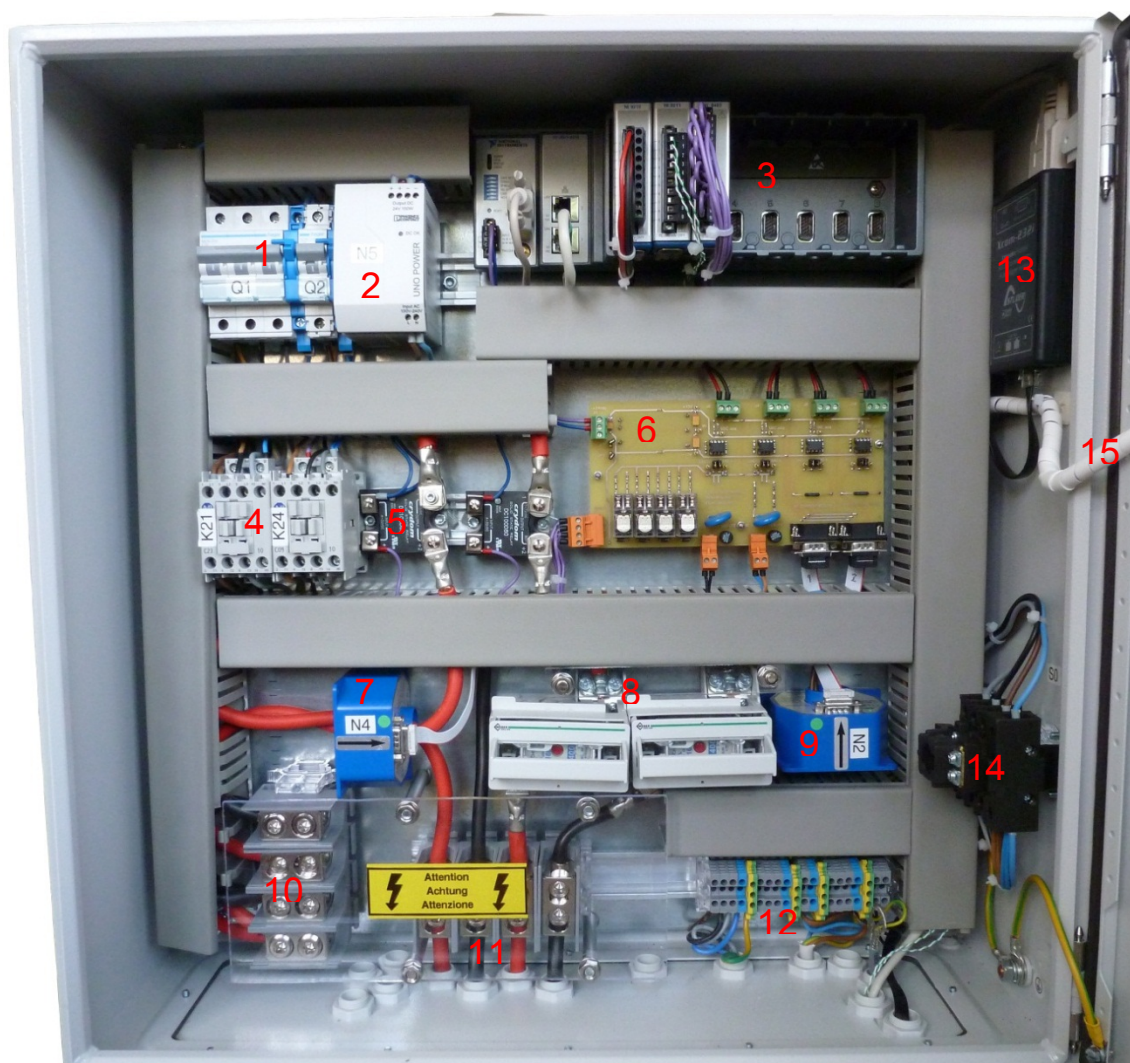


Figure 30 Vue détaillée de l'intérieur de l'armoire électrique



Figure 31 Onduleur Studer XTM 3500-24 et armoire montée sur le châssis

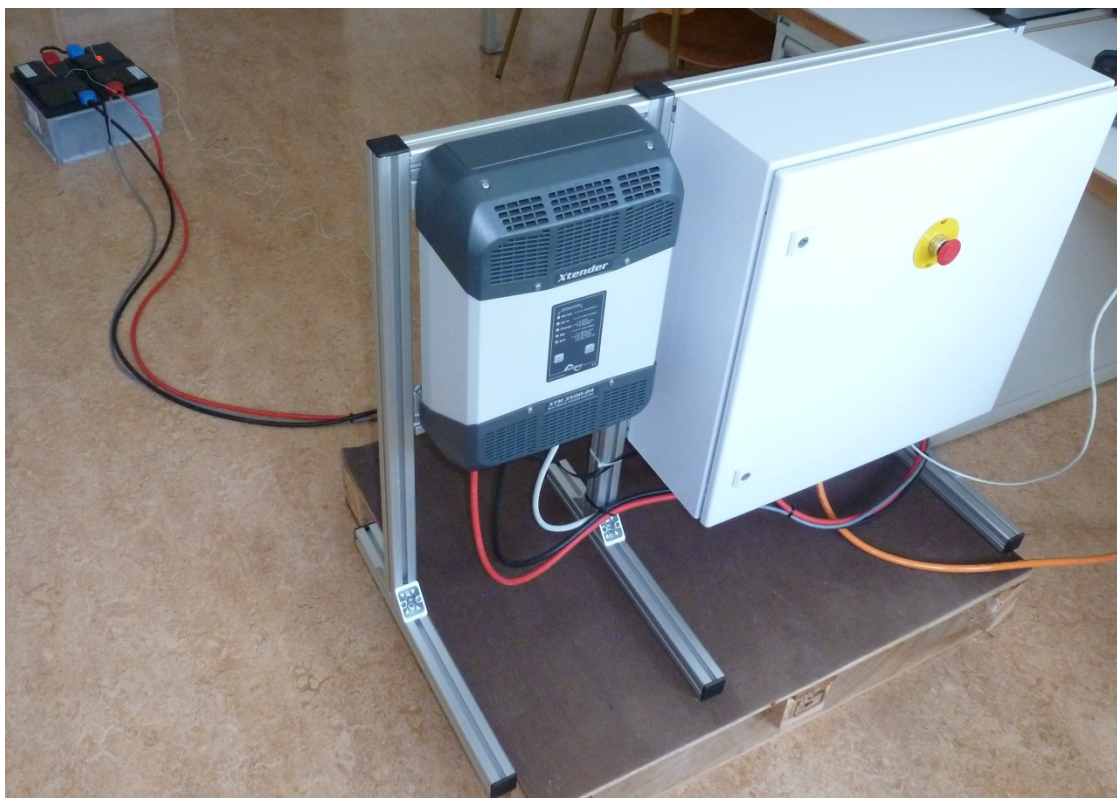


Figure 32 Banc de test complet avec deux batteries SP 110, 12 [V] 110 [Ah]



Figure 33 Vue de droite de l'armoire électrique (interrupteur principal et prises pour la chambre climatique)

## 6 CONCEPTION ELECTRONIQUE

### 6.1 Schéma bloc

Afin de développer correctement le PCB de mesure, il est nécessaire, après avoir réalisé le schéma bloc du banc de test, de réaliser le schéma bloc du PCB. Ce schéma bloc est disponible en annexe (annexe 10).

### 6.2 Choix de l'amplificateur

Le choix de l'amplificateur doit permettre de respecter les spécifications. Il convient d'utiliser un amplificateur d'instrumentation afin d'obtenir des hautes performances pour les mesures. L'avantage de ce montage est une impédance d'entrée infinie, et un haut taux de réjection du mode commun.

Puisque la carte d'acquisition NI 9215 possède une fréquence d'échantillonnage de 100 [kS/s], il convient de ne pas limiter cette performance avec un circuit de mesure placé en amont. Un amplificateur avec une bande passante de 200 [kHz] est alors nécessaire. Le tableau suivant offre un bon aperçu du marché pour ce type de composant.

| Amplificateurs d'instrumentation avec bande passante de 200 [kHz] |           |                  |                      |            |                            |               |         |                            |
|---|-----------|------------------|----------------------|------------|----------------------------|---------------|---------|----------------------------|
| Numéro  | Type      | Constructeur     | Bande passante [kHz] | Prix [CHF] | Tension d'alimentation [V] | Amplification | Boîtier | Calcul du gain             |
| 1   | INA128PA  | Texas instrument | 200                  | 17.60      | ±2.25...±18                | 1...10000     | DIL-8   | 1+(50kΩ/R <sub>g</sub> )   |
| 2   | INA128UA  | Texas instrument | 200                  | 18.25      | ±2.25...±18                | 1...10000     | SO-8    | 1+(50kΩ/R <sub>g</sub> )   |
| 3   | INA128U   | Texas instrument | 200                  | 13.50      | ±2.25...±18                | 1...10000     | SO-8    | 1+(50kΩ/R <sub>g</sub> )   |
| 4   | INA129PA  | Texas instrument | 200                  | 17.39      | ±2.25...±18                | 1...10000     | DIL-8   | 1+(49.4kΩ/R <sub>g</sub> ) |
| 5   | INA129UA  | Texas instrument | 200                  | 16.85      | ±2.25...±18                | 1...10000     | SO-8    | 1+(49.4kΩ/R <sub>g</sub> ) |
| 6   | INA2128U  | Texas instrument | 200                  | 24.52      | ±2.25...±18                | 1...10000     | SO-16   | 1+(50kΩ/R <sub>g</sub> )   |
| 7   | INA2141UA | Texas instrument | 200                  | 20.30      | ±2.25...±18                | 1...100       | SO-16   | 1+(50kΩ/R <sub>g</sub> )   |

Figure 34 Choix de l'amplificateur opérationnel (en vert), en rouge les motifs de non-sélection

L'amplificateur choisi est le INA128PA en raison de son boîtier permettant un montage sur socle. Son gain est alors :

$$G_{amp} = 1 + \frac{50k\Omega}{R_g}$$

### 6.3 Mesure du courant du réseau

#### 6.3.1 Calculs

Il est nécessaire de dimensionner le condensateur de filtrage ainsi que la résistance shunt. Le schéma suivant montre le montage employé pour mesurer le courant du réseau.

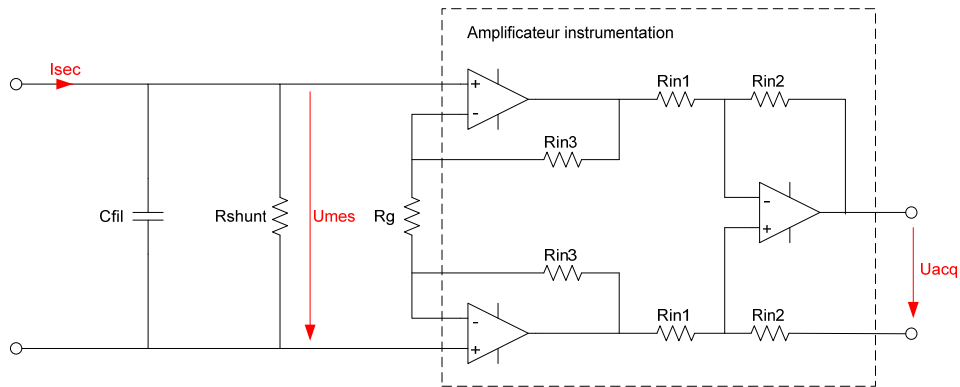


Figure 35 Schéma de mesure du courant du réseau

La fonction de transfert liant  $U_{mes}$  à  $I_{sec}$  se calcule comme suit :

$$\frac{U_{mes}}{I_{sec}} = \frac{\frac{1}{C_{fil} \cdot s} \cdot R_{shunt}}{\frac{1}{C_{fil} \cdot s} + R_{shunt}}$$

$$\frac{U_{mes}}{I_{sec}} = \frac{R_{shunt}}{R_{shunt} \cdot C_{fil} \cdot s + 1}$$

Cette fonction de transfert caractérise un système de premier ordre :

$$H(j\omega) = \frac{K}{1 + j \cdot \frac{\omega}{\omega_c}}$$

La pulsation de coupure peut être calculée ainsi :

$$\omega_c = \frac{1}{R_{shunt} \cdot C_{fil}}$$

En introduisant la notion de fréquence de coupure, la relation devient :

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{shunt} \cdot C_{fil}}$$

Le datasheet de la sonde LEM IT 60-s ULTRASTAB propose le graphique suivant

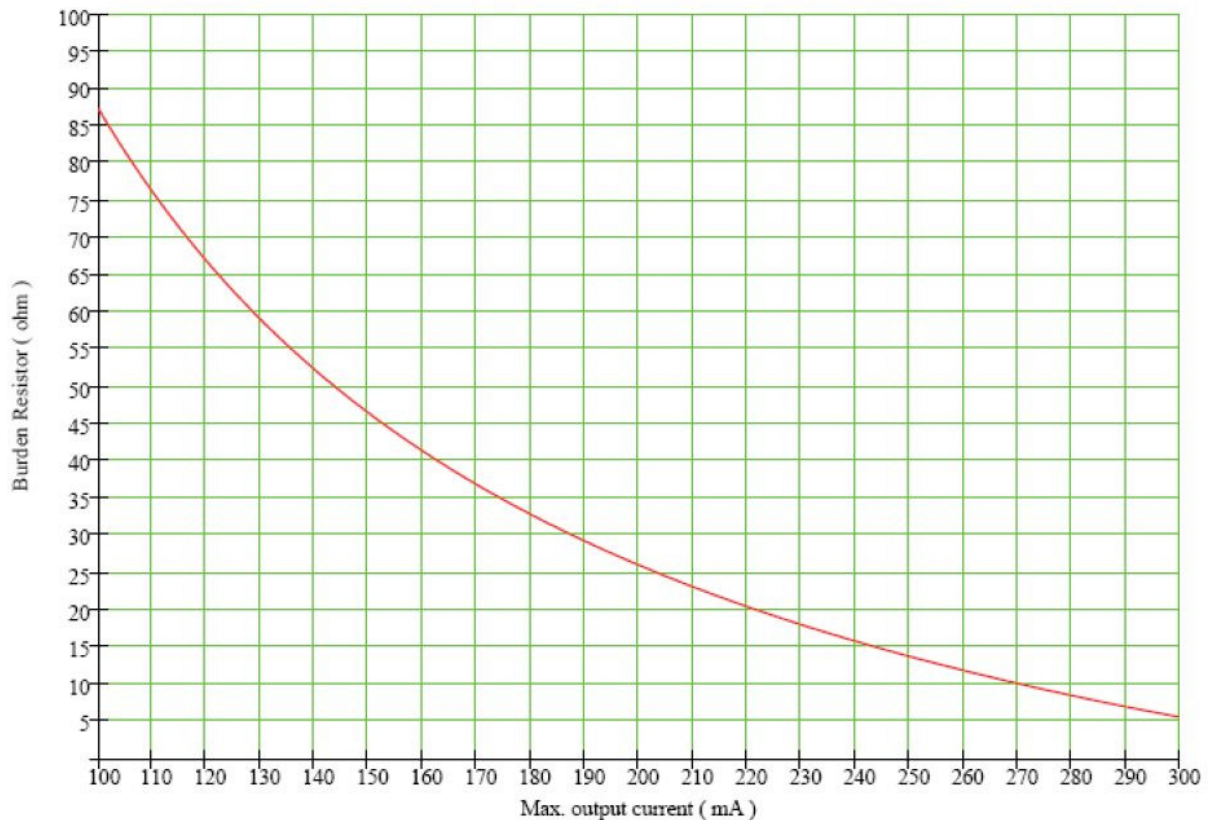


Figure 36 Relation courant secondaire maximum, résistance shunt pour la sonde IT 60-s

Pour maintenir la sécurité de démarrage  $R_{shunt}$  ne doit pas dépasser 20  $[\Omega]$  en présence de défauts. De plus  $R_{shunt}$  doit être comprise selon le datasheet entre les valeurs extrêmes suivantes 0  $[\Omega]$  et 2  $[\Omega]$ .

Avec ces informations, la valeur de  $R_{shunt}$  est fixée à 10  $[\Omega]$ . Au maximum, le courant traversant cette résistance est selon le tableau ci-dessus de 270 [mA].

La puissance dissipée par la résistance est calculable ainsi :

$$P_{Rshunt} = R_{shunt} \cdot I_{max}^2 = 10 \cdot 0.27^2 = 0.729 [W]$$

La résistance à choisir doit pouvoir résister et dissiper 0.729 [W].

Pour obtenir une fréquence de coupure de 200 [kHz], il faut alors dimensionner la capacité de filtrage comme suit :

$$C_{fil} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{shunt} \cdot f_c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 200 \cdot 10^3} = 79.58 [nF]$$

Le but de ce circuit électronique est de convertir le courant secondaire de la sonde de courant en tension de -10 à 10 [V] mesurable par la carte d'acquisition du compactRIO.

En régime nominal, la sonde IT 60-s fournit pour sa valeur maximale 100 [mA]. Cette valeur doit correspondre à la valeur maximale mesurable par la carte d'acquisition 10 [V]. Le gain du montage doit par conséquent être 100.

Le gain total se calcule comme suit :

$$\frac{U_{acq}}{I_{sec}} = \frac{R_{shunt}}{R_{shunt} \cdot C_{fil} \cdot s + 1} \cdot G_{amp}$$



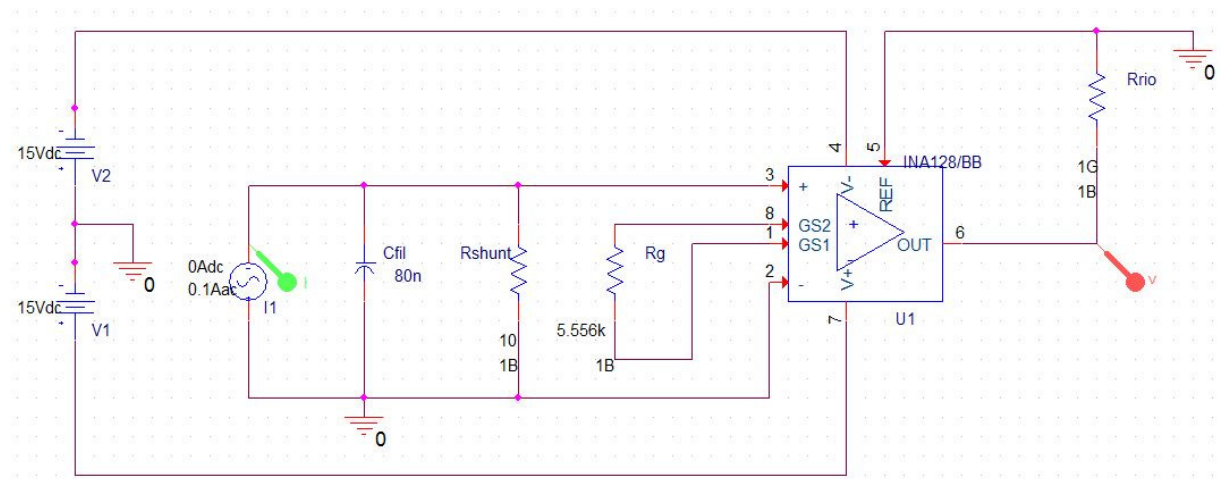


Figure 38 Simulation fréquentielle OrCAD de la chaîne de mesure du courant

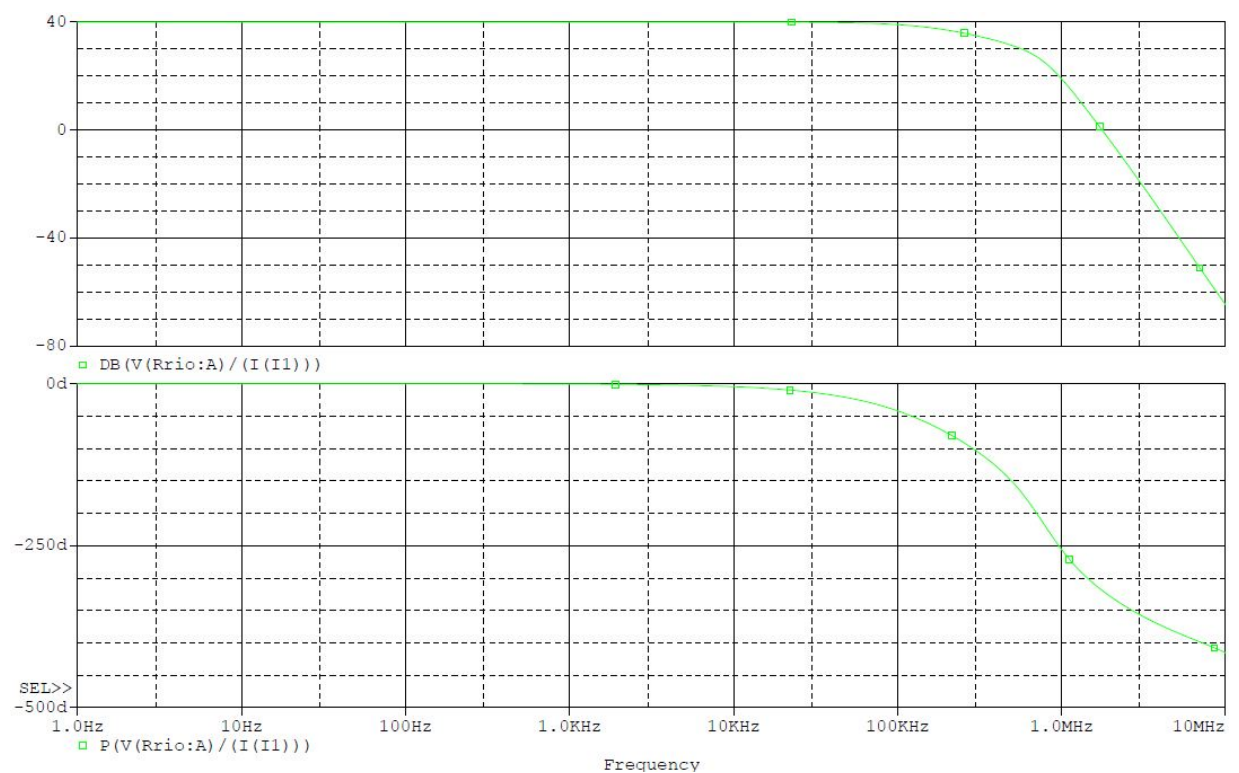


Figure 39 Analyse fréquentielle de la chaîne de mesure du courant côté réseau

Il est important de s'assurer que le montage fonctionne également lors de la mesure d'un courant négatif. Comme le montre le schéma suivant, le fonctionnement est inchangé lors de la mesure d'un courant négatif.

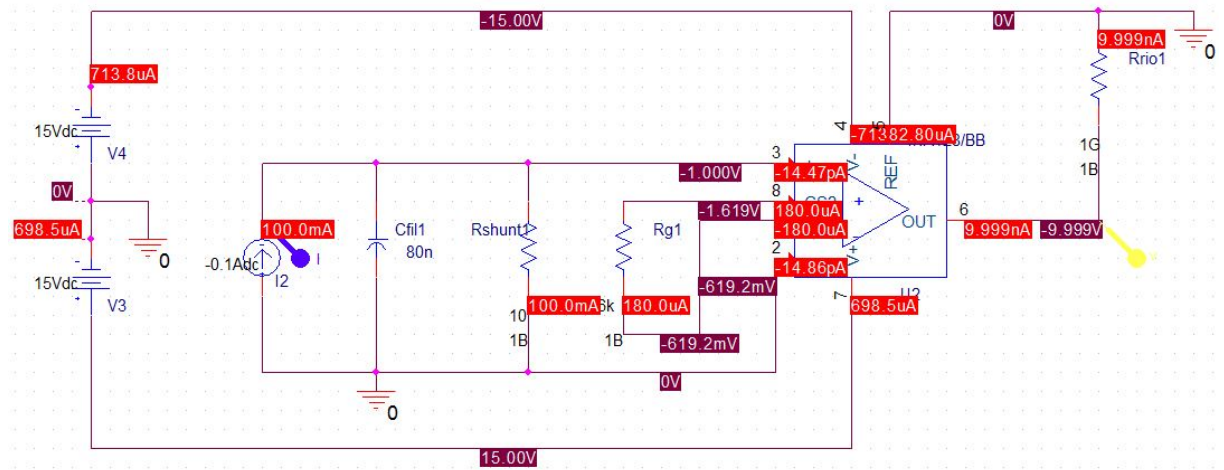


Figure 40 Test du fonctionnement lors de la mesure d'un courant négatif

## 6.4 Mesure du courant DC

Les sondes et la carte d'acquisition pour le courant DC ou AC sont identiques. Le dimensionnement de la chaîne de mesure pour le courant AC est le même que pour le courant DC.

## 6.5 Mesure de la tension du réseau

### 6.5.1 Calculs

Il est nécessaire de mesurer la tension de phase du réseau. La tension de phase du réseau suisse est normalisée (norme EN\_50160). Dans des conditions normales d'exploitation, en excluant les périodes avec des interruptions, il convient que les variations de tension ne dépassent pas  $\pm 10\%$  de la tension nominale.

Théoriquement, la tension de phase maximale mesurable est :

$$U_{max} = 230 + \frac{10}{100} \cdot 230 = 253 \text{ [V]}$$

Cependant, il est plus judicieux de prendre une marge de sécurité afin de préserver le circuit en cas de problème. La tension maximale mesurable est alors fixée à 400 [V].

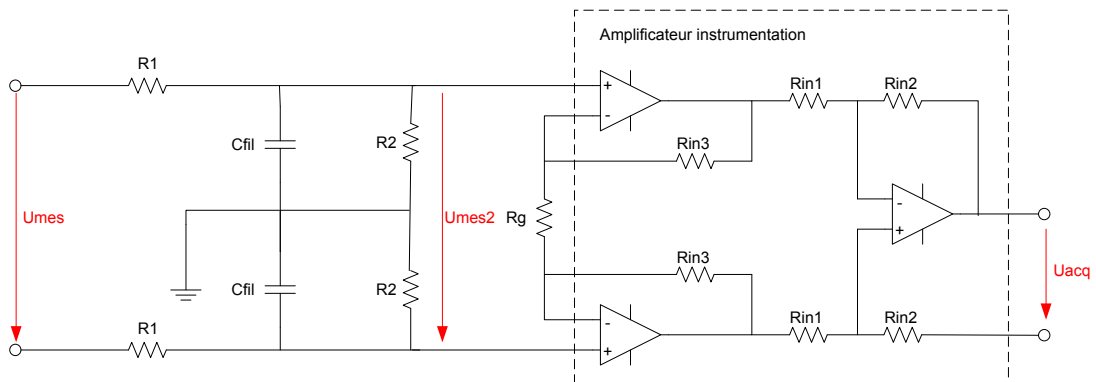


Figure 41 Schéma de mesure de la tension du réseau

L'amplificateur choisi comprend une sécurité, si la tension en entrée dépasse  $\pm 40$  [V], il n'est alors pas endommagé.

Il est important de connaître la fonction de transfert  $U_{mes2}/U_{mes}$ , cette fonction peut être déterminée de la manière suivante :

$$\frac{U_{mes2}}{U_{mes}} = \frac{\frac{\frac{1}{C_{fil} \cdot s} \cdot R_2}{\frac{1}{C_{fil} \cdot s} + R_2}}{\frac{\frac{1}{C_{fil} \cdot s} \cdot R_2}{\frac{1}{C_{fil} \cdot s} + R_2} + R_1}$$

$$\frac{U_{mes2}}{U_{mes}} = \frac{\frac{1}{C_{fil} \cdot s} \cdot R_2}{\frac{1}{C_{fil} \cdot s} \cdot R_2 + R_1 \cdot \left( \frac{1}{C_{fil} \cdot s} + R_2 \right)}$$

$$\frac{U_{mes2}}{U_{mes}} = \frac{R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_{fil} \cdot s + R_1 + R_2}$$

Pour pouvoir comparer cette fonction de transfert avec une fonction de transfert d'un système premier ordre, il faut la normaliser.

$$\frac{U_{mes2}}{U_{mes}} = \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2}}{\frac{R_1 \cdot R_2 \cdot C_{fil}}{R_1 + R_2} \cdot s + 1}$$

Cette fonction de transfert caractérise un système de premier ordre :

$$H(j\omega) = \frac{K}{1 + j \cdot \frac{\omega}{\omega_c}}$$

Il est alors possible de déterminer la pulsation de coupure

$$\omega_c = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_{fil}}$$

En introduisant la notion de fréquence de coupure, la relation devient :

$$f_c = \frac{R_1 + R_2}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot C_{fil}}$$

Le gain du montage en courant continu est celui d'un simple pont diviseur :

$$\frac{U_{mes2}}{U_{mes}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Les résistances doivent être choisies grandes de façon à obtenir un courant de mesure le plus faible possible. Afin de mesurer une tension de 5 [V] (l'amplificateur est plus précis avec un gain proche de 1), la résistance  $R_1$  est fixée à 220 [kΩ], pour obtenir un gain de 1/80, la résistance  $R_2$  doit être 2.785 [kΩ].

Pour obtenir une fréquence de coupure de 200 [kHz] (même raisonnement que pour la mesure du courant), il faut alors dimensionner la capacité de filtrage comme suit :

$$C_{fil} = \frac{R_1 + R_2}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot f_c} = \frac{220 \cdot 10^3 + 2.785 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot 220 \cdot 10^3 \cdot 2.785 \cdot 10^3 \cdot 200 \cdot 10^3} = 289.353 \text{ [pF]}$$

Le gain total se calcule comme suit :

$$\frac{U_{acq}}{U_{mes}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \left(1 + \frac{50k\Omega}{R_g}\right) = 1/40$$

$$R_g = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot R_2}{R_1 - 39 \cdot R_2} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 2.785 \cdot 10^3}{220 \cdot 10^3 - 39 \cdot 2.785 \cdot 10^3} = 50.007 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

## 6.5.2 Simulation

Pour les mêmes raisons que pour la mesure du courant, le circuit est simulé avec le logiciel OrCAD.

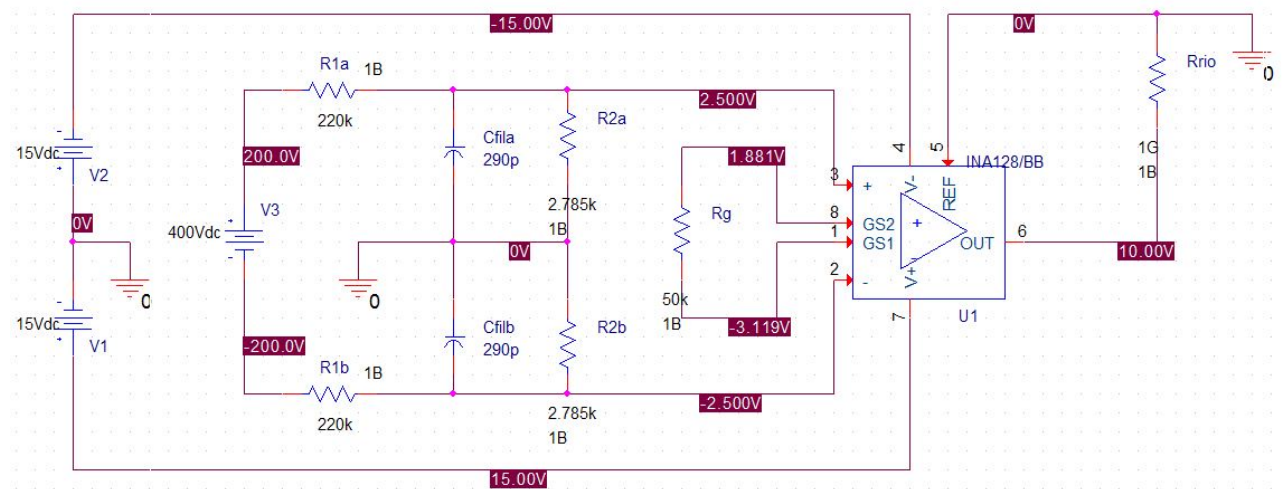


Figure 42 Simulation continue OrCAD de la chaîne de mesure de la tension

Le gain de l'ensemble de la chaîne de mesure doit être mesuré dans la réalité. L'erreur mesurée doit être compensée dans la programmation.

Il convient de s'assurer aussi par simulation qu'une tension négative est mesurable.

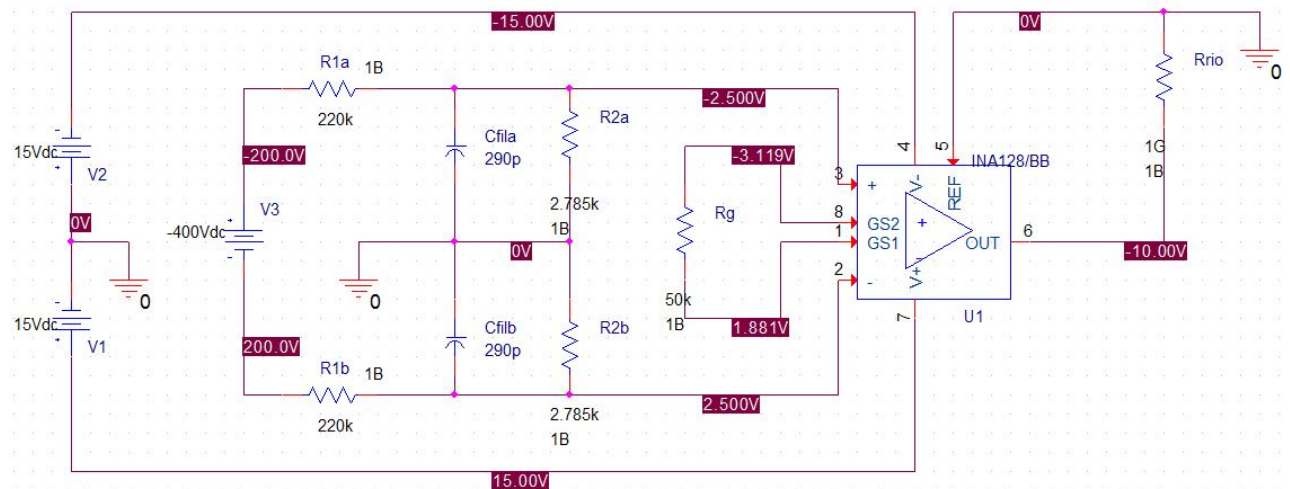


Figure 43 Test de mesure d'une tension négative

Une analyse fréquentielle est aussi requise pour s'assurer que la bande passante spécifiée est respectée.

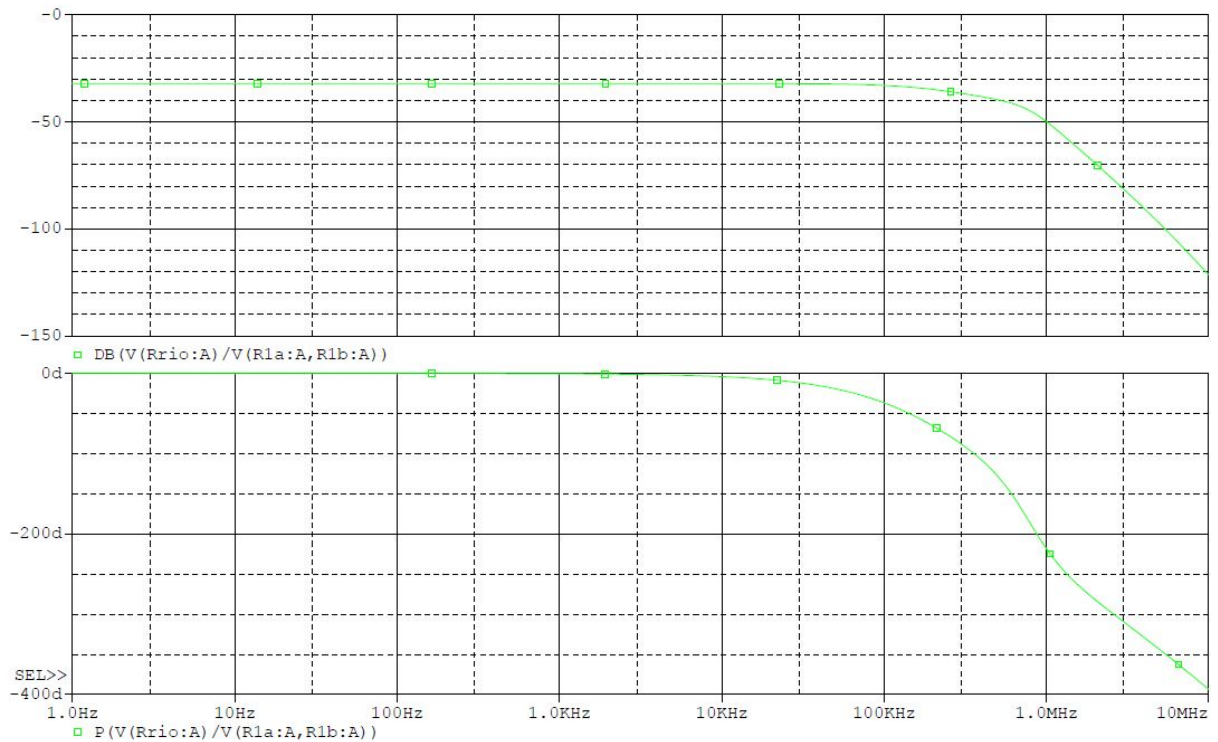


Figure 44 Analyse fréquentielle de la chaîne de mesure de la tension côté réseau

## 6.6 Mesure de la tension DC

### 6.6.1 Calculs

La mesure de la tension DC (aux bornes de la batterie) fonctionne sur le même principe que du côté du réseau. Il est nécessaire en revanche de changer de gain. De plus, pour respecter les spécifications, il est nécessaire d'avoir plusieurs possibilités de valeur du gain.

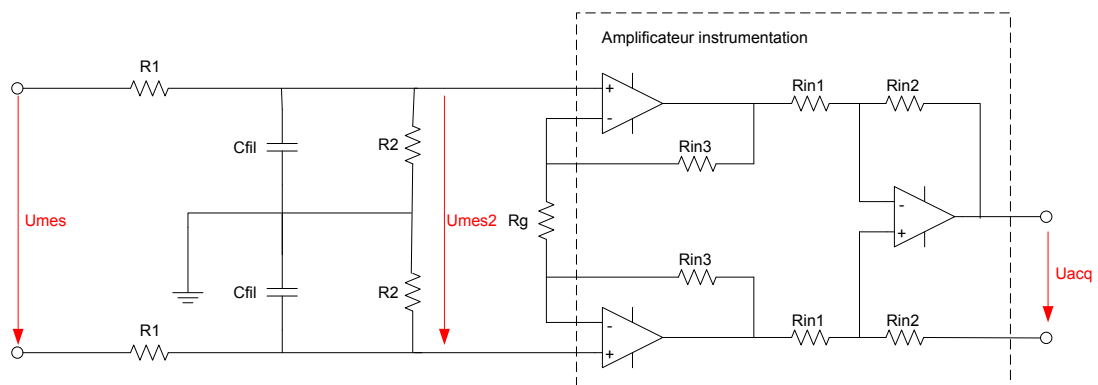


Schéma de principe de dimensionnement de la chaîne de mesure de la tension DC

Quatre résistances en parallèles forment chaque résistance  $R_1$ , elles sont commutables avec des relais de façon à offrir 15 possibilités.

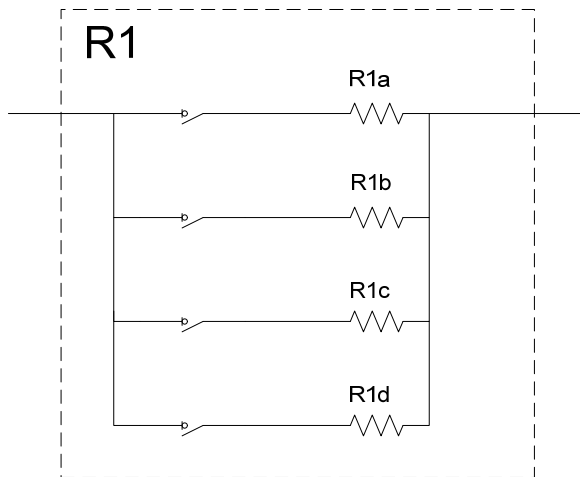


Figure 45 Architecture de la résistance R1

Comme le montre les spécifications, les canaux à concevoir sont les suivant :

5 [V] => 10 [V]

20 [V] => 10 [V]

50 [V] => 10 [V]

600 [V] => 10 [V]

Il est nécessaire d'utiliser quatre résistances car la résolution d'un système d'équation avec trois résistances ne permet pas d'obtenir les quatre gains demandés. De plus, chaque résistance n'est pas parfaite et peut conduire à des erreurs. Il est donc important d'avoir le moins de résistances possibles entre la mesure et l'acquisition.

Le gain de l'amplificateur ne peut pas être  $\leq 1$  (il faudrait une résistance infinie ou négative) :

$$G_{amp} = 1 + \frac{50k\Omega}{R_g}$$

Ce gain est alors fixé à 2 avec une résistance  $R_g$  d'une valeur de 50 [k $\Omega$ ].

Les gains du circuit diviseur de tension sont alors déterminés par la formule suivante :

$$\frac{U_{mes2}}{U_{mes}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Leurs valeurs de ces gains doivent être :

$G=1$  (5 [V] => 5 [V])

$G=1/4$  (20 [V] => 5 [V])

$G=1/10$  (50 [V] => 5 [V])

$G=1/120$  (600 [V] => 5 [V])

La seule possibilité d'obtenir un gain de 1 est d'avoir  $R_1 = 0$  [ $\Omega$ ], R1a vaut alors 0 [ $\Omega$ ].

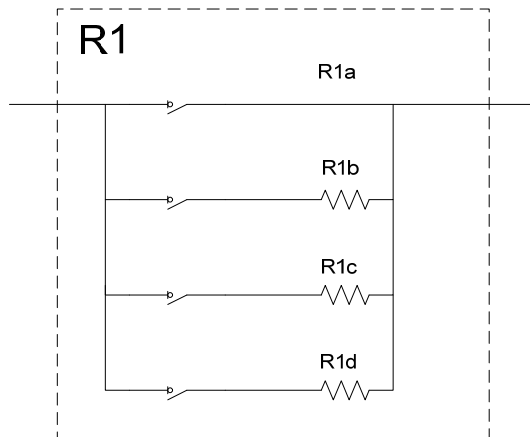


Figure 46 La résistance R1a doit avoir une valeur de 0 [ $\Omega$ ]

Avec  $R_{1a}$  choisie de cette manière, il y a 8 possibilités de combinaison au lieu de 15.

La résistance  $R_2$  est fixée à 10 [ $k\Omega$ ], de façon à rester suffisamment élevée.

Les résistances suivantes sont calculées pour satisfaire les gains :

$$G=1/4, R_{1b} = 30 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$G=1/10, R_{1c} = 90 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$G=1/120, R_{1d} = 1.2 \text{ [M}\Omega\text{]}$$

La capacité n'est pas soumise à la sélection et est la même que pour la mesure de la tension AC (290 [ $pF$ ]).

Le tableau suivant résume les différentes possibilités :

| Etat des relais |     |     |     | R1<br>[ $k\Omega$ ] | Gain     |
|-----------------|-----|-----|-----|---------------------|----------|
| K1d             | K1c | K1b | K1a |                     |          |
| 0               | 0   | 0   | 0   | infini              | #VALEUR! |
| 0               | 0   | 0   | 1   | 0                   | 1.00     |
| 0               | 0   | 1   | 0   | 30                  | 0.25     |
| 0               | 0   | 1   | 1   | 0                   | 1.00     |
| 0               | 1   | 0   | 0   | 90                  | 0.10     |
| 0               | 1   | 0   | 1   | 0                   | 1.00     |
| 0               | 1   | 1   | 0   | 22.5                | 0.31     |
| 0               | 1   | 1   | 1   | 0                   | 1.00     |
| 1               | 0   | 0   | 0   | 1200                | 0.01     |
| 1               | 0   | 0   | 1   | 0                   | 1.00     |
| 1               | 0   | 1   | 0   | 29.268              | 0.25     |
| 1               | 0   | 1   | 1   | 0                   | 1.00     |
| 1               | 1   | 0   | 0   | 83.721              | 0.11     |
| 1               | 1   | 0   | 1   | 0                   | 1.00     |
| 1               | 1   | 1   | 0   | 22.086              | 0.31     |
| 1               | 1   | 1   | 1   | 0                   | 1.00     |

Figure 47 Possibilités

## 6.6.2 Simulation

Il convient aussi pour ces mesures d'effectuer des simulations pour s'assurer du bon comportement du montage.

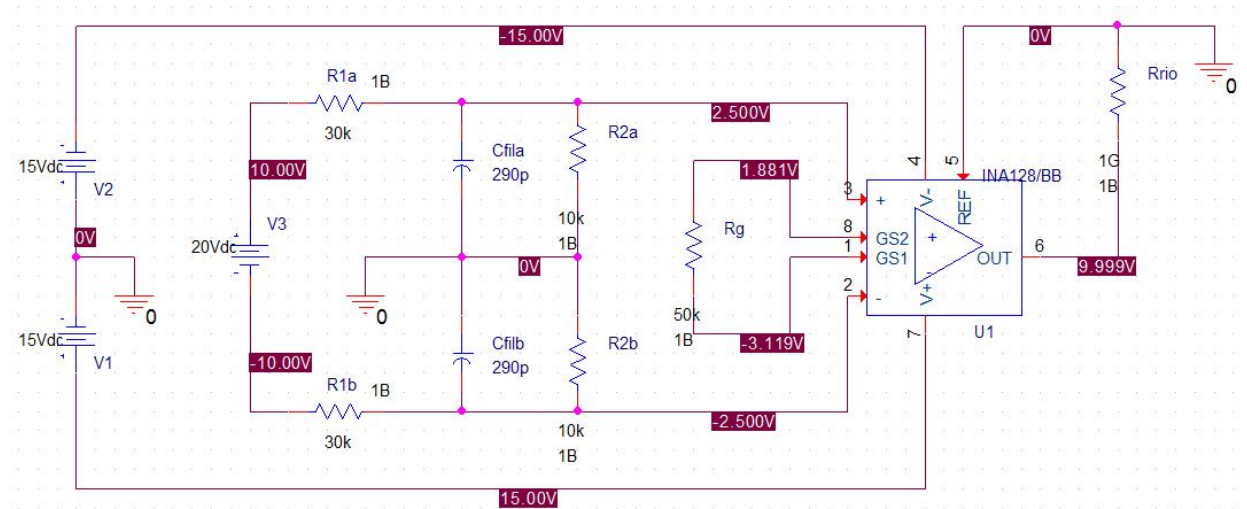


Figure 48 Test du canal de mesure 20 [V]

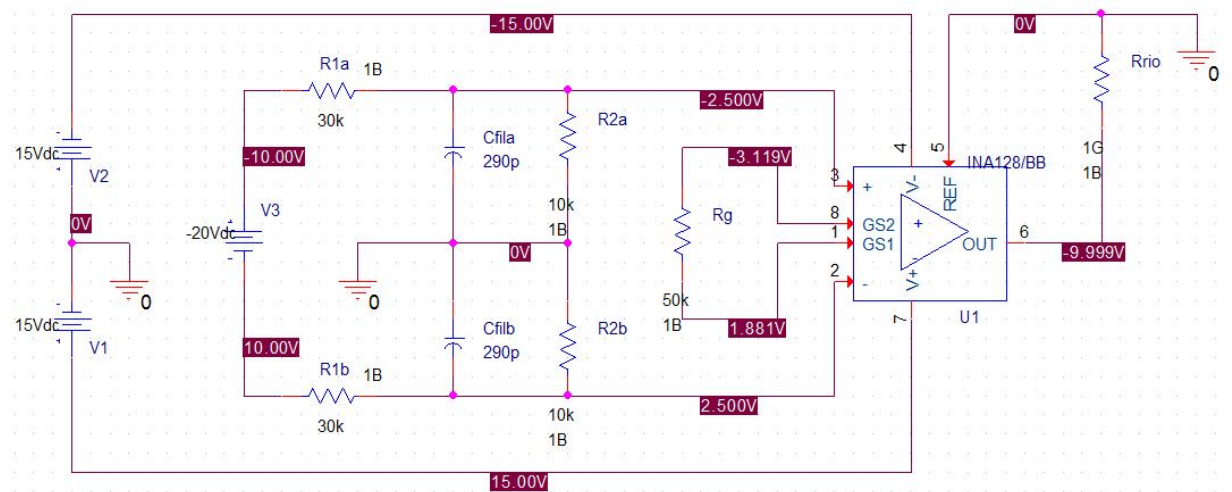


Figure 49 Test du canal de mesure 20 [V] pour une tension négative

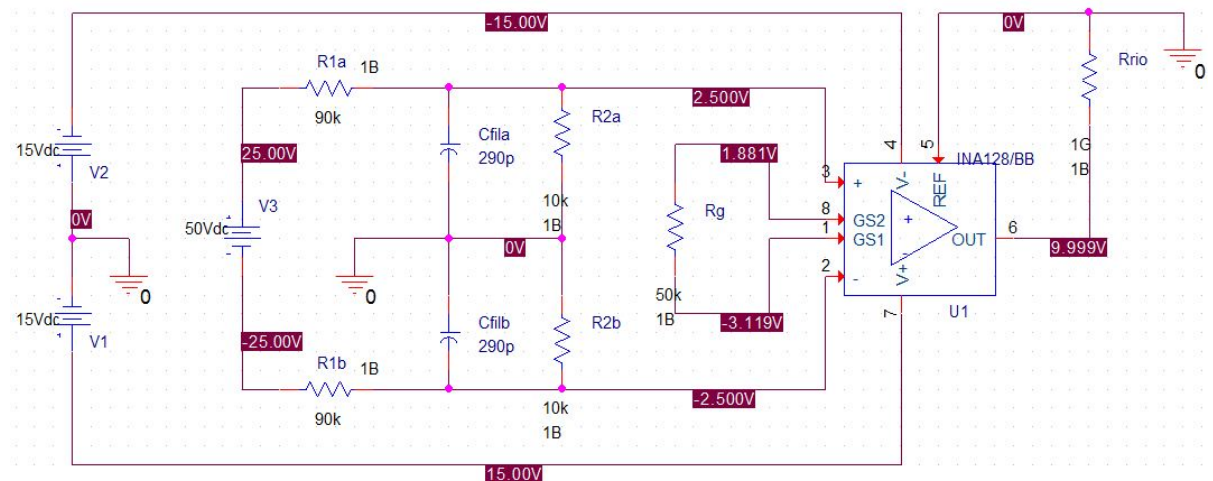


Figure 50 Test du canal de mesure 50 [V]

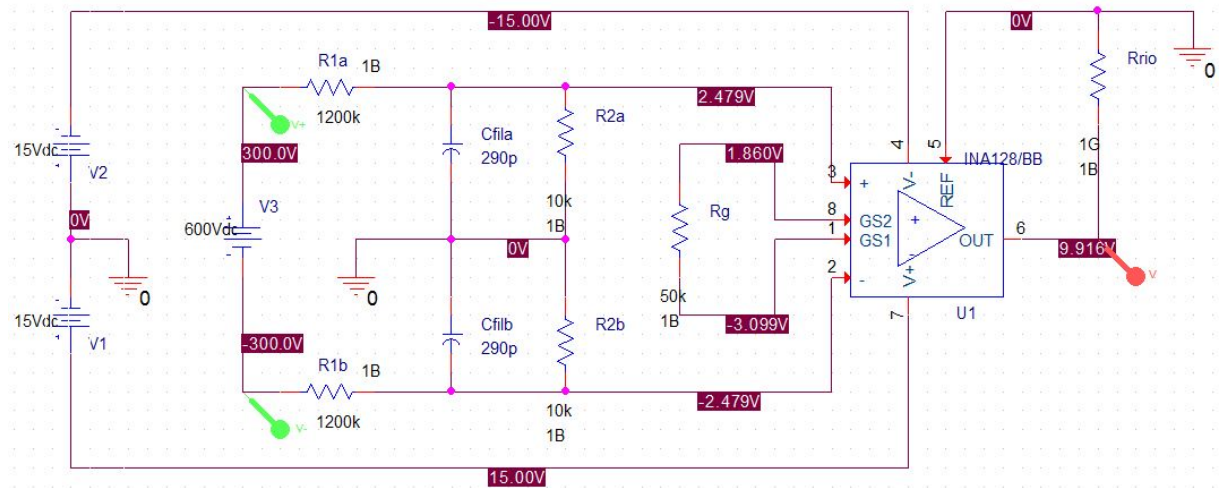


Figure 51 Test du canal de mesure 600 [V]

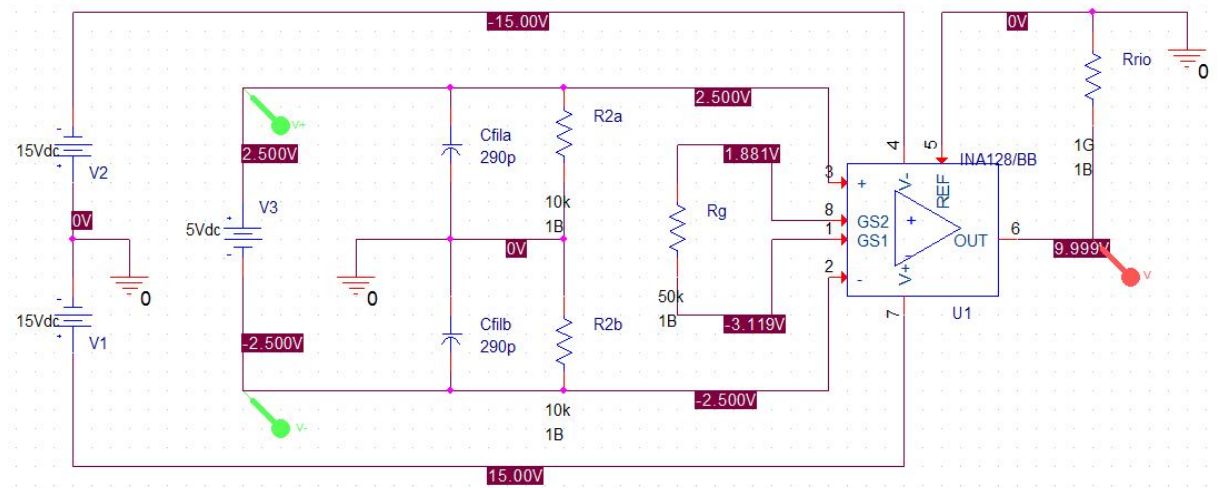


Figure 52 Test du canal de mesure 5 [V]

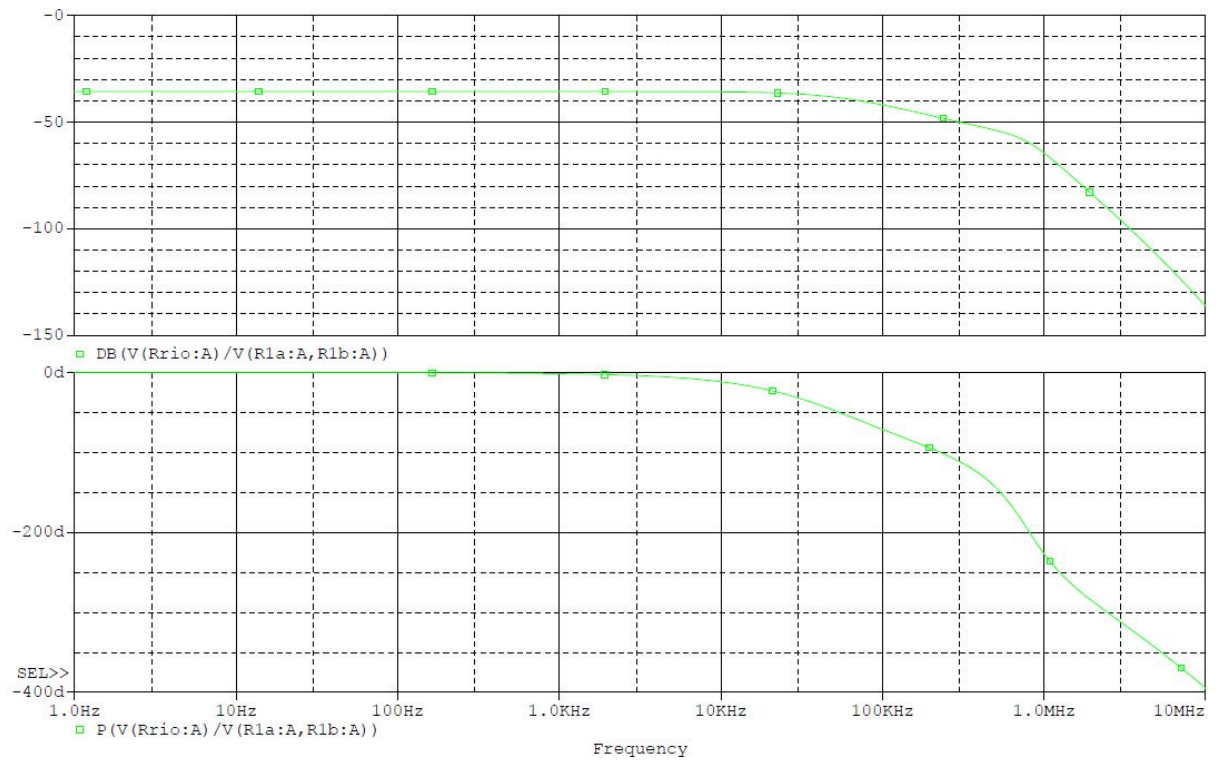


Figure 53 Analyse fréquentielle du canal 600 [V]

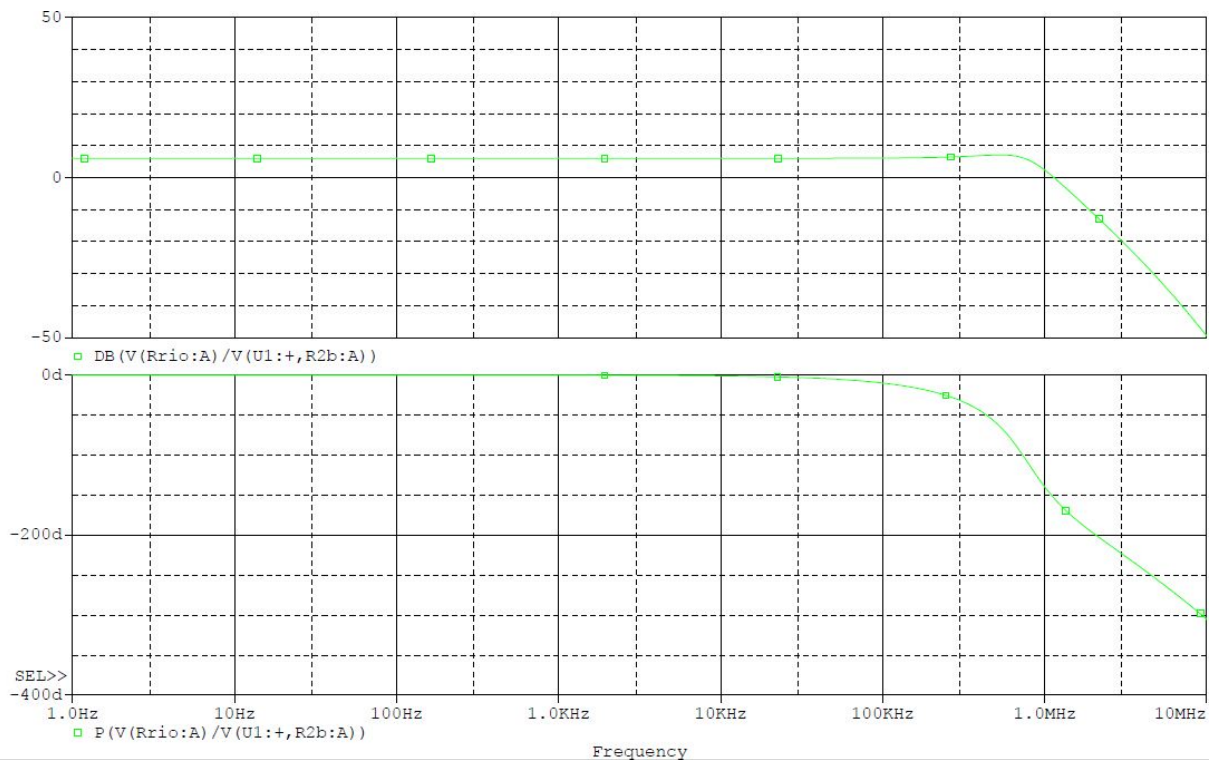


Figure 54 Analyse fréquentielle du canal 5 [V]

## 6.7 Dimensionnement des composants

Les valeurs des résistances et des capacités sont dès lors connues. Il est nécessaire de dimensionner ces composants de façon à ce qu'ils aient la bonne taille (puissance). Il convient aussi de dimensionner les relais et l'alimentation de ce PCB.

### 6.7.1 Relais

Les relais choisis permettent de commuter jusqu'à 5 [A], pour une tension de 380 [VAC].

### 6.7.2 Alimentation

L'alimentation  $\pm 15$  [V] doit permettre d'alimenter les amplificateurs opérationnels du print mais aussi et surtout les deux sondes LEM it 60-s.

Les sondes LEM tirent un courant (sur le 15 [V] et le -15 [V]) exprimé selon la relation ci-dessous (voir annexe 7) :

$$I_c \leq 80 [mA] + I_s$$

$I_s$  est le courant au secondaire de cette sonde qui traverse la résistance shunt. Sur la Figure 36, avec la résistance shunt de 10 [ $\Omega$ ], le courant maximal au secondaire est 270 [mA].

$$I_c \leq 80 [mA] + 270 [mA] = 350 [mA]$$

Avec deux sondes le courant est 700 [mA], les amplificateurs opérationnels ont quant à eux une consommation très faible.

L'alimentation choisie, d'une puissance de 30 [W], est capable de fournir un courant de 1 [A] pour chaque polarité ce qui est amplement suffisant.

## 6.8 Schéma électronique

Le schéma électronique correspondant au développement ci-dessus est réalisé avec P-Cad schematic. Ce schéma est disponible en annexe (annexe 11)

## 6.9 Schéma de routage

Le schéma de routage correspondant au schéma électronique (annexe 11) est réalisé avec P-Cad PCB. Ce schéma est disponible en annexe (annexe 12)

## 6.10 Réalisation

La réalisation de ce PCB (sauf le routage, réalisé par Carmine Arcudi) est entièrement effectuée par mes soins au cours de la période du travail de diplôme.

Le travail réalisé est exposé sur les figures suivantes :

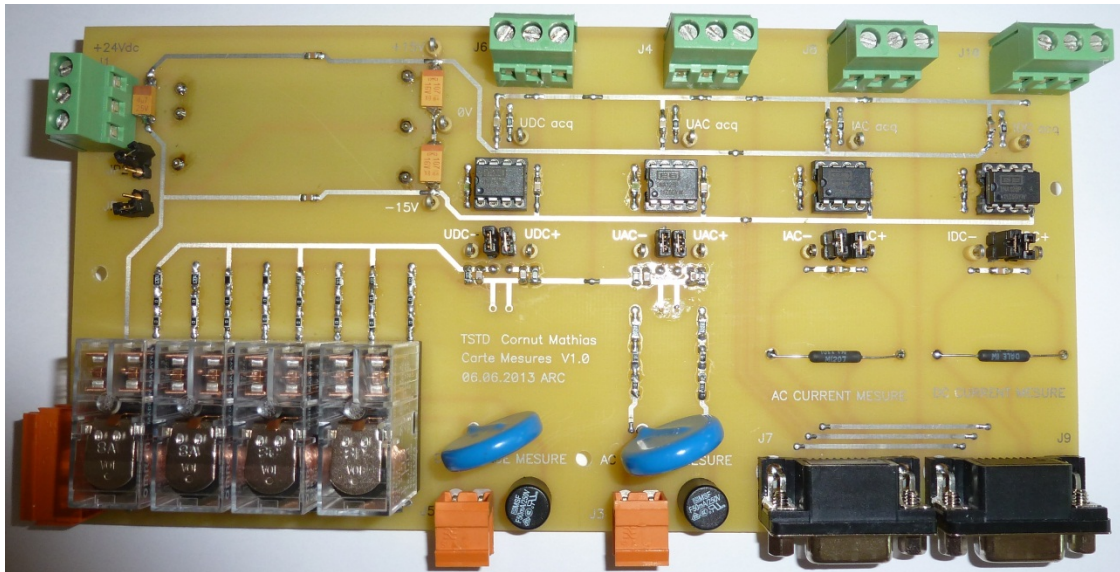


Figure 55 PCB de mesure (vue de dessus)

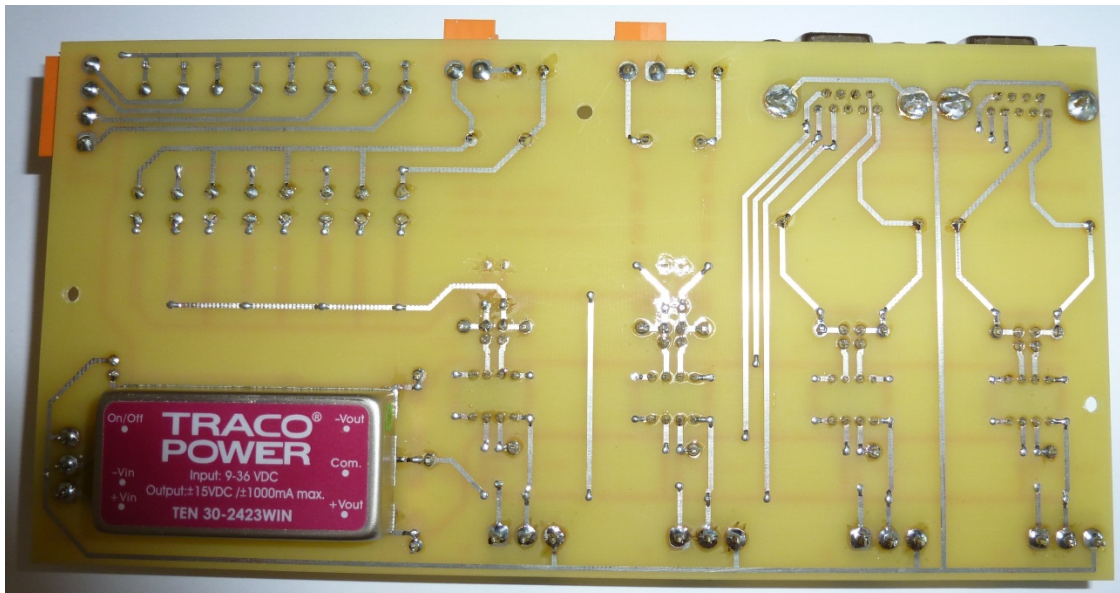


Figure 56 PCB de mesure (vue de dessous)

## 7 CALIBRATION

Dans cette partie, il est question de la calibration des mesures. Chaque chaîne de mesure est testée individuellement.

Les valeurs des grandeurs mesurées sont comparées avec les valeurs fournies par un appareil étalon, le wattmètre LMG 500 Zimmer.

Pour chaque grandeur mesurée, le LMG 500 mesure la grandeur réelle, la tension de sortie du PCB de mesure et la valeur affichée sur la FPGA du CompactRIO (voir figures suivantes).

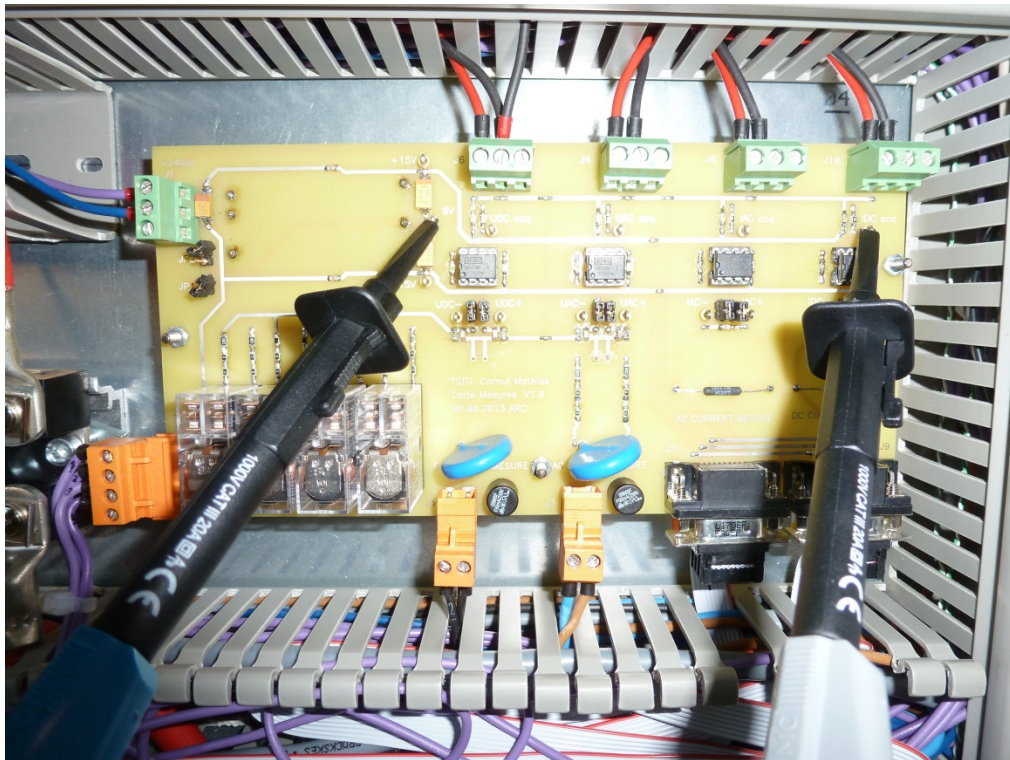


Figure 57 Etalonnage de la chaine de de mesure du courant continu, mesure de la sortie en tension du PCB

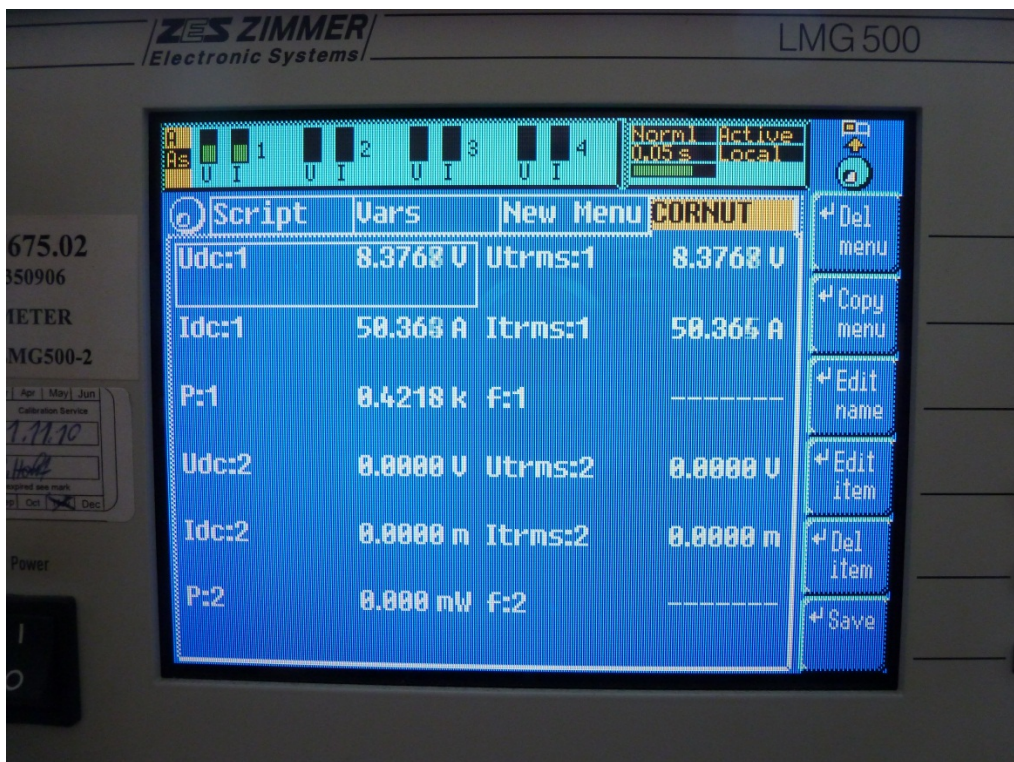


Figure 58 Affichage du Wattmètre LMG 500 dans le cas d'une mesure (50 [A]) sur la chaine du courant continu

Les résultats obtenus sont regroupés dans des tableaux ou les différents offset et gains sont calculés.

Ces tableaux sont trop grands pour être contenu dans ce rapport et sont disponibles en annexe (annexe 16).

De plus, l'influence de la fréquence (décalage par rapport au 50 [Hz]) sur le calcul des valeurs RMS pour le courant et la tension peut induire une erreur au niveau du calcul. Si le temps pendant lequel les échantillons sont prélevés n'est pas un multiple de 20 [ms] (50 [Hz]), il risque d'y avoir une erreur. Pour réduire au maximum l'influence de cette erreur, ce temps est 100 [ms]. Par rapport au Wattmètre Zimmer, cette erreur est négligeable.

## **8 CONCEPTION MECANIQUE**

L'ensemble du banc de test doit respecter les spécifications et être d'une construction robuste, d'une seule partie et déplaçable si besoin.

Un châssis est dessiné avec Autodesk Inventor et réalisé avec des profilés Item. Le schéma est disponible en annexe (annexe 13).

## **9 MATERIEL, BUDGET ET COUTS**

### **9.1 Budget**

Après avoir établi la liste de matériel nécessaire au banc de test, le budget suivant est retenu.

Pour réaliser la plateforme de test, un budget de CHF 10'000 est nécessaire (hors chambre climatique et onduleur). En considérant le rabais envisageable pour une école d'ingénieur ce montant peut être réduit à CHF 7'000.

### **9.2 Liste de matériel**

La liste de matériel se trouve en annexe (annexe 14).

### **9.3 Commandes**

Les commandes se trouvent en annexe (annexe 14).

## **10 ARCHITECTURE DE LA PLATEFORME DE PROGRAMMATION ET DE CONTROLE**

## **11 PROGRAMMATION**

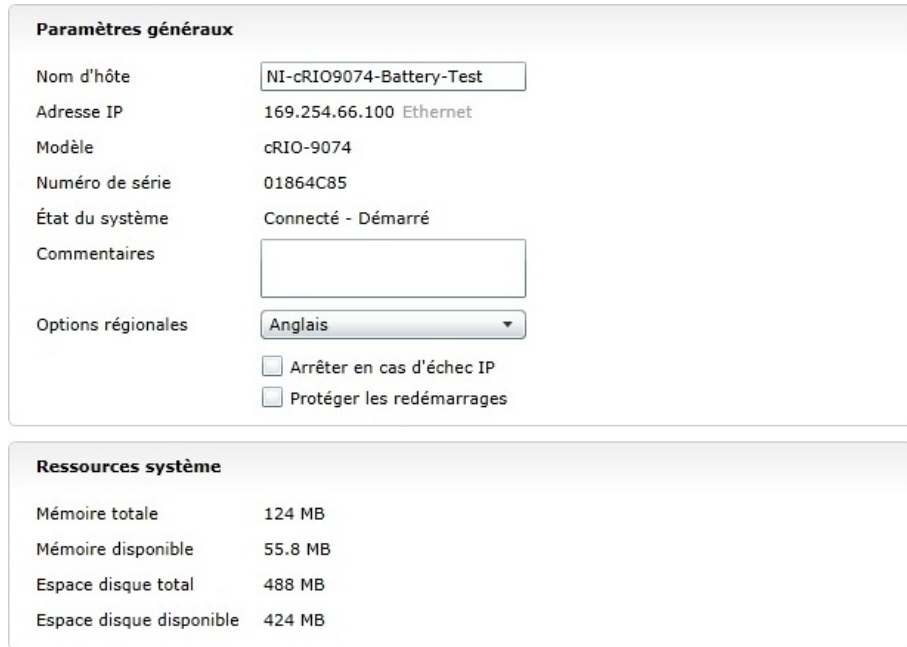
Dans cette partie, il est question de la programmation de la plateforme de test, notamment l'appareil CompactRIO de National Instrument. La programmation est nécessaire pour traiter les mesures, piloter l'onduleur Studer XTM 3500-24, offrir une interface homme-machine et gérer les tests et la sécurité du banc de test.

Pour l'ensemble des tâches mentionnées ci-dessus, le langage de programmation est LabVIEW. Ce choix est imposé par l'utilisation de l'automate CompactRIO de National Instrument.

## 11.1 Opérations préalables

Avant de pouvoir commencer à programmer l'automate CompactRIO, il est nécessaire d'installer LabVIEW.

Une fois le logiciel installé, il est possible de connecter l'appareil CompactRIO. En lançant le programme NI MAX, l'automate est repérable dans l'onglet « Systèmes déportés », de plus son adresse IP est affichée en cliquant dessus.



The screenshot shows the NI MAX interface with two main sections: 'Paramètres généraux' and 'Ressources système'.

**Paramètres généraux**

|                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| Nom d'hôte         | NI-cRIO9074-Battery-Test |
| Adresse IP         | 169.254.66.100 Ethernet  |
| Modèle             | cRIO-9074                |
| Numéro de série    | 01864C85                 |
| État du système    | Connecté - Démarré       |
| Commentaires       |                          |
| Options régionales | Anglais                  |

Below the regional options, there are two checkboxes:

- ☐ Arrêter en cas d'échec IP
- ☐ Protéger les redémarrages

**Ressources système**

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Mémoire totale           | 124 MB  |
| Mémoire disponible       | 55.8 MB |
| Espace disque total      | 488 MB  |
| Espace disque disponible | 424 MB  |

Figure 59 NI MAX

Pour pouvoir communiquer avec l'automate, l'ordinateur doit avoir la bonne adresse IP et le bon masque de sous-réseau. Dans le cas présent, l'adresse IP du CompactRIO est : 169.254.66.100. Il est alors judicieux d'utiliser une adresse IP proche pour l'ordinateur, telle que 169.254.66.101. Pour pouvoir changer ce paramètre, il faut se rendre sur « Network and Sharing Center » et cliquer sur « Local Area Connexion », un mot de passe est alors demandé avant toute modification, dans ce cas avec le login « uadmin », ce mot de passe est « laboae04 ».

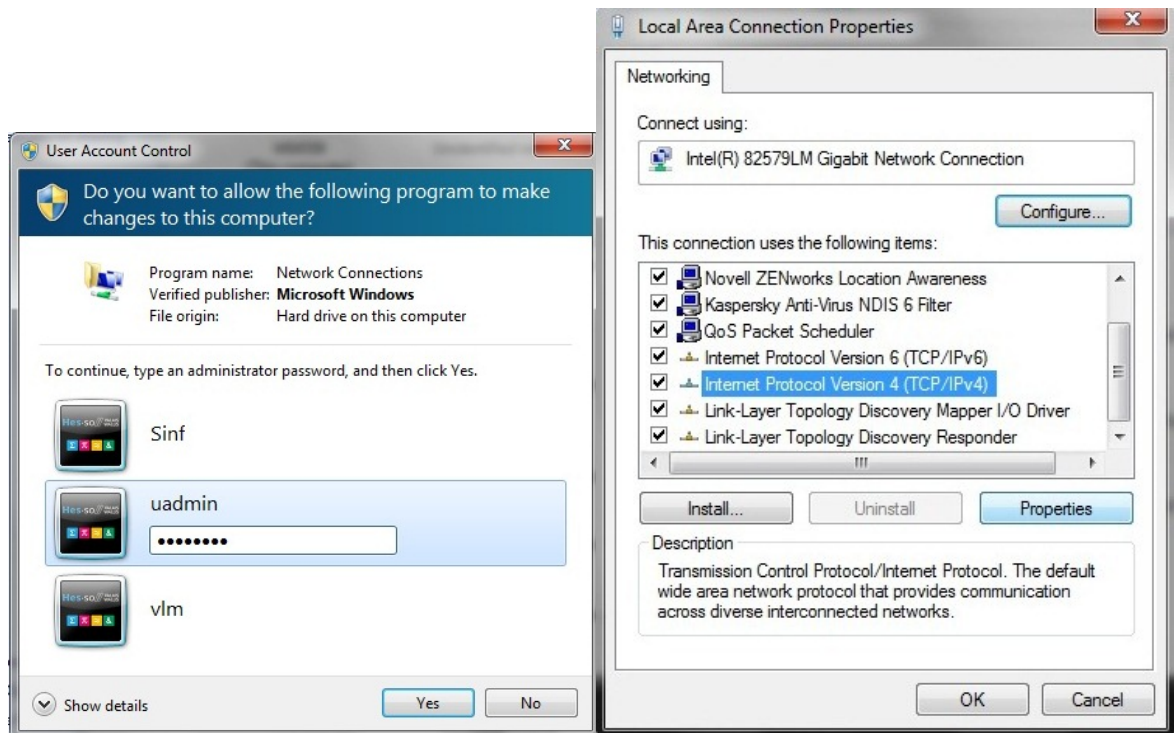


Figure 60 Mot de passe et changement d'adresse IP

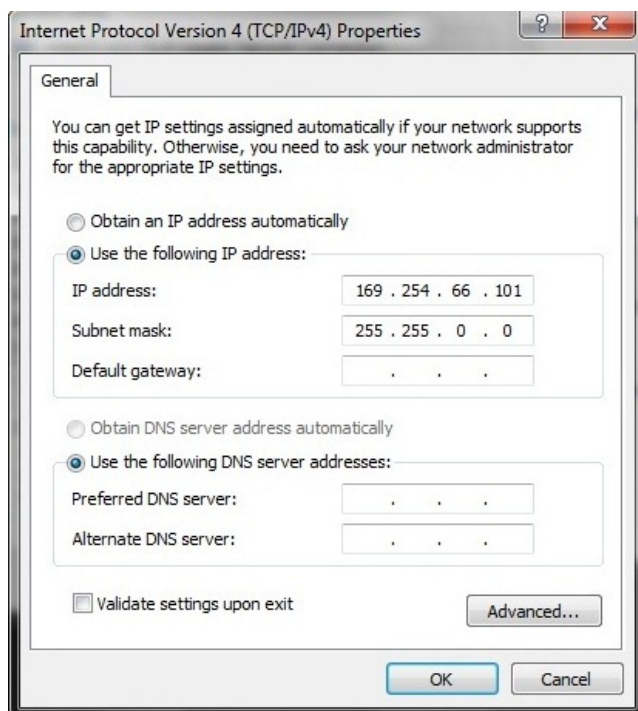


Figure 61 Nouvelle adresse IP et nouveau masque de sous-réseau

Avec cette nouvelle adresse IP, il est possible d'installer les logiciels requis par le CompactRIO puis de l'utiliser. Les logiciels à installer sont les suivants :

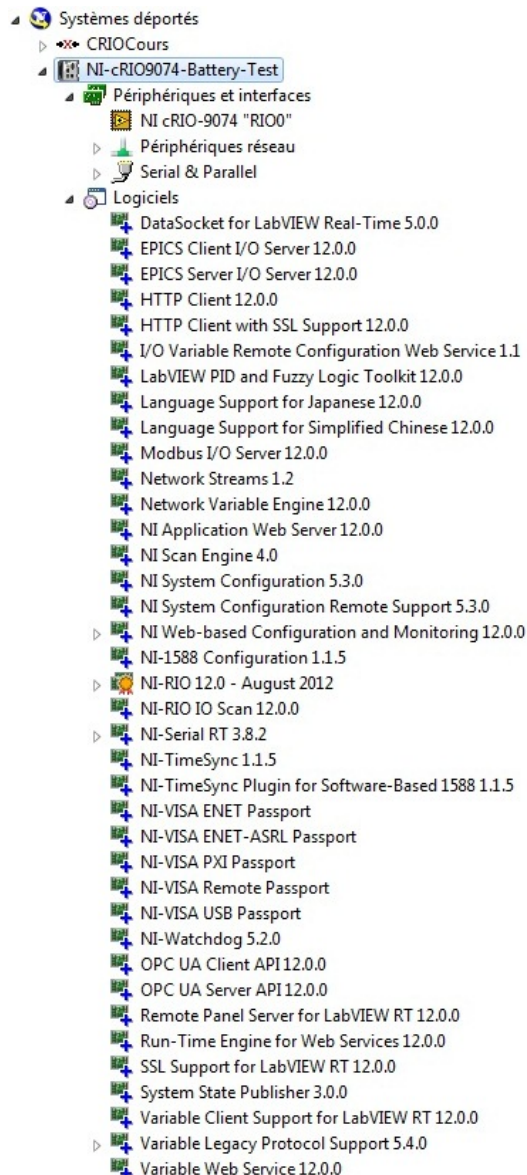


Figure 62 Logiciels à installer sur le CompactRIO

Une fois ces opérations effectuées, il est possible d'utiliser le CompactRIO avec LabVIEW Realtime.

## 11.2 Système

L'automate dispose de cartes d'acquisitions NI 9215 et NI 9211 ainsi que d'une carte de sortie à relais NI 9485.

Avec labVIEW, il est possible de programmer des « VIs » (programmes LabVIEW) sur l'ordinateur et sur le CompactRIO. Dans le cas du banc de test, il est décidé de programmer l'ensemble du programme sur l'automate. En effet les automates programmables sont bien plus fiables qu'un ordinateur qui pourrait être perturbé par Windows. Seul le stockage final des résultats des tests se trouve sur l'ordinateur en raison d'un disque dur de grande capacité.

Lors de la création d'un nouveau projet LabVIEW, il est possible d'ajouter un appareil comme le montre la figure suivante :

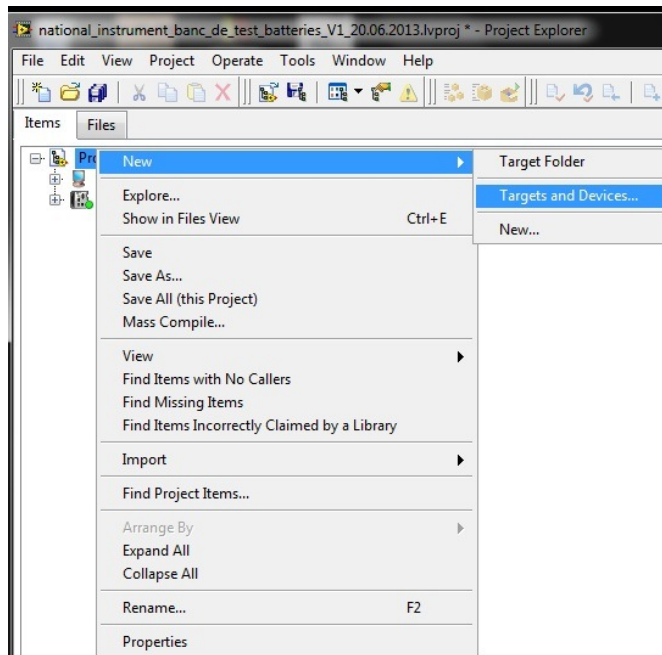


Figure 63 Ajouter un appareil CompactRIO au projet

Il est ensuite conseillé d'utiliser l'option « appareil existant », afin d'être sûr du bon fonctionnement de l'appareil.

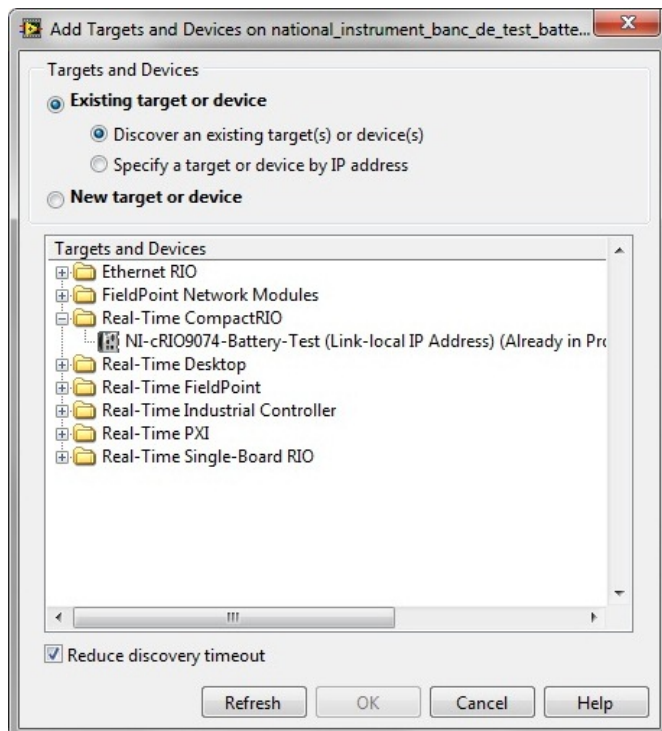


Figure 64 Détection d'un appareil Real-Time CompactRIO

Une fois l'appareil ajouté, une fenêtre apparaît où il est possible de choisir entre deux options (Scan Interface et LabVIEW FPGA Interface). Ce choix est critique puisque il permet soit de se limiter au processeur du CompactRIO (Scan Interface) soit d'avoir la possibilité de programmer aussi la FPGA de l'appareil (LabVIEW FPGA Interface).

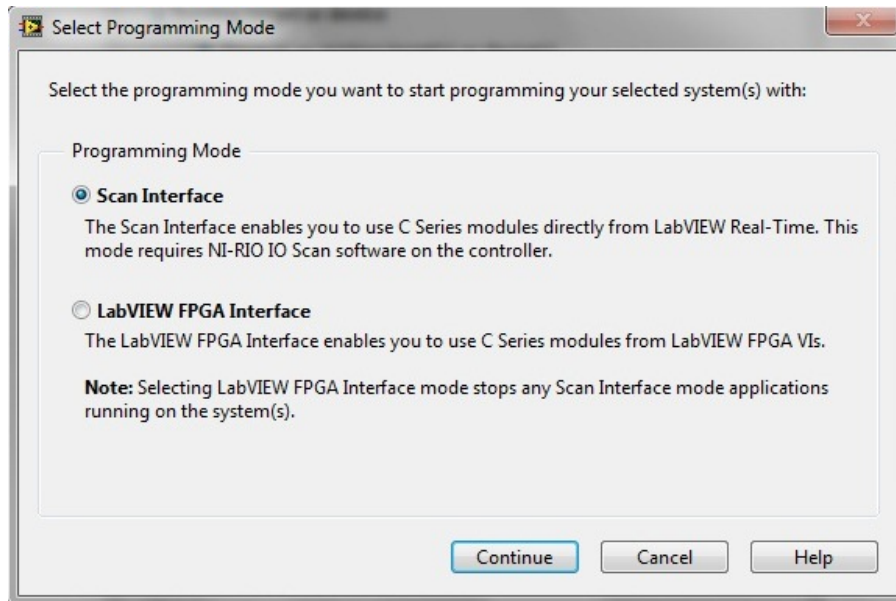


Figure 65 Sélection du mode de programmation

L'interface « Scan Interface » est beaucoup plus simple d'utilisation et comprend beaucoup plus de fonctions. Cependant la carte d'acquisition NI 9215 permet d'échantillonner à 100 [kS/s]. Pour être suffisamment rapide (au niveau des calculs de valeurs RMS et MEAN), il est impératif d'utiliser la FPGA. En effet, un essai a été réalisé avec la « Scan Interface » pour cette fréquence d'échantillonnage, mais sans succès.

De plus, il est important de travailler à cette fréquence de façon à obtenir des valeurs précises. En effet, il est question de grandeurs alternatives d'une fréquence de 50 [Hz] et même 100 [Hz] pour l'ondulation du courant du côté DC de l'onduleur (voir spécifications).

Une fois cette opération effectuée, l'appareil apparaît avec son adresse IP dans l'explorateur de projet.

Il est alors possible de créer des « VIs » à trois endroits :

- 1) Sur la FPGA du CompactRIO
- 2) Sur le CPU du CompactRIO
- 3) Sur le PC

## 11.3 FPGA

Il est important de signaler qu'un « VIs », même petit, nécessite un temps minimum de 15 minutes pour qu'il soit compilé et que le Bit Files soit créé. Cette durée peut s'étendre jusqu'à une semaine pour des programmes plus complexes. De plus LabVIEW ne comprend pas de simulateur ni de debugger pour les « VIs » de la FPGA.

Il est aussi nécessaire de créer un seul Bit Files afin d'éviter les problèmes lors de l'appel des « VIs » de la FPGA depuis le CPU.

Les observations précédentes montrent que le programme sur la FPGA doit être le plus petit possible, c'est-à-dire que seul ce qui est vraiment indispensable doit y être implémenté.

De plus toutes les entrées et sorties doivent y être implémentées lorsqu'elle est utilisée.

Dans le cas de la plateforme de test, il est nécessaire d'utiliser la FPGA pour les quatre canaux de mesure de tension de la carte NI 9215, les quatre canaux de mesures de température et pour les huit canaux de sortie de la carte NI 9485.

Le « VIs » de la FPGA comprend alors deux boucles while qui s'exécutent en parallèle, l'une contient le calcul des valeurs RMS et des valeurs moyennes des mesures de tensions et de courant. Cette boucle comprend par ailleurs le calcul de la puissance active côté réseau. L'autre comprend les mesures des tensions fournies par les thermocouples et l'activation des relais de sortie.

Il est nécessaire d'utiliser deux boucles pour que l'ensemble fonctionne correctement. Les calculs nécessitent beaucoup plus de cycles du processeur de la FPGA que les autres opérations.

La boucle suivante présente la manière dont sont lues les tensions des thermocouples sur la FPGA. Les relais y sont de plus activés. Cette boucle se trouve sur la FPGA, elle n'a pas besoin d'être cadencée, puisque les deux boucles fonctionnent réellement en parallèles.

On peut voir, sur la figure suivante les entrées et les sorties représentées avec leur nom et un cadre violet. La lecture est réalisée avec les variables grises. Il faut noter que la FPGA permet uniquement de travailler avec des nombres entiers, des booléens (représenté ici avec la couleur verte) ou des nombres à virgule fixe (fixed point, représenté ici avec la couleur grise). L'écriture s'effectue depuis les variables booléennes. Cette boucle est infinie (condition de fin de boucle avec une constante FALSE) et tourne donc en permanence sur la FPGA.

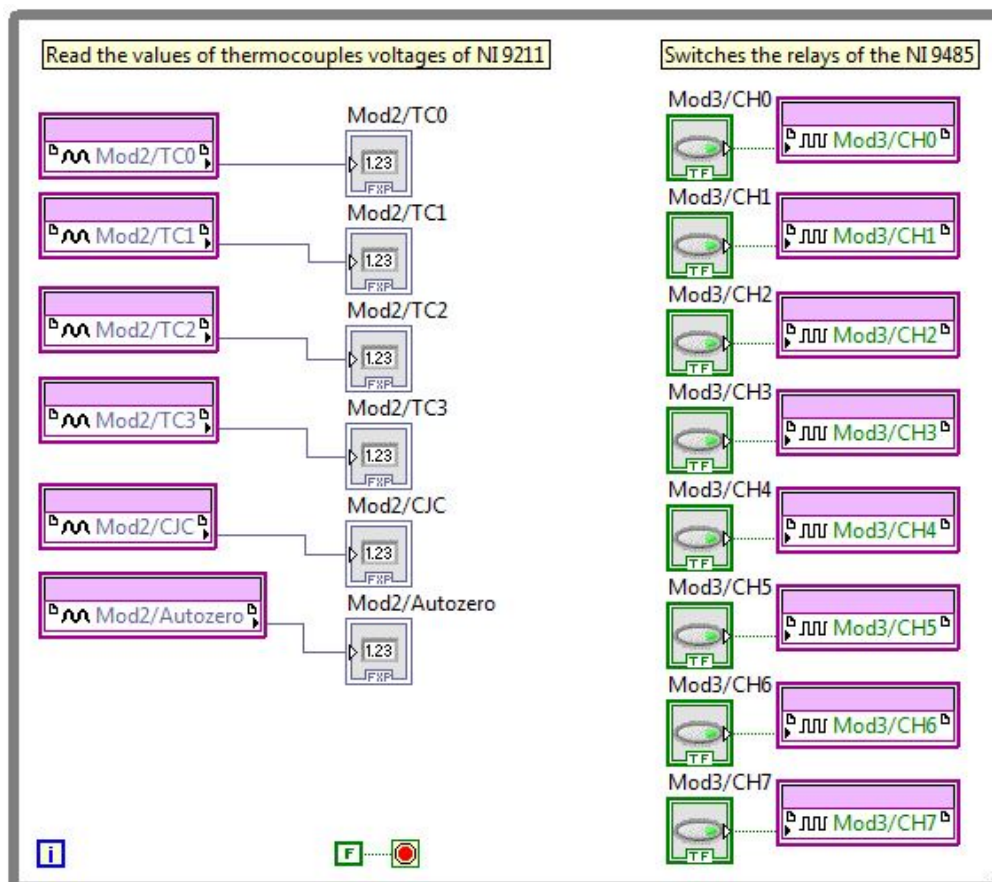


Figure 66 Boucle permettant la lecture des tensions des thermocouples ainsi que l'activation des relais

La boucle suivante, plus complexe, permet de calculer les valeurs RMS et MEAN des grandeurs mesurées. De plus cette boucle comprend une fonction qui permet de calculer directement la puissance active. Ces fonctions sont décrites ci-après.

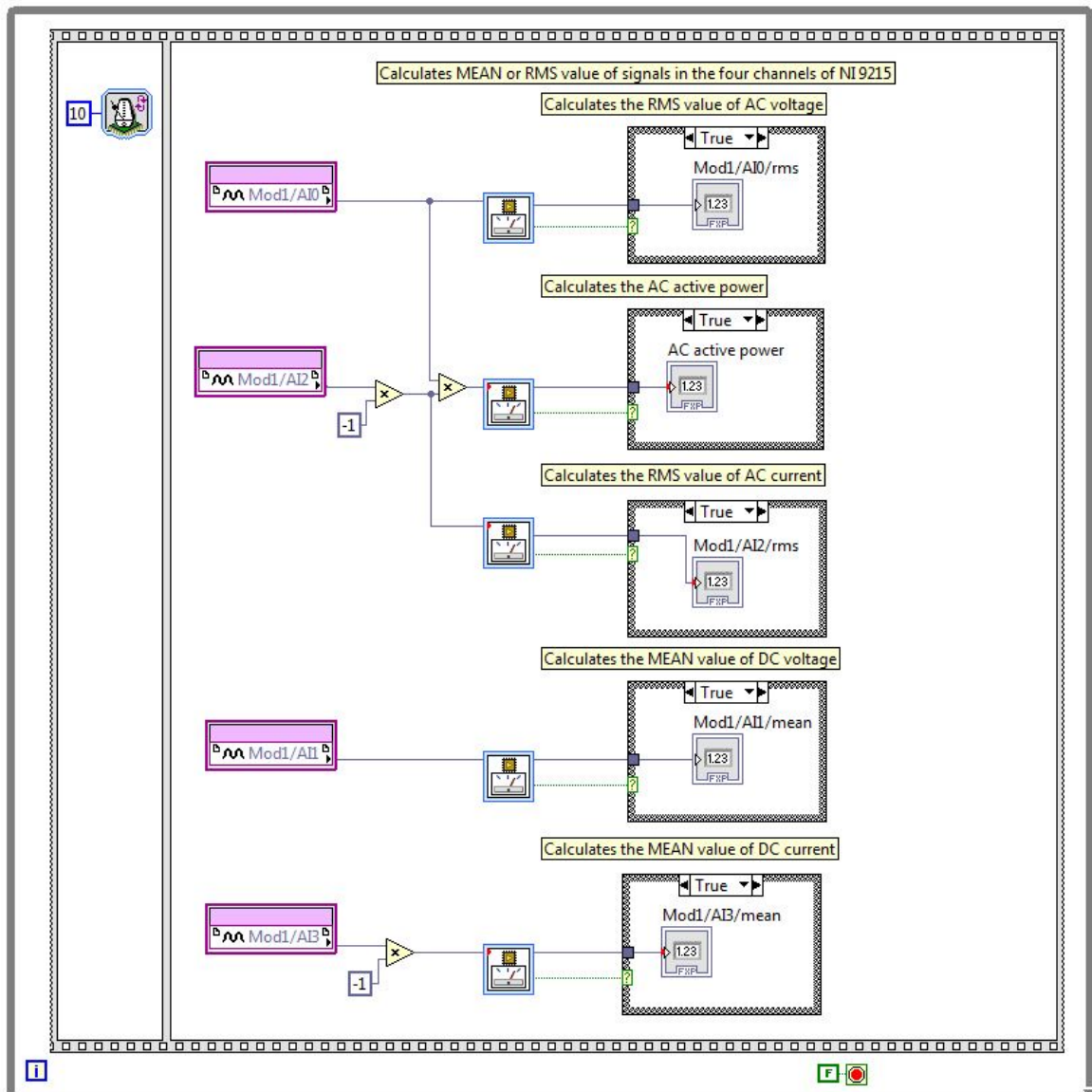


Figure 67 Boucle permettant le calcul des valeurs moyennes et RMS des canaux de la carte NI 9215 ainsi que de la puissance active.

La FPGA offre une fonction (voir Figure 68), représentée avec un cadran à aiguille et un cadre bleu ciel) permettant d'effectuer des opérations de traitement du signal.

Cette fonction est paramétrée de la manière suivante :

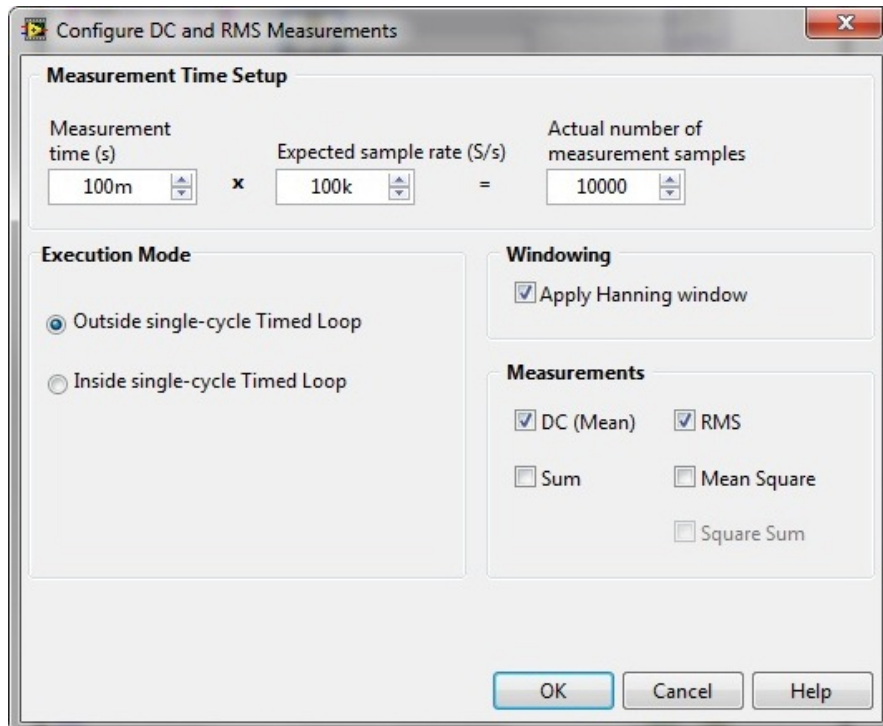


Figure 68 Paramétrage des fonctions « DC and RMS Measurements »

- 1) Measurement time : temps pendant lequel la mesure est effectuée, ici 100 [ms] (5 périodes du réseau électrique 50 [Hz]).
- 2) Expected sample rate (S/s): 100 [kS/s], ce qui correspond fréquence d'échantillonnage maximale de la carte d'acquisition.
- 3) Actual number of measurement samples : Correspond à la multiplication des deux paramètres précédents.
- 4) Execution Mode : Choisir de quelle façon s'exécute le calcul avec un clock interne à la fonction ou externe.
- 5) Windowing : Permet de sélectionner si la fenêtre de Hanning doit être appliquée avant la mesure.
- 6) Measurements : Permet de sélectionner les valeurs retournées par cette fonction.

La fréquence d'échantillonnage de cette fenêtre est uniquement présente comme aide à l'utilisateur pour calculer le nombre de points nécessaires pour la moyenne. Le cadencement de cette fonction s'effectue de manière externe avec le métronome situé en haut à gauche de la boucle (réglés ici à 10 [μs], pour 100 [kHz]). De plus la boucle while est décomposée en deux zones avec une « flat structure » qui permet de choisir l'ordre dans lequel les opérations sont effectuées (ici le cadencement de la boucle avant le calcul des valeurs).

La puissance active côté réseau est calculée selon la formule suivante, qui définit la puissance active en alternatif :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) \cdot dt = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$$

Le « VI » situé sur la FPGA de l'appareil s'exécute en parallèle au « VI » du CPU. Les grandeurs présentes sur la FPGA peuvent être lues depuis le « VI » du CPU.

## 11.4 CPU

Le programme situé sur le CPU de l'appareil comprend l'ensemble de la programmation du banc de test. La programmation y est divisée en trois zones :

- 1) Traitement des mesures
- 2) Sécurité
- 3) Algorithme de test

Ces trois zones sont implémentée sous forme de boucle whiles qui s'exécutent en parallèle. Dans ce cas, elles sont toutes cadencées à 10 [Hz] (métronome 100 [ms]). Cette fréquence, bien que peu rapide, est encore cinq fois plus rapide que l'acquisition de l'enregistrement des données de test qui s'effectue à une fréquence de 2 [Hz]. Toutes les 0.5 [s] de nouvelles valeurs sont ajoutées au tableau de résultat, ce qui permet, de respecter la norme IEC 62660-1 [1] ( $\leq 30$  [s]).

De plus deux autres « VI » sont programmés sur le CPU afin d'éviter les tâches répétitives. Il s'agit d'un « VI » qui gère l'initialisation de l'onduleur et d'un autre qui gère les ordres de charge et de décharge.

### 11.4.1 Interface de communication

L'interface de communication bas niveau est réalisée en parallèle du travail de diplôme par Dominic Furrer. Il a créé des blocs permettant :

- 1) la connexion
- 2) La lecture des trames
- 3) L'écriture de trames

L'ensemble des blocs programmé est accessible, dans la fenêtre de programmation avec un clic droit. La figure suivante montre comment avoir accès à ces blocs.

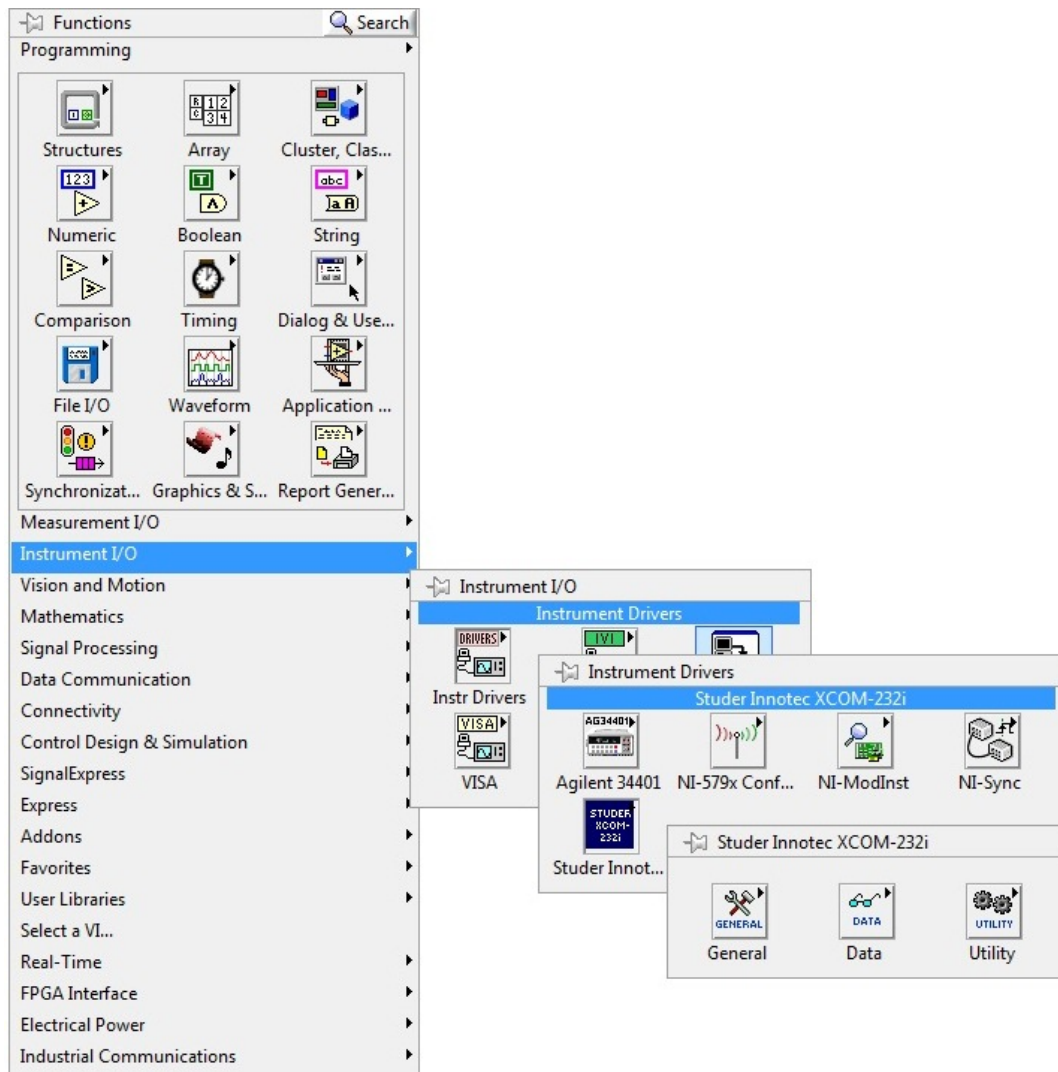
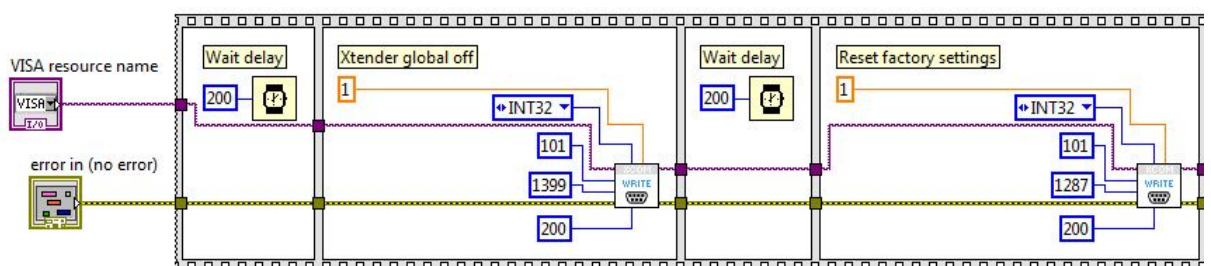


Figure 69 Accès aux drivers de l'onduleur

### 11.4.2 Initialisation de l'onduleur

L'onduleur, avant le test, est initialisé dans un état connu. Cette initialisation est réalisée avec le « VI » set test parameters décrit ci-après.

La figure suivante montre l'enchaînement de paramètres à envoyer à l'onduleur afin de le préparer au test.



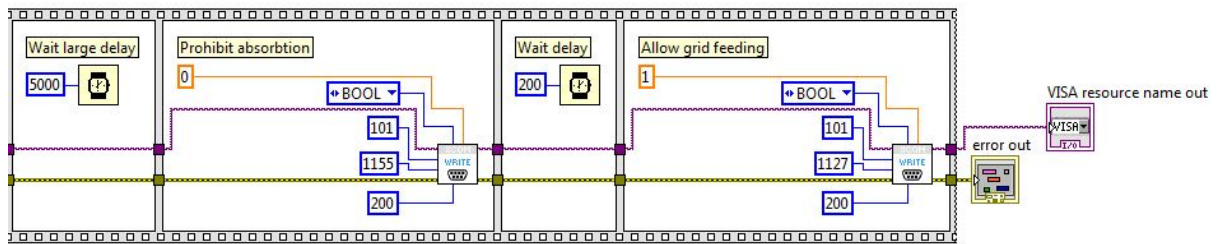


Figure 70 Séquence d'initialisation de l'onduleur

Les paramètres envoyés à l'onduleur sont résumés dans le tableau suivant :

| Ordre | Paramètre |                          | Description  |
|-------|-----------|--------------------------|--|
|       | Numéro    | Nom                      |  |
| 1     | 1399      | Global OFF of the system | Déclenche l'onduleur   |
| 2     | 1287      | Restore factory settings | Charge les paramètres d'usine afin de placer l'onduleur dans un état connu |
| 3     | 1155      | Absorption phase allowed | Interdit la phase d'absorption   |
| 4     | 1127      | Grid feeding allowed     | Autorise l'injection réseau  |

Tableau 5 Paramètres envoyés à l'onduleur pour le préparer au test

Un délai entre l'envoi de chaque paramètre est nécessaire pour garantir le bon fonctionnement. Ce délai est 200 [ms], sauf après la charge des paramètres d'usine de l'onduleur où il faut attendre 5 [s].

Ce « VI » comprend deux entrées et deux sorties visibles sur la figure suivante :

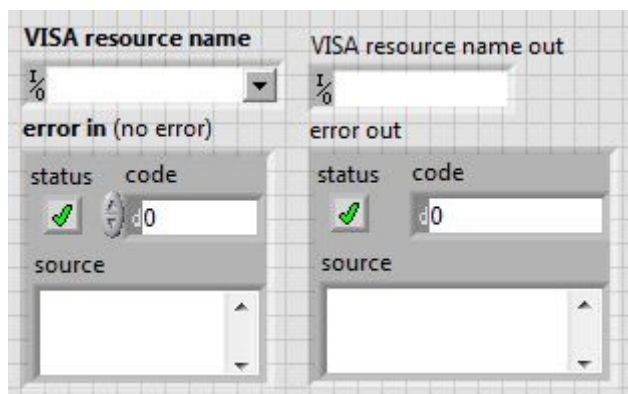


Figure 71 Panneau frontal du « VI » avec ses deux entrées (VISA in et error in) et ses deux sorties (VISA out et erreur out)

### 11.4.3 Charge et décharge

Pour simplifier les opérations de charge et de décharge, un « VI » est implémenté. La structure séquentielle suivante expose son fonctionnement :

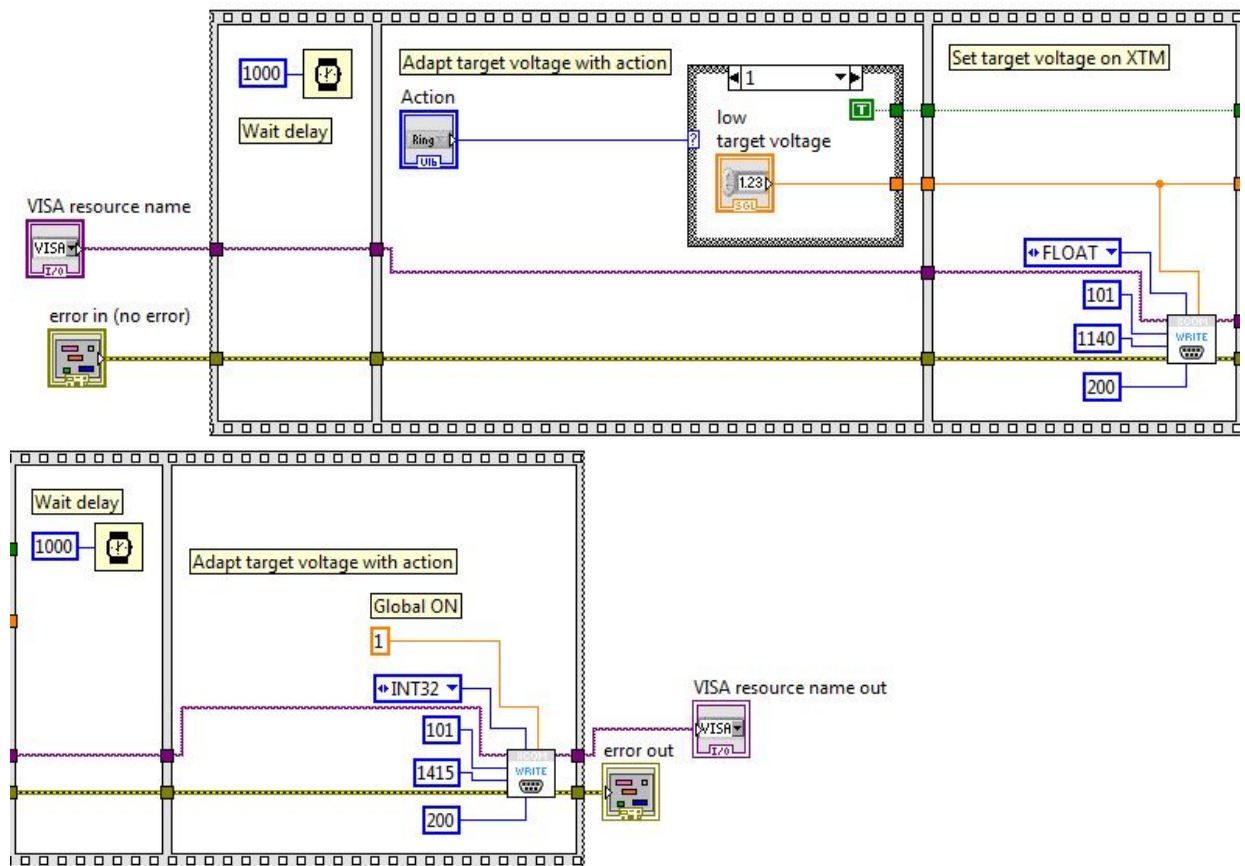


Figure 72 Séquence du « VI » de pilotage du mode de l'onduleur (charge et de décharge)

Les deux actions, charge et décharge, correspondent à un numéro 0 et 1. A l'aide d'une structure « switch case », la tension cible est sélectionnée entre les deux tensions seuil de la batterie (haute ou basse).

Le changement de cette tension, une fois le « VI » set test parameters appelé au préalable, contraint l'onduleur à changer de mode (charge ou décharge de la batterie).

L'onduleur est finalement enclenché avec le paramètre SCOM « global ON ».

#### 11.4.4 Traitement des mesures

Dans le « VI » principal, une boucle permet de compenser les gains sur les mesures. Cette boucle permet aussi de sélectionner le canal de mesure pour la tension DC et adapter le gain de cette grandeur en conséquence.

Les gains présents dans cette boucle sont calculés dans la partie calibration de ce document.

De plus, le module de la puissance réactive est calculé selon la formule suivante :

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Le  $\cos(\varphi)$  est calculé quant à lui avec la relation ci-dessous :

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S}$$

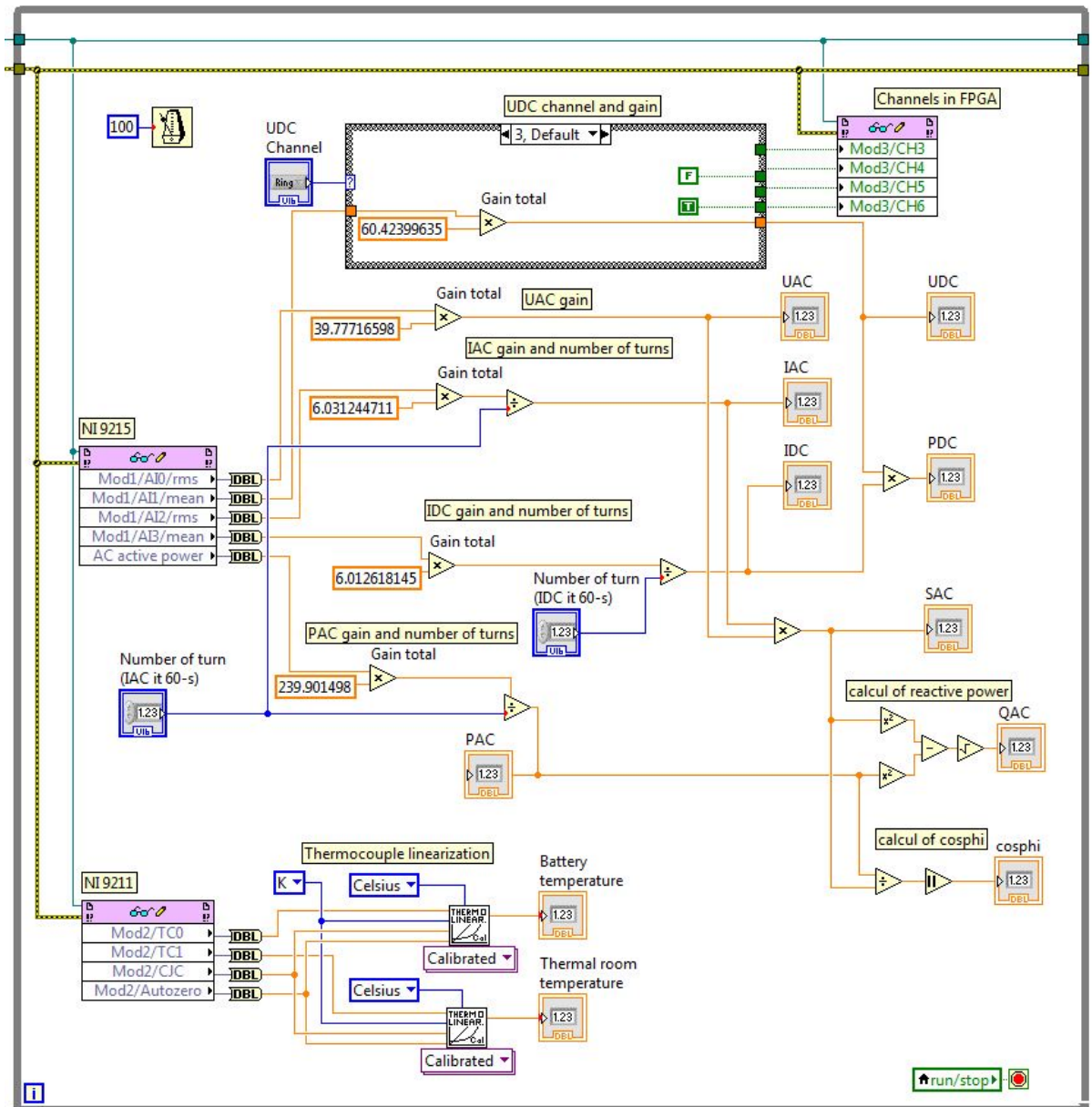


Figure 73 Boucle permettant de traiter les mesures de la FPGA avant leur utilisation dans l'algorithme de test

### 11.4.5 Sécurité

Dans cette boucle, les grandeurs limites dont le dépassement donne lieu à des problèmes sont contrôlées.

Chacune des conditions présentes dans la liste ci-dessous conduit à l'arrêt de l'onduleur et de la chambre thermique :

- La tension de la batterie est supérieure au seuil de sécurité maximum fixé par l'utilisateur
- Le courant de charge ou de décharge est supérieur au seuil de courant maximum fixé par la batterie.
- La tension de la batterie est inférieure au seuil de sécurité minimum fixé par l'utilisateur

- Le courant dans l'une des deux sondes de courant est supérieur au courant maximum supporté par les sondes (ici 60 [A]).
- La température de la batterie ou de la chambre thermique est trop élevée ( $> 45$  [°C]).

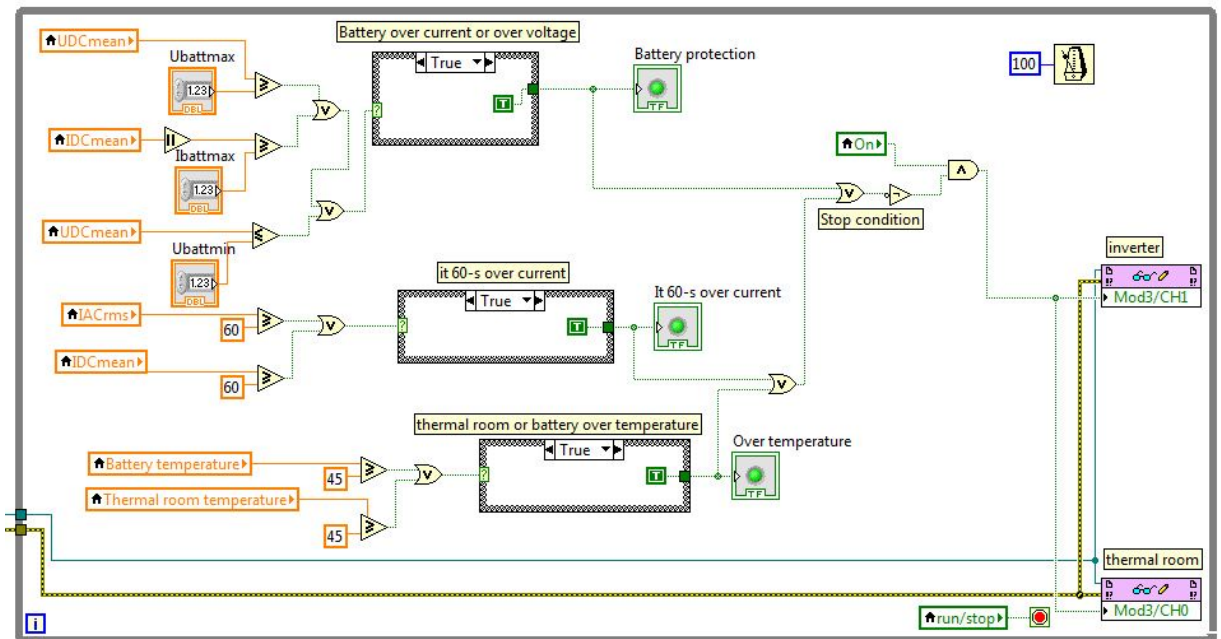


Figure 74 Boucle permettant d'arrêter l'onduleur et la chambre thermique en cas de problème

#### 11.4.6 Algorithme de test

L'algorithme de test, défini par la norme IEC 62660-1 [1], permet d'élaborer le Grafcet suivant. Ce Grafcet illustre le fonctionnement du programme implémenté. Il est important de relever le numéro de chaque étape qui correspond au numéro utilisé dans le programme.

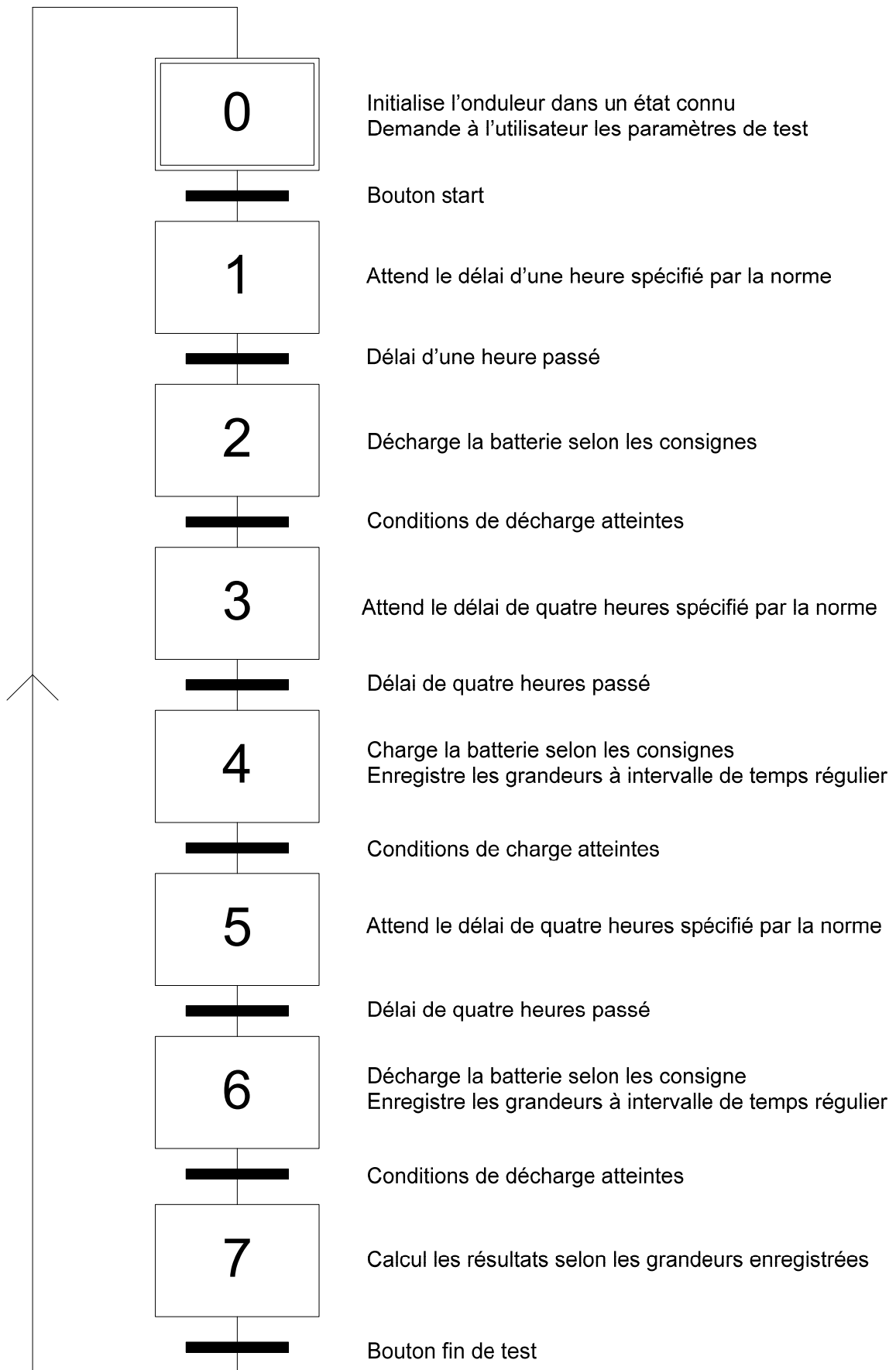


Figure 75 Grafcet du test de batteries

Une variable de type « entier » permet de stocker l'état dans lequel se trouve le test. Le numéro contenu dans cette variable spécifie l'étape du grafcet de la Figure 75.

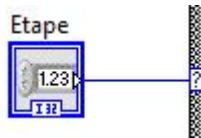


Figure 76 Variable du programme ou l'étape est stockée

Cette variable est liée à un « switch case », ce qui crée la structure du Grafcet. De plus, pour chaque étape une LED est illuminée sur l'interface homme-machine de façon à ce que l'utilisateur sache où le banc de test se situe dans la campagne de test.

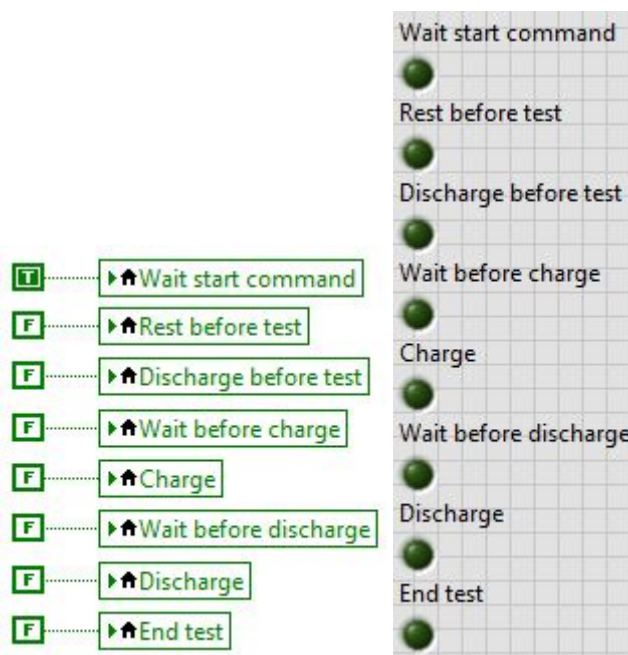


Figure 77 LEDs de situation dans la campagne de test

### Etape 0

Lors de la mise sous tension du banc de test, l'étape active est l'étape 0. La Figure 78 montre la structure séquentielle utilisée à cette étape.

Le « VI » set test parameters décrit plus haut est appelé et exécuté en premier.

Puis il est demandé à l'utilisateur d'entrer le courant maximum de charge de la batterie. Ce courant est directement transmis à l'onduleur. A ce moment-là, le programme entre dans une boucle while. Tant que l'utilisateur n'a pas confirmé cette tension avec le bouton correspondant sur l'interface homme-machine, la boucle continue à s'exécuter. Cette opération ainsi que toutes les autres sont suivies d'un délai de 200 [ms].

L'opération suivante consiste à demander à l'utilisateur le courant de décharge de la batterie. Cette opération est programmée de manière similaire à la précédente. En revanche, le paramètre de l'onduleur permettant de régler le courant de décharge est en fait le courant d'injection sur le réseau. Il convient alors d'adapter le courant entré par l'utilisateur avec un gain correspondant défini comme suit :

$$G_I = \frac{24}{230}$$

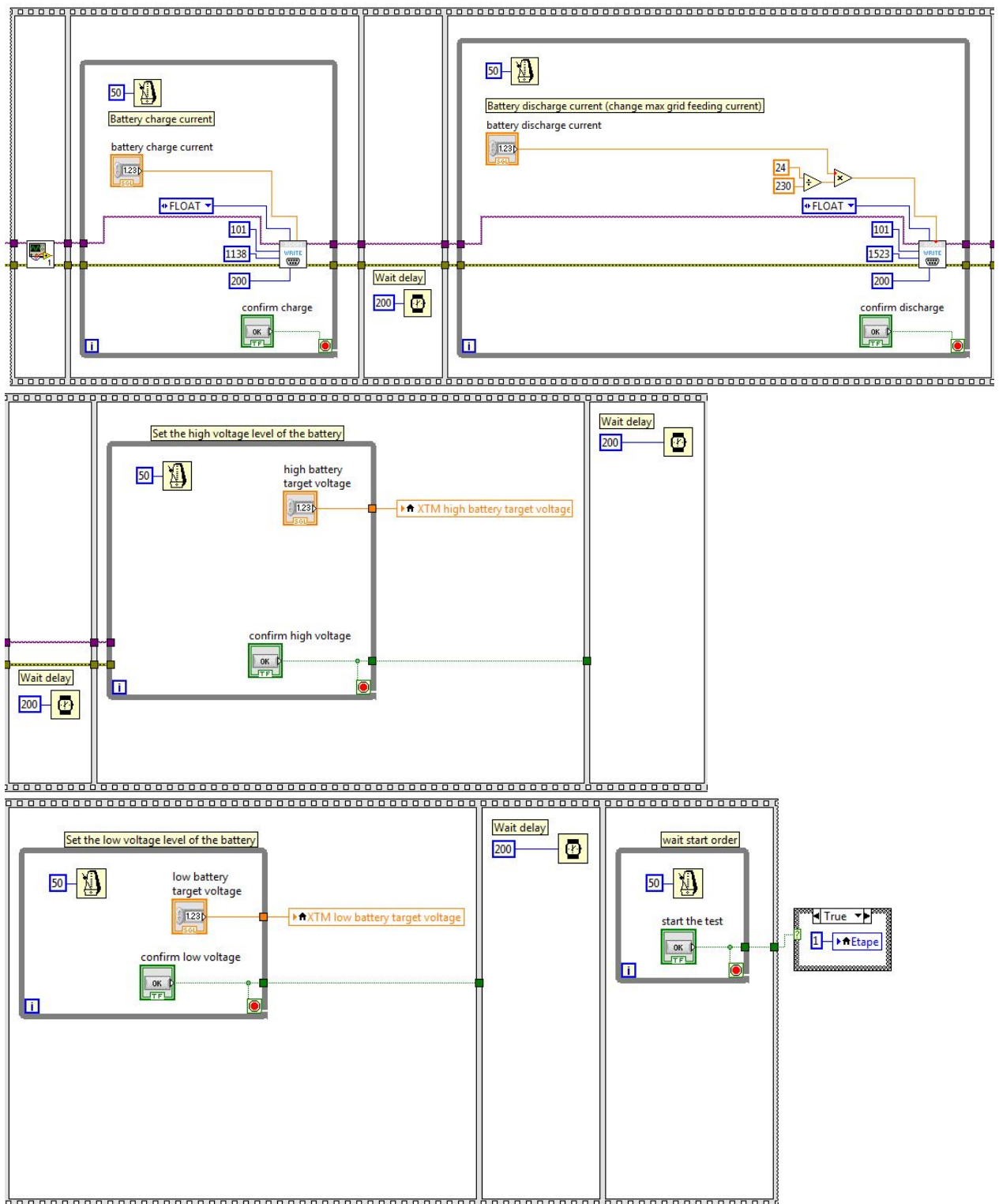


Figure 78 Etape 0, structure séquentielle contenant les opérations de préparation du test

Les tensions cibles de niveau haut et bas sont définies de la même manière. En revanche elles ne sont pas communiquées à l'onduleur tout de suite. En effet, c'est ce paramètre qui est utilisé comme consigne pour l'onduleur.

Finalement, une boucle while permet d'attendre l'ordre de l'utilisateur permettant le démarrage du test. La structure séquentielle ainsi terminée donne lieu au changement d'étape.

## Etape 1

Cette étape permet d'attendre une heure avant la première décharge de la batterie. Cette action est programmée comme le montre la figure suivante :

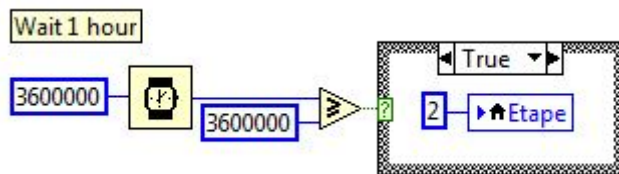


Figure 79 Etape 1, attente d'un délai d'une heure

La montre compte le nombre de millisecondes donné en entrée. Une heure représente 3'600'000 [ms]. Un fois ce temps atteint, l'horloge retourne le nombre de milliseconde. Cette valeur est comparée à une constante. Lorsque cette comparaison est vérifiée, une structure conditionnelle permet de passer à l'étape suivante.

## Etape 2

Cette étape correspond à la première décharge de l'accumulateur destinée à préparer l'accumulateur dans un état déchargé.

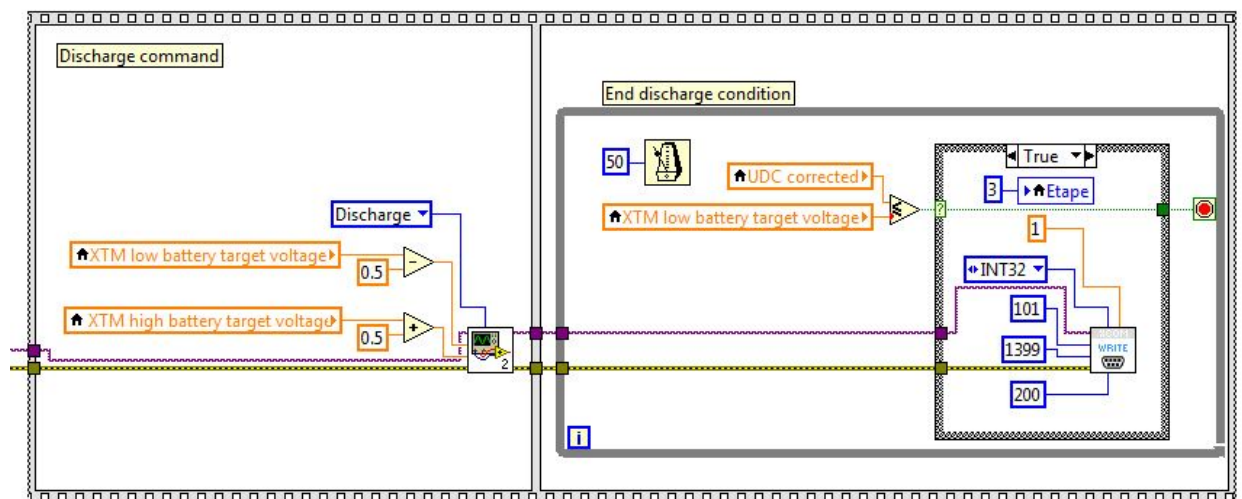


Figure 80 Etape 2 première décharge de l'accumulateur en début de test

Le « VI » de charge/décharge est appelé et exécuté en mode décharge. L'onduleur commence alors à décharger la batterie selon la tension consigne. Cette tension est volontairement décalée de 0.5 [V] de manière à ce que l'onduleur ne s'arrête pas de lui-même après avoir mesuré la tension cible sur la batterie.

Lorsque la tension de batterie mesurée par le CompactRIO a atteint la tension objectif, l'onduleur est arrêté avec le paramètre « global OFF ». La condition de fin de décharge permet aussi de passer à l'étape 3.

### Etape 3

Le délai de quatre heures de cette étape est programmé de manière analogue à l'étape 1 (voir Figure 81).

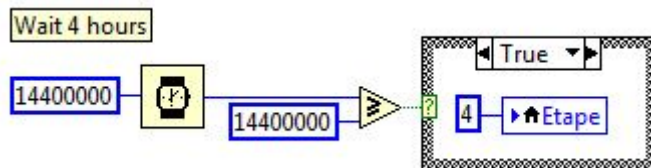


Figure 81 Etape 3, attente d'un délai de 4 heures

### Etape 4

Le « VI » de charge discharge est appelé et exécuté en mode charge (voir Figure 82). L'onduleur commence alors à charger la batterie selon la tension consigne. Cette tension est volontairement décalée de 0.5 [V] de manière à ce que l'onduleur ne s'arrête pas de lui-même après avoir mesuré la tension cible sur la batterie.

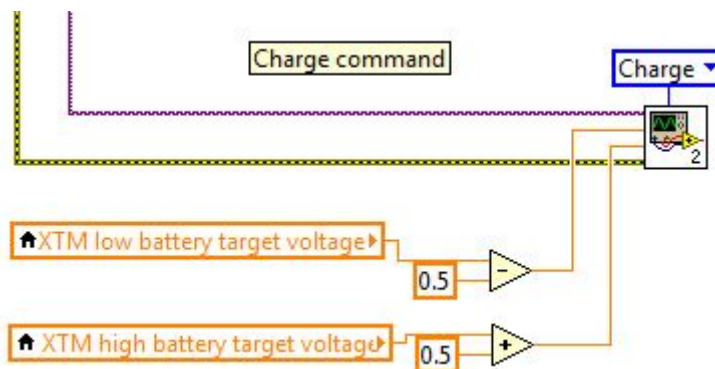


Figure 82 Etape 4, ordre de charge à l'onduleur

De plus une boucle while permettant d'enregistrer les grandeurs toute les 500 [ms] (voir Figure 83, métronome en haut à gauche) est lancée. Cette boucle comprend un registre à décalage. Lors de la première exécution, ce registre est initialisé avec un tableau de double (hors boucle). Puis après chaque exécution, une ligne contenant toutes les nouvelles valeurs de grandeurs à stocker y est ajoutée.

Une ligne de ce tableau comprend les grandeurs suivantes :

| Temps [s] | Uac rms [V] | Iac rms [A] | Pac active [W] | Udc mean [V] | Idc mean [V] | Pdc [W] | Q [Ah] | Wdc [Wh] | Wac [Wh] | Batt. Temp [°C] | Ch. Temp [°C] |
|-----------|-------------|-------------|----------------|--------------|--------------|---------|--------|----------|----------|-----------------|---------------|
|-----------|-------------|-------------|----------------|--------------|--------------|---------|--------|----------|----------|-----------------|---------------|

Tableau 6 ligne ajoutée toutes les 500 [ms] au tableau de résultat

Le temps est directement calculé à partir du nombre de cycles de la boucle avec la relation suivante :

$$t = i \cdot \frac{1}{2}$$

En effet la boucle s'exécute deux fois par seconde.

Les grandeurs suivantes sont directement enregistrées : Uac rms, Iac rms, Pac active, Udc mean, Idc mean, la température de la batterie et la température de la chambre climatique. Pour rappel, la puissance active est calculée sur la FPGA.

La puissance DC est calculée en multipliant Udc mean et Idc mean.

Les formules suivantes sont issues de la norme et permettent de calculer respectivement la charge, et l'énergie :

$$Q = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{\frac{3600}{s}}$$

$$W = \frac{I_1 \cdot U_1 + I_2 \cdot U_2 + \dots + I_n \cdot U_n}{\frac{3600}{s}}$$

Pour simplifier la tâche de l'automate, il est nécessaire d'utiliser les formules équivalentes suivantes :

$$Q = \frac{3600}{s} \cdot \sum_{k=1}^n I_k$$

$$W = \frac{3600}{s} \cdot \sum_{k=1}^n U_k \cdot I_k$$

A chaque ligne est ajouté le résultat de ces formules calculé en sommant les résultats de la ligne précédente à la nouvelle valeur. La constante d'intégration est 1/7200 puisque la fréquence d'échantillonnage est 2 [Hz].

En effet, l'automate prendrait trop de temps pour balayer le tableau dans son intégralité à la fin du test.

Ainsi, les valeurs Qdc, Wdc et Wac peuvent être ajoutée au tableau.

Lorsque le niveau de charge est atteint (détecté avec une comparaison de la tension de la batterie et la tension objectif), la boucle se termine.

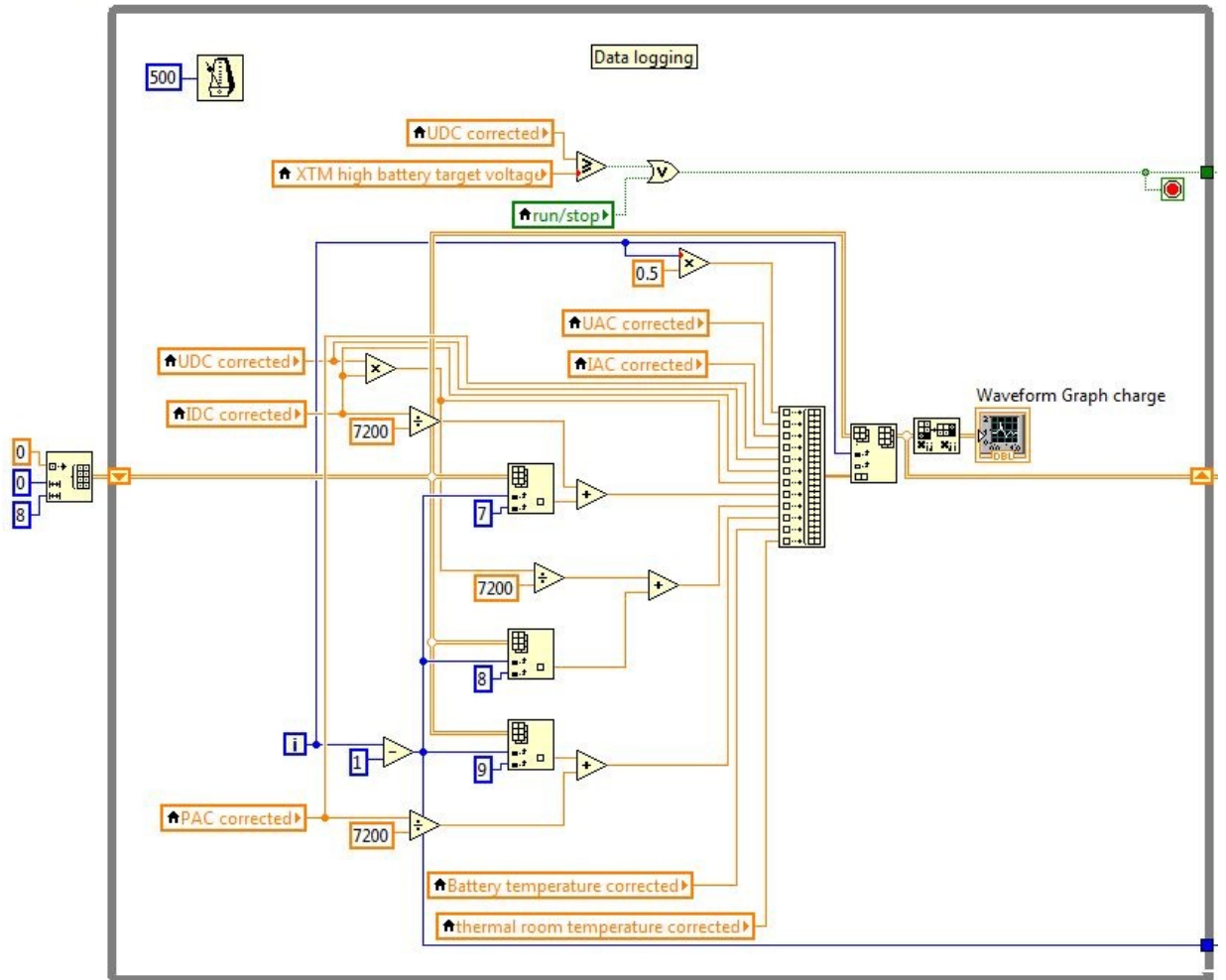


Figure 83 Etape 4, enregistrement et intégration des grandeurs dans un tableau

Le tableau de sortie de cette boucle est enregistré (voir Figure 84). La charge injectée dans la batterie est lue dans le tableau puis affichée sur l'interface homme-machine. Finalement, l'onduleur est arrêté et le programme passe à l'étape suivante.

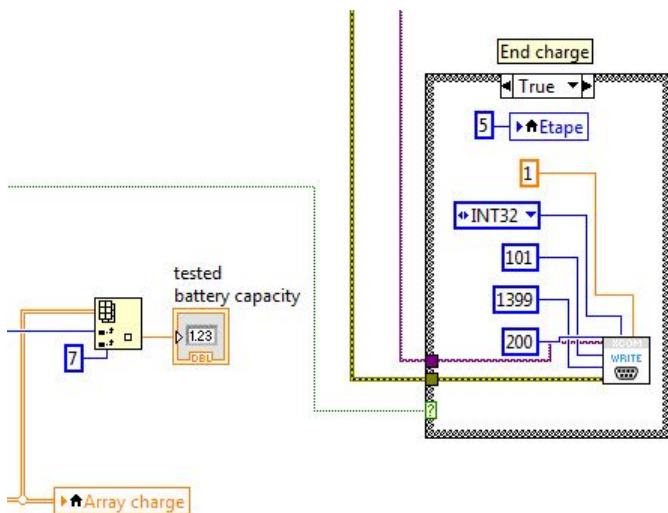


Figure 84 Etape 4, enregistrement du tableau de résultat, changement d'étape et arrêt de l'onduleur

## Etape 5

Cette étape est identique à l'étape 3. La figure suivante montre la programmation de cette étape.

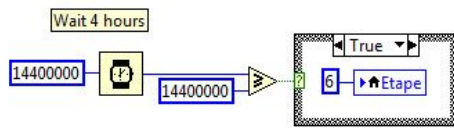


Figure 85 Etape 5, attente d'un délai de 4 heures

## Etape 6

Cette étape est identique à l'étape 4 sauf qu'il s'agit dans ce cas d'une décharge de la batterie. L'ordre de décharge est envoyé avec le « VI » charge discharge (voir Figure 86).

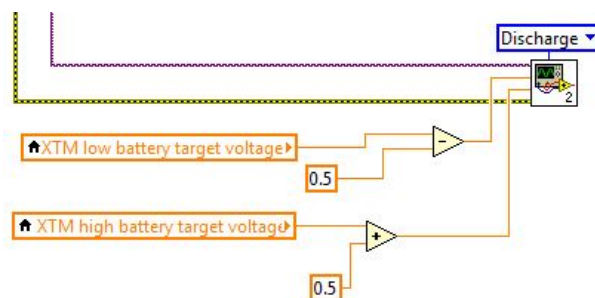


Figure 86 Etape 6, ordre de décharge à l'onduleur

Le fonctionnement du datalogger est similaire à celui de la charge (étape 4).

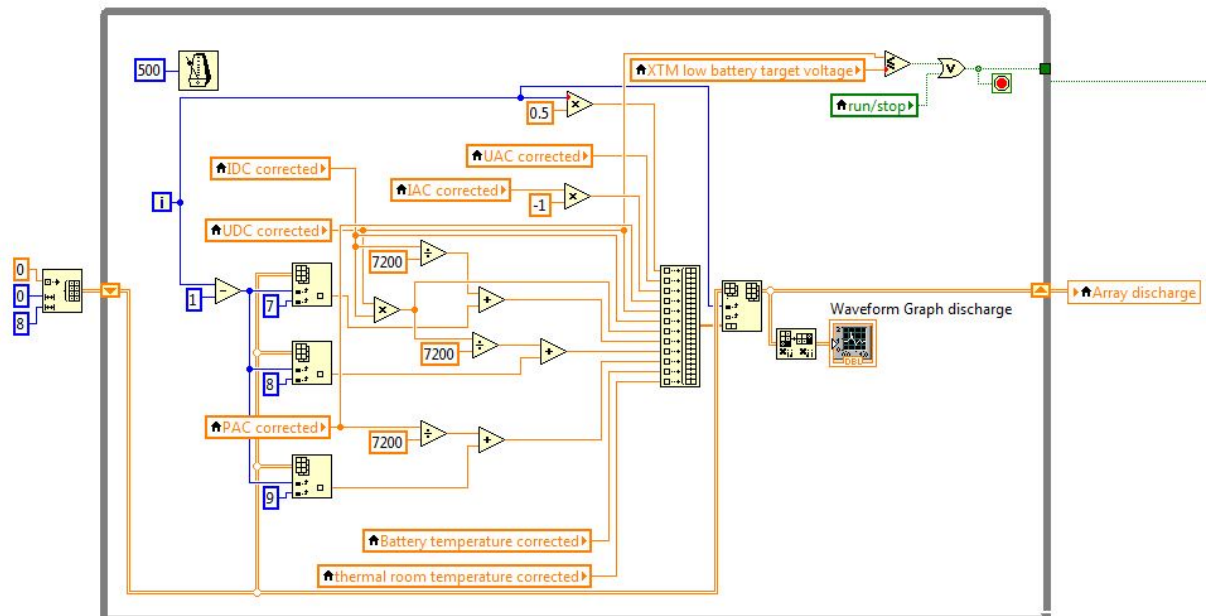


Figure 87 Etape 6, « datalogging » similaire à l'étape 4

Une fois la tension basse de seuil atteinte, l'onduleur est arrêté et le programme passe à l'étape 7.

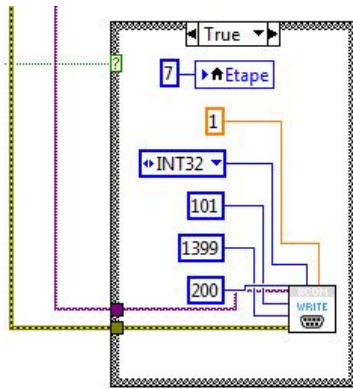


Figure 88 Etape 6, arrêt de l'onduleur et passage à l'étape 7

### Etape 7

En premier lieu, l'alimentation de l'onduleur ainsi que de la chambre climatique sont coupées via leurs relais.

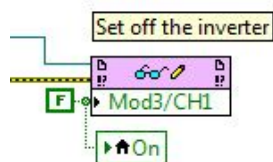


Figure 89 Etape 7 arrêt de la chambre climatique et de l'onduleur

Puis les résultats sont calculés à partir des tableaux enregistrés au cours du test aux étapes 4 et 6.

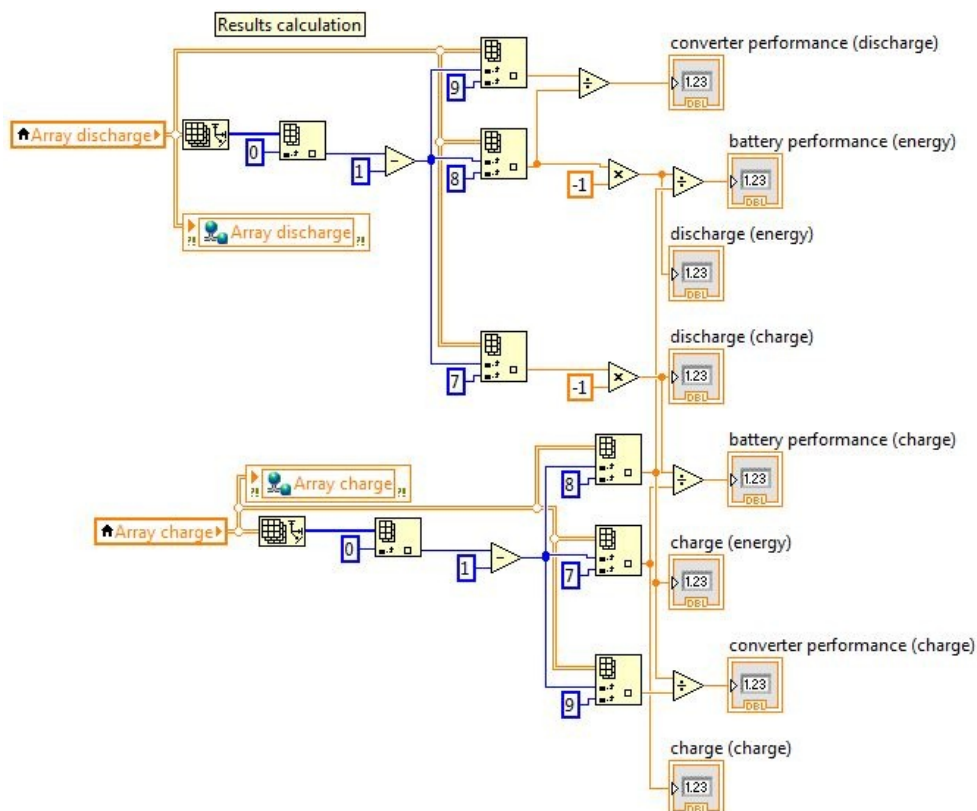


Figure 90 Etape 7, calcul des résultats finaux

Pour effectuer un nouveau test, il est possible de revenir à l'étape initiale avec le bouton de quittance.

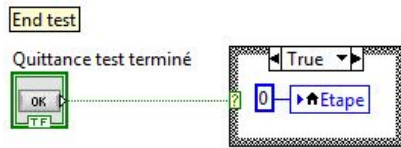


Figure 91 Etape 7, retour à l'étape initiale avec le bouton quittance

## 11.5 PC, IHM

L'ensemble du programme ainsi que l'interface homme-machine est implémenté sur l'automate CompactRIO. L'écran de l'ordinateur permet d'afficher l'interface homme-machine de l'automate. Un seul « VI » est lancé depuis le PC, il permet d'effectuer une copie des résultats fournis par le CompactRIO sur l'ordinateur.

### 11.5.1 Transfert de données entre le CompactRIO et l'ordinateur

Les résultats des tests, sous forme de tableaux, sont immédiatement copiés par l'algorithme de test dans des variables publiques (Network Published). Ces variables sont stockées dans le compactRIO comme le montre la figure suivante :

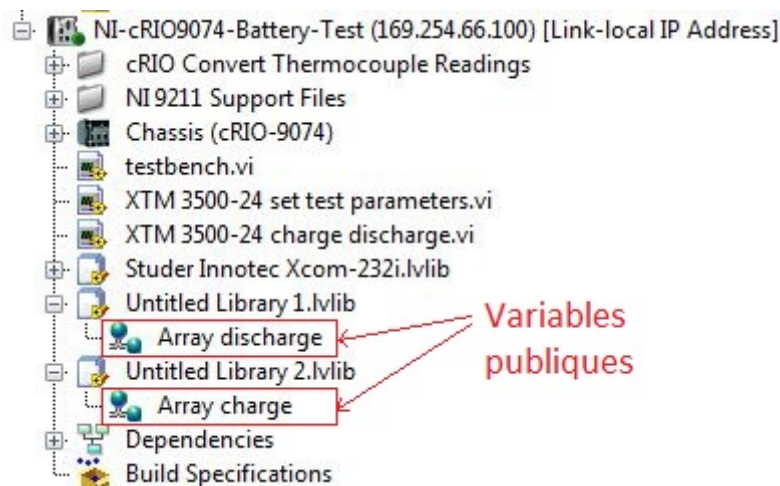


Figure 92 Emplacement des variables publiques permettant le transfert de données entre le PC et le CompactRIO

Ces variables doivent avoir pour type de données un tableau à deux dimensions contenant des doubles. La figure suivante présente le paramétrage de ces variables.

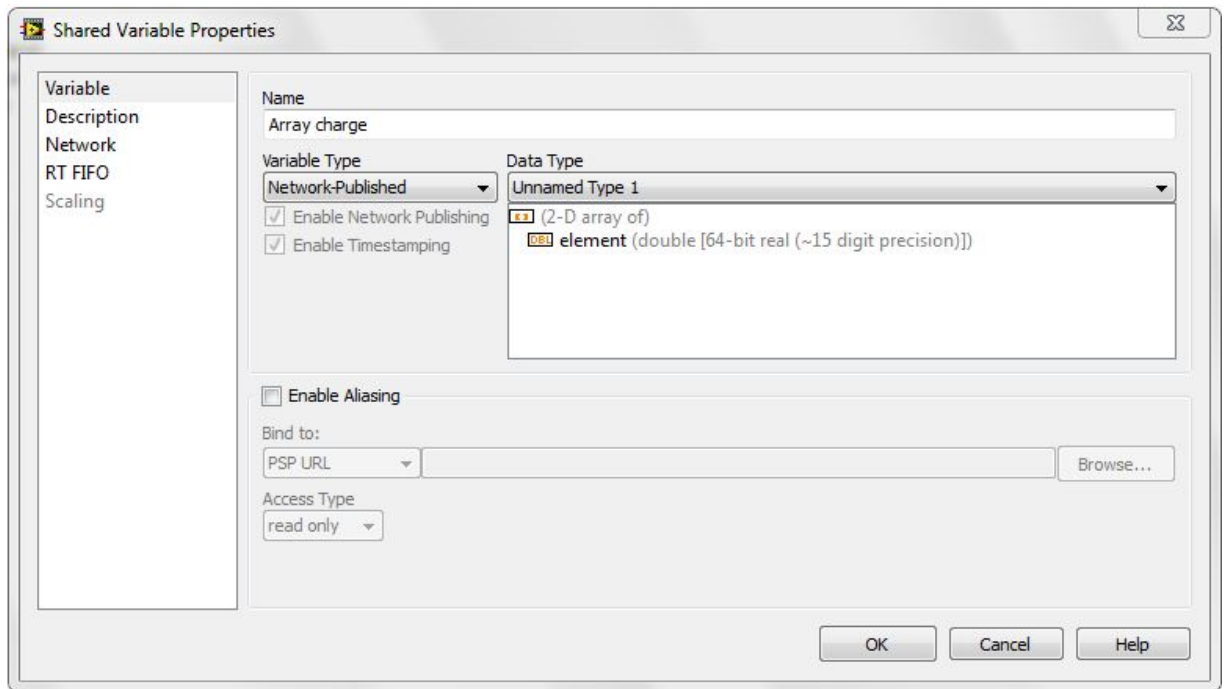


Figure 93 Paramétrage des variables publiques contenant les résultats

Le « VI » présent sur le PC permettant de copier les tableaux publics décrits ci-dessus comprend simplement deux blocs de création de fichiers sur l'ordinateur. La figure suivante montre son fonctionnement :

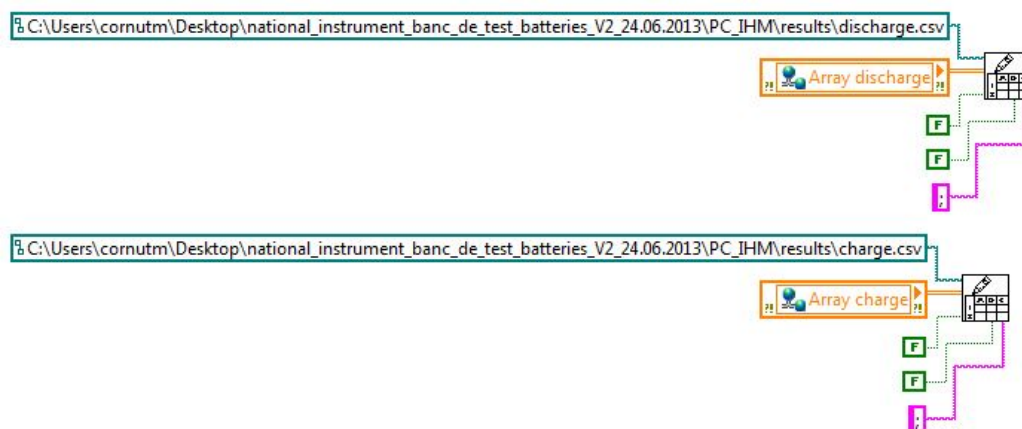


Figure 94 « VI » implémenté sur le PC permettant de créer les deux fichiers de résultats

## 11.5.2 Interface homme-machine

Dans ce chapitre, il est question de la présentation de l'interface homme-machine. Elle se divise en diverses zones délimitées par des rectangles. Les principales caractéristiques de ces zones sont détaillées ci-après.

### Mesures

Cette zone présente les grandeurs mesurées et normalisées (gain adapté). Il est impératif pour les mesures de courant de mentionner le nombre de tours du conducteur dans les sondes.

De plus, pour la tension DC, il est nécessaire d'utiliser le bon canal de mesure. Si la tension mesurée dépasse la valeur du canal, la valeur affichée représente la saturation de la carte de mesure.

The figure shows three stacked software panels for measurements:

- Measures AC** (Unity : V,A,W,VA,Var):
  - Parameters: UACrms, IACrms, PAC, mod SAC, mod QAC, cosphi. All display 0.
  - Number of turn (IAC it 60-s): A slider set to 2.
- Measures DC** (Unity : V,A,W):
  - Parameters: UDCmean, IDCmean, PDC. All display 0.
  - UDC Channel: A dropdown menu showing 'Channel 50 V'.
  - Number of turn (IDC it 60-s): A slider set to 2.
- Measures temperature** (Unity : °C):
  - Parameters: Battery temperature, Thermal room temperature. Both display 0.

Figure 95 Affichage des mesures et champs permettant de donner le nombre de tours

**Remarque :** l'amplificateur INA128 situé sur le PCB comprend une sécurité jusqu'à 40 [V]. Cependant, il est impératif de connaître la tension mesurée et de sélectionner le bon canal avant le démarrage du « VI » de test. L'amplificateur ne résiste pas à une tension supérieure à 40 [V].

### Paramètres de sécurité

Cette fenêtre permet d'afficher l'état des sécurités. Il est ici possible de régler certains seuils.

The 'Security parameters' panel (Unity : V,A) displays the status of four safety features and allows setting their limits:

- On**: Indicated by a green light.
- Over temperature**: Indicated by a red light.
- It 60-s over current**: Indicated by a red light.
- Battery protection**: Indicated by a red light.
- Adjustable limits**:
  - Ubattmax: A slider set to 30.
  - Ibattmax: A slider set to 30.
  - Ibattmin: A slider set to 20.

Figure 96 Affichage des alarmes et réglage des valeurs limites

### Bouton d'arrêt du programme

Ce bouton permet d'arrêter le programme en fin de test mais ne doit pas être considéré comme un arrêt d'urgence. En effet, un certain temps est nécessaire pour que l'arrêt soit effectif. De plus ce bouton est piloté depuis le PC, qui n'est pas un appareil fiable.



Figure 97 bouton d'arrêt du programme

### Paramètres de test de la batterie

Cette fenêtre permet de sélectionner les courants imposés pour la charge et la décharge de l'accumulateur. C'est dans cette fenêtre que sont réglées les tensions objectives caractérisant l'arrêt de l'onduleur et le changement de phase de test.

| Battery parameters          |      | Unity : V,A                             |
|-----------------------------|------|---|
| battery charge current      | 10   | confirm charge<br>OK                    |
| battery discharge current   | 10   | confirm discharge<br>OK                 |
| high battery target voltage | 27.6 | confirm high voltage<br>OK              |
| low battery target voltage  | 23.4 | confirm low voltage<br>OK               |
|                             |      | XTM high battery target voltage<br>23.5 |
|                             |      | XTM low battery target voltage<br>0     |

Figure 98 Sélection des paramètres de test de la batterie

### Situation dans la campagne de test

Cette fenêtre affiche l'ensemble des étapes de l'algorithme de test. L'étape en cours est représentée par une LED allumée et le numéro de cette étape est affiché dans la case étape.

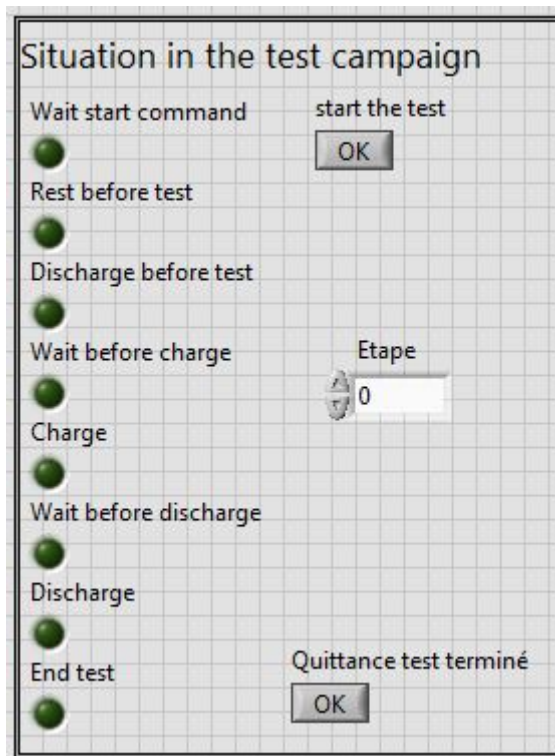


Figure 99 Affichage de la situation dans la campagne de test

### Graphique de charge et de décharge

Les deux graphiques permettent d'afficher les grandeurs mesurées au cours des phases de test.

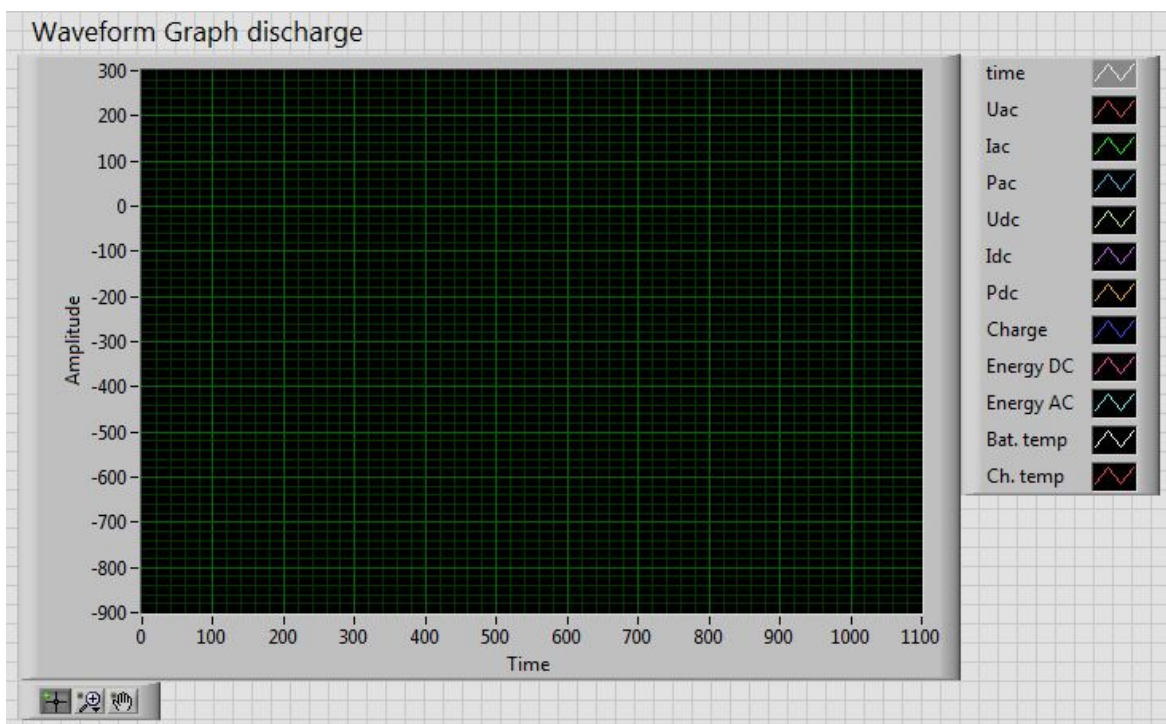


Figure 100 Graphique des données de charge

## Résultats

Une fois le test terminé, les résultats attendus sont proposés dans cette fenêtre.

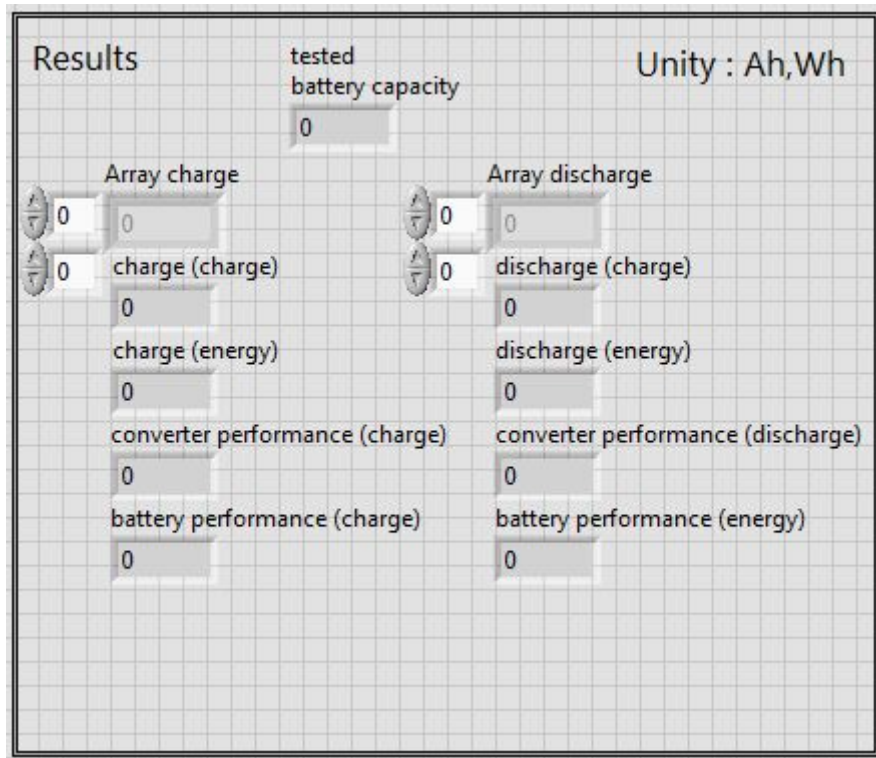


Figure 101 Affichage des résultats

## 12 MODE D'EMPLOI DE LA PLATEFORME DE TEST

Le mode d'emploi ci-dessous fait référence aux explications précédentes, notamment à celles de l'interface homme-machine.

### 12.1 Hardware

Il est important d'effectuer les étapes ci-dessous dans l'ordre indiqué :

- 1) S'assurer que le commutateur principal sur le côté soit en position « off »
- 2) S'assurer que le bouton d'arrêt d'urgence sur la face avant soit en position normale (non appuyé)
- 3) Si ce n'est pas déjà le cas, brancher le banc de test avec son câble d'alimentation orange sur une prise où il est possible de tirer plus de 16 [A]
- 4) Ouvrir l'armoire électrique et armer les deux disjoncteurs situés en haut à gauche
- 5) Fermer l'armoire électrique à l'aide de la clef prévue à cet effet
- 6) Brancher la chambre climatique (si utilisée) à la prise située sur le flanc de l'armoire électrique.
- 7) Présenter deux batteries 12 [V] montée en série ou une batterie 24 [V].

- 8) Brancher l'accumulateur ainsi formé au banc de test en respectant les polarités (rouge + et noir -). S'assurer que la sonde de tension (câble gris) est correctement relié aux batteries (1 +, 2 -).
- 9) Allumer l'ordinateur du banc de test et s'assurer que le câble réseau de l'armoire électrique y soit connecté.
- 10) Mettre sous tension le banc de test avec le commutateur principal.

## 12.2 Software

- 11) Effectuer, si ce n'est pas déjà le cas, le changement d'adresse IP de l'ordinateur selon le paragraphe dédié et la Figure 60.
- 12) Lancer le projet LabVIEW du test
- 13) Ouvrir le « VI » testbench sans le lancer
- 14) Sur la face avant régler le nombre de passages des conducteurs dans les sondes
- 15) Régler les paramètres liés à la sécurité
- 16) Vérifier que l'étape soit 0, si ce n'est pas le cas, effectuer le changement
- 17) Lancer le « VI » avec la flèche située en haut à gauche
- 18) Rentrer les paramètres de tests de la batterie en partant de haut en bas. Après chaque entrée, confirmer par la touche correspondante
- 19) Lancer le test avec le bouton start the test
- 20) La batterie est dès lors testée, la durée théorique du test est 39 [h] pour une batterie 110 [Ah] avec un courant de charge et décharge de 10 [A].

## 12.3 Récupération des données

Une fois la dernière étape du test atteinte, lancer le « VI » situé sur le PC afin de sauvegarder les tableaux de résultats. Ces tableaux sont stockés dans le répertoire contenant le projet LabVIEW, sous IHM et results.

Si un problème survient il est possible d'exporter manuellement ces données en exportant les deux graphiques vers Excel. Si une erreur de connexion survient, les résultats restent sur le CompactRIO même après avoir relancé le « VI ».

## 13 CAMPAGNE DE TESTS

Pendant le travail de diplôme, il a été possible de tester une batterie au plomb, à température ambiante. L'accumulateur testé est une batterie utilisée pour le stockage d'énergie de type photovoltaïque. Cette batterie, la SP 110, est commercialisée par Studer Innotec à Sion.

Plusieurs tests sont effectués une fois le banc de test opérationnel de manière à en vérifier le fonctionnement (voir annexe 17). Dès que les résultats sont devenus concluants, la priorité a été de calibrer le banc de test. C'est pourquoi seul trois tests sont réalisés.

Les résultats pour cette batterie ne sont pas encore définitifs mais offrent néanmoins un premier aperçu du fonctionnement du banc de test et un premier résultat. Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

| Test | Courant de charge [A] | Courant de décharge [A] | Tension seuil minimum [V] | Tension seuil maximum [V] | Charge induite [Ah] | Charge récupérée [Ah] | Energie induite [Wh] | Energie récupérée [Wh] | Rendement (charge) | Rendement (énergie) |
|------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------|---------------------|
| 1    | 20                    | 20                      | 23.4                      | 27.6                      | 12.791              | 10.370                | 343.216              | 246.675                | 0.811              | 0.719               |
| 2    | 10                    | 10                      | 23.4                      | 27.6                      | 29.1002             | 26.5978               | 773.749              | 638.362                | 0.914              | 0.825               |
| 3    | 5                     | 5                       | 23.4                      | 27.6                      | 17.3579             | 11.6266               | 450.678              | 278.097                | 0.670              | 0.617               |

Tableau 7 Résultats des tests de la batterie SP110

## 14 CONCLUSION

Au terme du travail de diplôme, les objectifs du cahier des charges sont tous atteints :

- Le banc de test est conçu et la documentation demandée (schémas électriques, plateforme de programmation et interface homme machine) est fournie.
- La plateforme est réalisée dans la pratique, câblée et les tests de base sont implémentés.
- Une campagne d'essais avec un type de batterie (SP 110) est réalisée.
- Le mode d'emploi de la plateforme de test fait partie de ce rapport.
- Ce document comprend les résultats de la campagne de tests réalisée

Cependant, il est encore possible, avec un délai supplémentaire, d'optimiser la plateforme d'essais. Le résultat obtenu lors du travail de diplôme sert de base pour, dans le futur, l'implémentation de tests plus sophistiqués.

Les tests de batteries doivent être effectués à nouveau car les résultats obtenus ne sont pas suffisamment fiables et satisfaisants. En effet les essais réalisés étaient principalement nécessaires pour tester le bon fonctionnement du dispositif d'essais plutôt que pour tester une batterie. La dernière version du banc de test est calibrée et les problèmes des premiers essais sont résolus. Les résultats attendus devraient être meilleurs pour les prochains tests. Il est aussi nécessaire d'effectuer des essais aux diverses températures proposées par la norme de façon à en connaître l'influence.

Le problème du stockage d'énergie, décentralisé ou non, est actuel. De grandes entreprises s'intéressent toujours plus à la perspective de pouvoir stocker l'énergie au lieu de production.

Les particuliers informés s'y intéressent également car il leur est possible de stocker leur énergie directement chez eux. Il leur sera alors possible de gérer leur production, leur stockage et leur consommation, ce qui leur permettra d'économiser de l'énergie et donc de l'argent.

Ce projet est un pas dans cette direction et mérite d'être poursuivi et amélioré de façon à apporter une réponse à chaque question liée aux performances des batteries.

Sion, le 12.07.2012

Cornut Mathias



## 15 REMERCIEMENTS

Je tiens personnellement à remercier les personnes suivantes qui ont réalisé certaines tâches liées à ce travail.

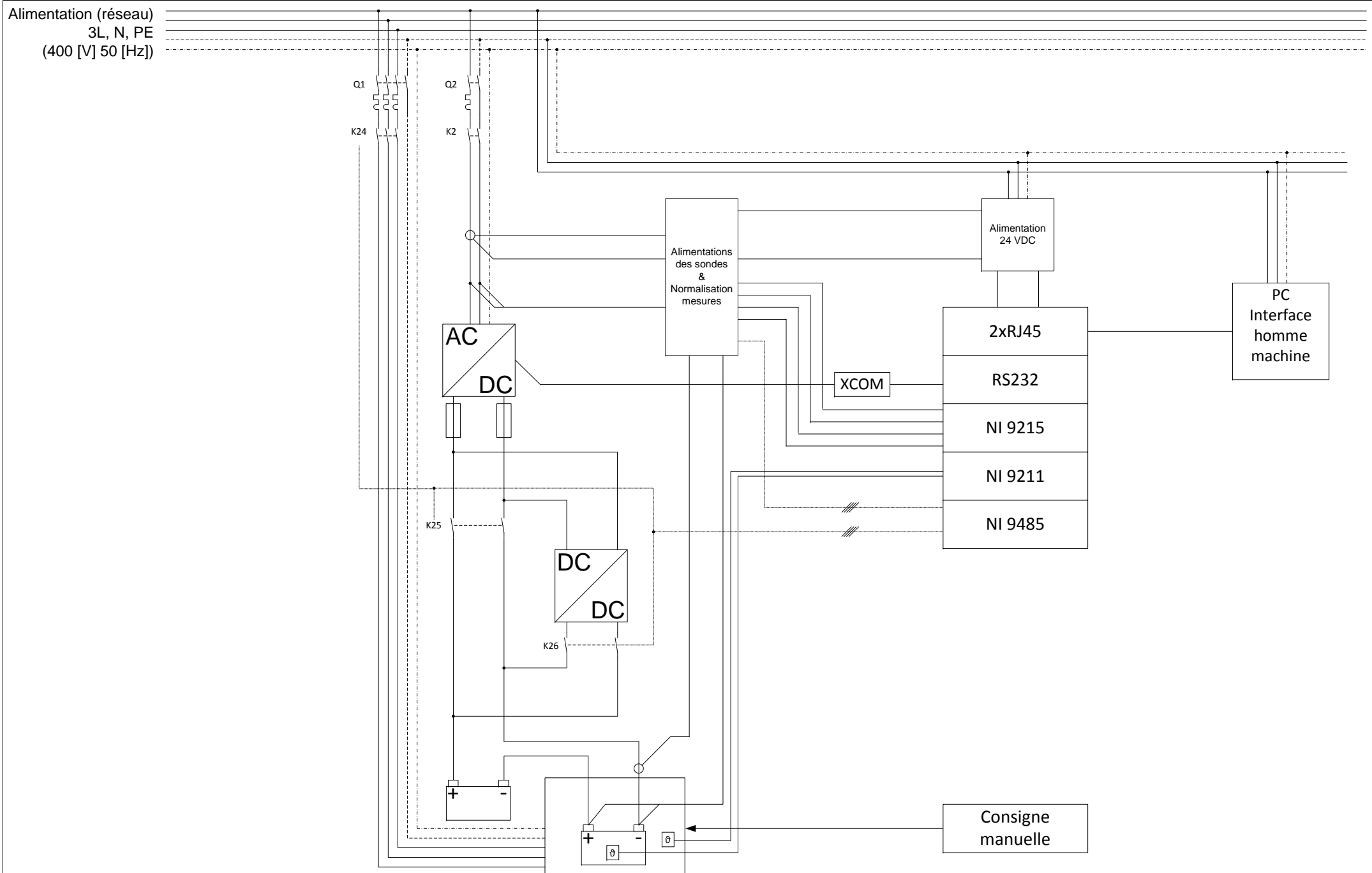
- Dominic Furrer, assistant et collaborateur scientifique, qui a réalisé sous LabVIEW une interface permettant la gestion des trames de la communication série à un plus haut niveau.
- Carmine Arcudi, assistant et collaborateur scientifique, qui a réalisé le routage du PCB de mesure.
- Christian Costa, adjoint scientifique et responsable de laboratoire, qui a effectué le bon suivi des commandes.
- Aldo Vaccari, adjoint scientifique, pour les conseils lors du choix du matériel NI et la réponse à certaines questions au sujet de la programmation.
- Pierre-Olivier Moix, adjoint scientifique, pour les conseils au niveau de l'utilisation de l'onduleur Studer Innotec XTM 3500-24.

## 16 BIBLIOGRAPHIE

- [1] International Electrotechnical Commission, IEC 62660-1, 1.0 éd., vol. 1, International Electrotechnical Commission, 2010, p. 75.
- [2] D. Roggo, «Données du travail de diplôme,» Sion, 2013.
- [3] Studer Innotec, «Xtender, appareil combiné onduleur, chargeur de batterie et système de transfert,» Sion, 2012.
- [4] Studer Innotec, «Commande à distance et module de programmation RCC-02 et RCC-03 pour Xtender,» Sion, 2013.
- [5] Studer Innotec, «Technical specification Xtender serial protocole,» Sion, 2013.
- [6] electrosuisse, «NIBT Norme installations à basse tension,» Lausanne, 2012.
- [7] Y. P. Marcel Jufer, Electrotechnique, base de l'électricité, Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 2012, p. 255.
- [8] e'mobile, «Ecocars 2013,» suisse énergie, 2013.
- [9] e'mobile, «Ecocars 2012,» energie schweiz, 2012.
- [10] «Saga web Education,» [En ligne]. Available: <http://www.hevs.ch/sagaweb>. [Accès le 08 03 2013].

## 17 ANNEXES

- 1) Norme IEC 62660-1
- 2) Schéma bloc du banc de test
- 3) Datasheet NI cRIO-9047
- 4) Datasheet NI 9215
- 5) Datasheet NI 9211
- 6) Datasheet NI 9485
- 7) Datasheet LEM it 60-s
- 8) Schéma électrique du banc de test
- 9) Plan d'implantation de l'armoire électrique
- 10) Schéma bloc du PCB électronique
- 11) Schéma électronique
- 12) Schéma de routage du PCB
- 13) Schéma mécanique
- 14) Commandes et offres
- 15) Datasheet de l'amplificateur INA128
- 16) Calibration
- 17) Graphiques des tests
- 18) Architecture de la programmation



Last Revised: 2011-05-18 10:19:47.0

## CompactRIO Integrated Systems with Real-Time Controller and Reconfigurable Chassis

### NI cRIO-907x



- Integrated CompactRIO systems with a reconfigurable FPGA chassis and embedded real-time controller
- Lower-cost systems for high-volume OEM applications
- Up to 2M gate reconfigurable FPGA
- 4 or 8 slots for C Series I/O modules
- Up to 400 MHz real-time processor
- Up to 256 MB DRAM memory, 512 MB of nonvolatile storage
- Up to two 10/100BASE-TX Ethernet ports with built-in FTP/HTTP servers and LabVIEW remote panel Web server
- RS232 serial port and available USB port for peripheral devices

### Overview

NI cRIO-907x integrated systems combine an industrial real-time controller and reconfigurable field-programmable gate array (FPGA) chassis for industrial machine control and monitoring applications. The NI cRIO-9074 integrated system features an industrial 400 MHz real-time processor and an eight-slot chassis with an embedded, reconfigurable 2M gate FPGA chip. The new NI cRIO-9076 integrated system contains a 400 MHz real-time processor, a four-slot chassis with an embedded, reconfigurable LX45 FPGA chip, and a high-speed USB port. Both systems feature built-in nonvolatile memory and a fault tolerant file system. The new four-slot NI cRIO-9075 and NI cRIO-9076 systems provide a cost-optimized solution for high volume deployments and OEM applications.

[Back to Top](#)

### Requirements and Compatibility

#### OS Information

VxWorks

#### Driver Information

NI-RIO

#### Software Compatibility

LabVIEW  
LabVIEW FPGA Module  
LabVIEW Professional Development System  
LabVIEW Real-Time Module

[Back to Top](#)

### Comparison Tables

| Product      | Module Slots | Processor Speed (MHz) | FPGA         | DRAM (MB) | Internal Nonvolatile Storage (MB) | 10/100BASE-TX Ethernet Port | RS232 Serial Port | Power Supply Input Range | USB Port |
|--------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------|----------|
| NI cRIO-9072 | 8            | 266                   | Spartan-3 1M | 64        | 128                               | yes                         | yes               | 19 to 30 VDC             | no       |
| NI cRIO-9073 | 8            | 266                   | Spartan-3 2M | 64        | 128                               | yes                         | yes               | 19 to 30 VDC             | no       |
| NI cRIO-9074 | 8            | 400                   | Spartan-3 2M | 128       | 256                               | yes (Dual)                  | yes               | 19 to 30 VDC             | no       |

| Product      | Module Slots | Processor Speed (MHz) | FPGA           | DRAM (MB) | Internal Nonvolatile Storage (MB) | 10/100BASE-TX Ethernet Port | RS232 Serial Port | Power Supply Input Range | USB Port |
|--------------|--------------|-----------------------|----------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------|----------|
| NI cRIO-9075 | 4            | 400                   | Spartan-6 LX25 | 128       | 256                               | yes                         | yes               | 9 to 30 VDC              | no       |
| NI cRIO-9076 | 4            | 400                   | Spartan-6 LX45 | 256       | 512                               | yes                         | yes               | 9 to 30 VDC              | yes      |

[Back to Top](#)

## Application and Technology

### System Configuration

These NI CompactRIO real-time controllers combine a four- or eight-slot reconfigurable chassis into an integrated system. The user-defined FPGA circuitry in the chassis controls each I/O module and passes data to the controller through a local PCI bus using built-in communication functions.

| Product      | FPGA           | Logic Cells | Multipliers | RAM (Kb) |
|--------------|----------------|-------------|-------------|----------|
| NI cRIO-9073 | Spartan-3 2M   | 46080       | 40          | 720      |
| NI cRIO-9074 | Spartan-3 2M   | 46080       | 40          | 720      |
| NI cRIO-9075 | Spartan-6 LX25 | 24051       | 38          | 936      |
| NI cRIO-9076 | Spartan-6 LX45 | 43661       | 58          | 2088     |

*FPGA Resource Comparison*

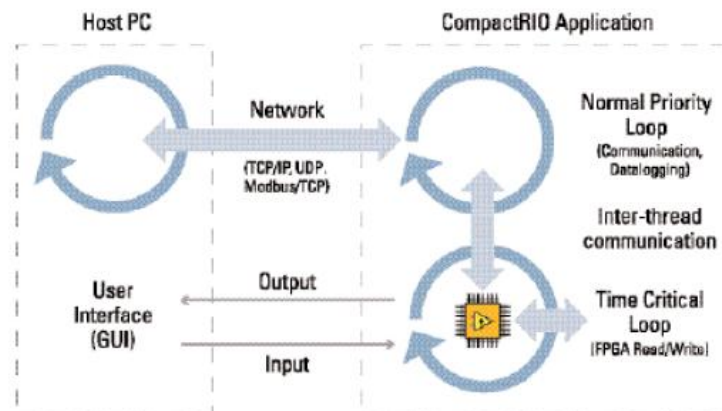
These systems also accept up to eight NI C Series I/O modules. A variety of I/O modules are available including voltage, current, thermocouple, RTD, accelerometer, and strain gage inputs; up to  $\pm 60$  V simultaneous sampling analog I/O; 12, 24, and 48 V industrial digital I/O; 5 V/TTL digital I/O; counter/timers; pulse generation; and high voltage/current relays.

The 10/100 Mbps Ethernet port allows for programmatic communication over the network and the cRIO-9074 features dual Ethernet ports, which allows for the use of one port for network communication to a host PC or enterprise system and the other port for expansion I/O (easily connect another CompactRIO system or another Ethernet-based device for additional I/O). The new cRIO-9076 also features a USB 2.0 port for data storage and connection to peripheral devices.

NI CompactRIOs have the ability to be synchronized with an SNTP time server on a network and the cRIO-9072, cRIO-9073, and cRIO-9074 also feature a built-in backup battery to maintain operation for the Real-Time Clock when external power is removed. The cRIO-9075 and cRIO-9076 do not contain a backup battery for the Real-Time Clock.

### Embedded Software

You can synchronize embedded code execution to an FPGA-generated interrupt request (IRQ) or an internal millisecond real-time clock source. The LabVIEW Real-Time ETS OS provides reliability and simplifies the development of complete embedded applications that include time-critical control and acquisition loops in addition to lower-priority loops for postprocessing, data logging, and Ethernet/serial communication. Built-in elemental I/O functions such as the FPGA Read/Write function provide a communication interface to the highly optimized reconfigurable FPGA circuitry. Data values are read from the FPGA in integer format and are then converted to scaled engineering units in the controller.



*CompactRIO Software Architecture*

Note: NI Scan Engine is not supported on the cRIO-9075 and cRIO-9076.

### Built-In Servers

In addition to programmatic communication via TCP/IP, UDP, Modbus/TCP, IrDA, and serial protocols, the CompactRIO controllers include built-in servers for Virtual Instrument Software Architecture (VISA), HTTP, and FTP. The VISA server provides remote download and communication access to the reconfigurable I/O (RIO) FPGA over Ethernet. The HTTP server provides a Web browser user interface to HTML pages, files, and the user interface of embedded LabVIEW applications through a Web browser plug-in. The FTP server provides access to logged data or configuration files.

## Ordering Information

For a complete list of accessories, visit the product page on [ni.com](http://ni.com).

| Products   | Part Number | Recommended Accessories   | Part Number |
|--|-------------|---|-------------|
| <b>NI cRIO-9072</b>  |             |   |             |
| <b>cRIO-9072 8-Slot Integrated 266 MHz Real-Time Ctrlr, 1M Gate FPGA</b><br>Requires:                          | 779998-01   | <b>Connector Block:</b> Screw Terminal - NI 9978 4-pos screw terminal power supply plugs (quantity 5)                                       | 196938-01   |
| <b>NI cRIO-9073</b>  |             |   |             |
| <b>cRIO-9073 8-Slot Integrated 266 MHz Real-Time Ctrlr, 2M Gate FPGA</b><br>Requires:                          | 780471-01   | <b>Connector Block:</b> Shielded - NI PS-15 Power Supply, 24 VDC, 5 A, 100-120/200-240 VAC Input<br><i>**Also Available: Screw Terminal</i> | 781093-01   |
|  |             | <b>Connector Block:</b> Screw Terminal - NI 9979 Strain relief kit for 4-pos power connector  | 196939-01   |
| <b>NI cRIO-9076</b>  |             |   |             |
| <b>cRIO-9076 4-Slot Integrated 400 MHz Real-Time Ctrlr, LX45 FPGA</b><br>Requires: 1 Connectivity Accessory    | 781716-01   | <b>Connectivity Accessory:</b> Shielded - NI PS-15 Power Supply, 24 VDC, 5 A, 100-120/200-240 VAC Input                                     | 781093-01   |
| <b>NI cRIO-9075</b>  |             |   |             |
| <b>cRIO-9075 4-Slot Integrated 400 MHz Real-Time Ctrlr, LX25 FPGA</b><br>Requires: 1 Connectivity Accessory    | 781715-01   | <b>Connectivity Accessory:</b> Shielded - NI PS-15 Power Supply, 24 VDC, 5 A, 100-120/200-240 VAC Input                                     | 781093-01   |
| <b>NI cRIO-9074</b>  |             |   |             |
| <b>cRIO-9074 8-Slot Integrated 400 MHz Real-Time Ctrlr, 2M Gate FPGA</b><br>Requires: 1 Connectivity Accessory | 779999-01   | <b>Connectivity Accessory:</b> Shielded - NI PS-15 Power Supply, 24 VDC, 5 A, 100-120/200-240 VAC Input                                     | 781093-01   |

[Back to Top](#)

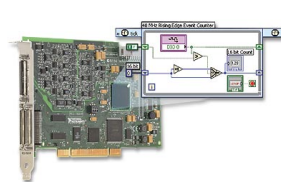
## Software Recommendations

### LabVIEW Professional Development System for Windows



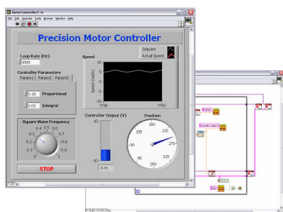
Advanced software tools for large project development  
Automatic code generation using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant  
Tight integration with a wide range of hardware  
Advanced measurement analysis and digital signal processing  
Open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects  
Capability to build DLLs, executables, and MSI installers

### NI LabVIEW FPGA Module



Create your own I/O hardware without VHDL coding or board design  
Graphically configure FPGAs on NI reconfigurable I/O (RIO) hardware targets  
Define your own control algorithms with loop rates up to 300 MHz  
Execute multiple tasks simultaneously and deterministically  
Implement custom timing and triggering logic, digital protocols, and DSP algorithms  
Incorporate existing HDL code and third-party IP including Xilinx CORE Generator functions

### NI LabVIEW Real-Time Module



Design deterministic real-time applications with LabVIEW graphical programming  
Download to dedicated NI or third-party hardware for reliable execution and a wide selection of I/O  
Take advantage of built-in PID control, signal processing, and analysis functions  
Automatically take advantage of multicore CPUs or set processor affinity manually  
Includes real-time operating system (RTOS), development and debugging support, and board support  
Purchase individually or as part of an NI Developer Suite bundle

[Back to Top](#)

## Support and Services

### System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also

receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at [ni.com/advisor](http://ni.com/advisor) to find a system assurance program to meet your needs.

Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

- Support** - Visit [ni.com/support](http://ni.com/support) to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.
- Discussion Forums** - Visit [forums.ni.com](http://forums.ni.com) for a diverse set of discussion boards on topics you care about.
- Online Community** - Visit [community.ni.com](http://community.ni.com) to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit [ni.com/repair](http://ni.com/repair).

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- Training memberships** and training credits - to buy now and schedule training later.

Visit [ni.com/training](http://ni.com/training) for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit [ni.com/warranty](http://ni.com/warranty).

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem).

Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit [ni.com/alliance](http://ni.com/alliance).

[Back to Top](#)

Detailed Specifications

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| The following specifications are typical for the – 20 to 55 °C operating temperature range unless otherwise noted. |                                    |
| Network  |                                    |
| Network interface  | 10BaseT and 100BaseTX Ethernet     |
| Compatibility  | IEEE 802.3                         |
| Communication rates  | 10 Mbps, 100 Mbps, auto-negotiated |
| Maximum cabling distance   | 100 m/segment                      |
| RS-232 Serial Port   |                                    |
| Maximum baud rate  | 115,200 bps                        |
| Data bits  | 5, 6, 7, 8                         |
| Stop bits  | 1, 2                               |
| Parity   | Odd, Even, Mark, Space             |
| Flow control   | RTS/CTS, XON/XOFF, DTR/DSR         |

## SMB Connector (cRIO-9074 Only)

### Output Characteristics

Minimum high-level output voltage

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| With –100 $\mu$ A output current | 2.9 V |
| With –16 mA output current       | 2.4 V |
| With –24 mA output current       | 2.3 V |

Maximum low-level output voltage

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| With 100 $\mu$ A output current | 0.10 V |
| With 16 mA output current       | 0.40 V |
| With 24 mA output current       | 0.55 V |

Driver type

CMOS

Maximum sink/source current

$\pm 24$  mA

Maximum 3-state output leakage current

$\pm 5$   $\mu$ A

### Input Characteristics

Minimum input voltage

0 V

Minimum low-level input voltage

0.94 V

Maximum high-level input voltage

2.43 V

Maximum input voltage

5.5 V

Typical input capacitance

2.5 pF

Typical resistive strapping

1 k $\Omega$  to 3.3 V

## Memory

cRIO-9072, cRIO-9073

|               |        |
|---------------|--------|
| Nonvolatile   | 128 MB |
| System memory | 64 MB  |

cRIO-9074

|               |        |
|---------------|--------|
| Nonvolatile   | 256 MB |
| System memory | 128 MB |

## Reconfigurable FPGA

cRIO-9072

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Number of logic cells  | 17,280    |
| Available embedded RAM | 432 kbits |

cRIO-9073, cRIO-9074

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Number of logic cells  | 46,080    |
| Available embedded RAM | 720 kbits |

## Internal Real-Time Clock

Accuracy

200 ppm; 35 ppm at 25 °C

## Power Requirements



**Caution** You must use a National Electric Code (NEC) UL Listed Class 2 power supply with the cRIO-9072/3/4.

Recommended power supply

48 W, 24 VDC

Power consumption

20 W maximum

Power supply input range

19 to 30 V

## Physical Characteristics

If you need to clean the controller, wipe it with a dry towel.

Screw-terminal wiring

0.5 to 2.5 mm<sup>2</sup> (24 to 12 AWG) copper conductor wire with 10 mm (0.39 in.) of

|                            |  |
|----------------------------|--|
|                            | insulation stripped from the end       |
| Torque for screw terminals | 0.5 to 0.6 N · m (4.4 to 5.3 lb · in.) |
| Weight                     | 929 g (32.7 oz)                        |

## Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

|                          |                                  |
|--------------------------|----------------------------------|
| V terminal to C terminal | 35 V max, Measurement Category I |
|--------------------------|----------------------------------|

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



**Caution** Do not connect the system to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

## Safety Standards

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

IEC 61010-1, EN 61010-1

UL 61010-1, CSA 61010-1



**Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

## Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

EN 61326 (IEC 61326): Class A emissions; Industrial Immunity

EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions

AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions

FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions

ICES-001: Class A emissions



**Note** For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.



**Note** For EMC compliance, operate this product according to the documentation.

## CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)

2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

## Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by module number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

## Environmental Management

National Instruments is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial not only to the environment but also to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at [ni.com/environment](http://ni.com/environment). This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

## Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



**EU Customers** At the end of the product life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers, National Instruments WEEE initiatives, and compliance with WEEE Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment, visit [ni.com/environment/weee.htm](http://ni.com/environment/weee.htm).

## Battery Replacement and Disposal

This device contains a long-life coin cell battery. If you need to replace it, use the Return Material Authorization (RMA) process or contact an authorized National Instruments service representative.

After replacement, recycle the old battery. For additional information, visit [ni.com/environment](http://ni.com/environment).

## Hazardous Locations

|                |  |
|----------------|--|
| U.S. (UL)      | Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nL IIC T4 |
| Canada (C-UL)  | Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nL IIC T4  |
| Europe (DEMKO) | Ex nL IIC T4 (part numbers beginning with 192172F and 198944 only)         |

## Environmental

The cRIO-9072/3/4 is intended for indoor use only, but it may be used outdoors if mounted in a suitably rated enclosure.

|  |               |
|--|---------------|
| Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2) | – 20 to 55 °C |
|--|---------------|



**Note** To meet this operating temperature range, follow the guidelines in the installation instructions for your CompactRIO system.

|  |               |
|--|---------------|
| Storage temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2) | – 40 to 85 °C |
|--|---------------|

IP 40

|                                     |                             |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Ingress protection                  |                             |
| Operating humidity (IEC 60068-2-56) | 10 to 90% RH, noncondensing |
| Storage humidity (IEC 60068-2-56)   | 5 to 95% RH, noncondensing  |
| Maximum altitude                    | 2,000 m                     |
| Pollution Degree (IEC 60664)        | 2                           |

### Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the CompactRIO system and affix ferrules to the ends of the power terminal wires.

|   |   |
|---|---|
| Operating shock (IEC 60068-2-27)                | 30 g, 11 ms half sine 50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations |
| Operating vibration, random (IEC 60068-2-64)    | 5 g <sub>rms</sub> , 10 to 500 Hz                                       |
| Operating vibration, sinusoidal (IEC 60068-2-6) | 5 g, 10 to 500 Hz   |

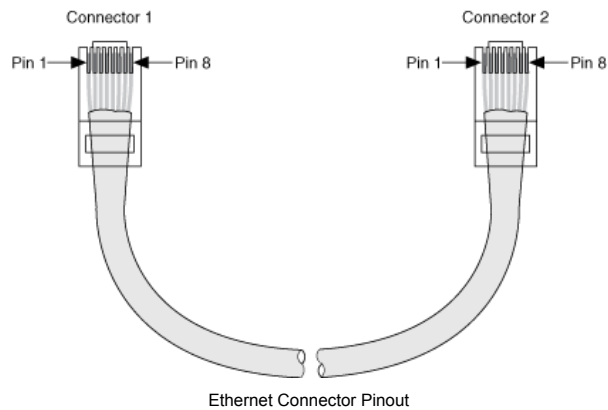
### Cabling

The following table shows the standard Ethernet cable wiring connections for both normal and crossover cables.

| Ethernet Cable Wiring Connections |              |                      |                         |
|-----------------------------------|--------------|----------------------|-------------------------|
| Pin                               | Connector 1  | Connector 2 (Normal) | Connector 2 (Crossover) |
| 1                                 | white/orange | white/orange         | white/green             |
| 2                                 | orange       | orange               | green                   |
| 3                                 | white/green  | white/green          | white/orange            |
| 4                                 | blue         | blue                 | blue                    |
| 5                                 | white/blue   | white/blue           | white/blue              |
| 6                                 | green        | green                | orange                  |
| 7                                 | white/brown  | white/brown          | white/brown             |
| 8                                 | brown        | brown                | brown                   |

[Back to Top](#)

## Pinouts/Front Panel Connections



[Back to Top](#)

©2010 National Instruments. All rights reserved. CompactRIO, FieldPoint, LabVIEW, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, and ni.com are trademarks of National Instruments. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2012 National Instruments Corporation. All rights reserved.

Last Revised: 2010-02-09 14:43:00.0

## 4 Ch, 100 kS/s, 16-Bit, $\pm 10$ V Simultaneous Sampling C Series Analog Input Module

### NI 9215



- 4 simultaneously sampled analog inputs, 100 kS/s
- 40 to 70 °C operating range
- NIST-traceable calibration
- Hot-swappable operation

### Overview

The NI 9215 module for use with NI CompactDAQ and CompactRIO chassis includes four simultaneously sampled analog input channels and successive approximation register (SAR) 16-bit analog-to-digital converters (ADCs). The NI 9215 contains NIST-traceable calibration, a channel-to-earth ground double-isolation barrier for safety and noise immunity, and high common-mode voltage range.

[Back to Top](#)

### Requirements and Compatibility

#### OS Information

Real-Time OS  
Windows

#### Driver Information

NI-DAQmx  
NI-RIO

#### Software Compatibility

LabVIEW  
LabVIEW SignalExpress  
LabWindows/CVI  
Measurement Studio  
Visual C++  
Visual Studio  
Visual Studio .NET

[Back to Top](#)

### Comparison Tables

| Module | Signal Type            | Channels    | Sample Rate          | Resolution (bits) |
|--------|------------------------|-------------|----------------------|-------------------|
| 9201   | Voltage                | 8           | 500 kS/s             | 12                |
| 9203   | Current                | 8           | 200 kS/s             | 16                |
| 9205   | Voltage                | 32 SE/16 DI | 250 kS/s             | 16                |
| 9206   | CAT I isolated voltage | 16 DI       | 250 kS/s             | 16                |
| 9215   | Voltage                | 4           | 100 kS/s per channel | 16                |
| 9217   | RTD                    | 4           | 400 S/s              | 24                |
| 9221   | Voltage                | 8           | 800 kS/s             | 12                |
| 9227   | Current                | 4           | 50 kS/s per channel  | 24                |

| Module    | Signal Type    | Channels | Sample Rate         | Resolution (bits) |
|-----------|----------------|----------|---------------------|-------------------|
| 9233      | IEPE           | 4        | 50 kS/s per channel | 24                |
| 9235/9236 | Quarter-bridge | 8        | 10 kS/s per channel | 24                |
| 9237      | Bridge         | 4        | 50 kS/s per channel | 24                |

[Back to Top](#)

## Application and Technology

High-accuracy NI C Series analog input modules for NI CompactDAQ and CompactRIO provide high-performance measurements for a wide variety of industrial, in-vehicle, and laboratory sensors and signal types. Each module includes built-in signal conditioning and an integrated connector with screw terminal or cable options for flexible and low-cost signal wiring. All modules feature CompactRIO Extreme Industrial Certifications and Ratings.

### C Series Compatibility

The C Series hardware family features more than 50 measurement modules and several chassis and carriers for deployment. With this variety of modules, you can mix and match measurements such as temperature, acceleration, flow, pressure, strain, acoustic, voltage, current, digital, and more to create a custom system. Install the modules in one of several carriers to create a single module USB, Ethernet, or Wi-Fi system, or combine them in chassis such as NI CompactDAQ and CompactRIO to create a mixed-measurement system with synchronized measurements. You can install up to eight modules in a simple, complete NI CompactDAQ USB data acquisition system to synchronize all of the analog output, analog input, and digital I/O from the modules. For a system without a PC, CompactRIO holds up to eight modules and features a built-in processor, RAM, and storage for an embedded data logger or control unit. For higher-speed control, CompactRIO chassis incorporate a field-programmable gate array (FPGA) that you can program with NI LabVIEW software to achieve silicon-speed processing on I/O data from C Series modules.

### Advanced Features

When used with CompactRIO, C Series analog input modules connect directly to reconfigurable I/O (RIO) FPGA hardware to create high-performance embedded systems. The reconfigurable FPGA hardware within CompactRIO provides a variety of options for custom timing, triggering, synchronization, filtering, signal processing, and high-speed decision making for all C Series analog modules. For instance, with CompactRIO, you can implement custom triggering for any analog sensor type on a per-channel basis using the flexibility and performance of the FPGA and the numerous arithmetic and comparison function blocks built into the LabVIEW FPGA Module.

### Key Features

High-accuracy, high-performance analog measurements for any CompactRIO embedded system, R Series expansion chassis, or NI CompactDAQ chassis

Screw terminals, BNC, D-Sub, spring terminals, strain relief, high voltage, cable, solder cup backshell, and other connectivity options

Available channel-to-earth ground double-isolation barrier for safety, noise immunity, and high common-mode voltage range

CompactRIO Extreme Industrial Certifications and Ratings

Built-in signal conditioning for direct connection to sensors and industrial devices

Visit [ni.com/compactrio](http://ni.com/compactrio) or [ni.com/compactdaq](http://ni.com/compactdaq) for up-to-date information on module availability, example programs, application notes, and other developer tools.

### Connectivity Accessories

NI CompactDAQ and CompactRIO systems are designed to provide flexible options for low-cost field wiring and cabling. Most C Series modules have a unique connector block option that offers secure connections to your C Series system. Table 2 contains all of the connector blocks for C Series I/O modules.

| Accessory | Description   |
|-----------|---|
| NI 9932   | 10-position strain relief and high-voltage screw-terminal connector kit |
| NI 9933   | 37-pin D-Sub connector kit with strain relief and D-Sub shell           |
| NI 9934   | 25-pin D-Sub connector kit with strain relief and D-Sub shell           |
| NI 9935   | 15-pin D-Sub connector kit with strain relief and D-Sub shell           |
| NI 9936   | 10-position screw-terminal plugs (quantity 10)                          |
| NI 9939   | 16-position connector kit with strain relief                            |

**Note:** To meet shock and vibration requirements, you must affix ferrules to the ends of the wires on all screw-terminal connectors.

Table 2. Connector Blocks for C Series I/O Modules

Table 3 lists the recommended connector block accessories for each C Series analog input module.

| C Series Analog Input Module | Recommended Module Accessory |
|------------------------------|------------------------------|
| NI 9201                      | NI 9932, NI 9936             |
| NI 9201 with D-Sub           | NI 9934 <sup>1</sup>         |
| NI 9211                      | NI 9932, NI 9936             |
| NI 9215                      | NI 9932, NI 9936             |
| NI 9217                      | NI 9939                      |
| NI 9221                      | NI 9932, NI 9936             |
| NI 9221 with D-Sub           | NI 9934 <sup>1</sup>         |

<sup>1</sup>Requires a 25-pin D-Sub connector such as the NI 9934 accessory kit.

Table 3. Recommended Connector Block Accessories

The NI 9932 kit provides strain relief and operator protection from high-voltage signals for any 10-position screw-terminal module.



*Figure 1. NI 9932 10-Position Strain Relief and High-Voltage Screw-Terminal Connector Kit*

The NI 9933 includes a screw-terminal connector with strain relief as well as a D-Sub solder cup backshell for creating custom cable assemblies for any module with a 37-pin D-Sub connector.



*Figure 2. NI 9933 37-Pin D-Sub Connector Kit with Strain Relief and D-Sub Shell*

The NI 9934 includes a screw-terminal connector with strain relief as well as a D-Sub solder cup backshell for creating custom cable assemblies for any module with a 25-pin D-Sub connector.



*Figure 3. NI 9934 25-Pin D-Sub Connector Kit with Strain Relief and D-Sub Shell*

The NI 9935 includes a screw-terminal connector with strain relief as well as a D-Sub solder cup backshell for creating custom cable assemblies for any module with a 15-pin D-Sub connector.



*Figure 4. NI 9935 15-Pin D-Sub Connector Kit with Strain Relief and D-Sub Shell*

The NI 9936 consists of 10-position screw-terminal plugs for any 10-position screw-terminal module.



Figure 5. NI 9936 10-Position Screw-Terminal Plugs

Visit [ni.com/compactrio](http://ni.com/compactrio) or [ni.com/compactdaq](http://ni.com/compactdaq) for up-to-date information on accessories.

[Back to Top](#)

## Ordering Information

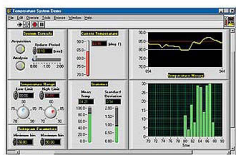
For a complete list of accessories, visit the product page on [ni.com](http://ni.com).

| Products  | Part Number | Recommended Accessories   | Part Number |
|---|-------------|---|-------------|
| <b>NI 9215 Voltage Input Module</b>   |             |   |             |
| <b>NI 9215 with Screw Terminals</b><br>Requires: 1 Connectivity Accessories ; | 779011-01   | <b>Connectivity Accessories:</b> screwTerminal - NI 9932 Strain relief, operator protection (qty 1) | 779017-01   |

[Back to Top](#)

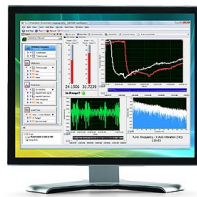
## Software Recommendations

### LabVIEW Professional Development System for Windows



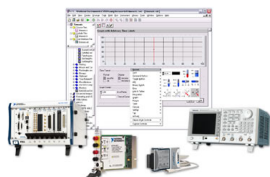
Advanced software tools for large project development  
Automatic code generation using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant  
Tight integration with a wide range of hardware  
Advanced measurement analysis and digital signal processing  
Open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects  
Capability to build DLLs, executables, and MSI installers

### NI LabVIEW SignalExpress for Windows



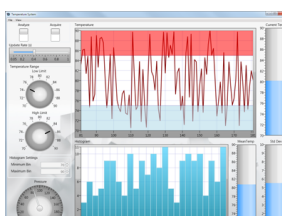
Quickly configure projects without programming  
Control over 400 PC-based and stand-alone instruments  
Log data from more than 250 data acquisition devices  
Perform basic signal processing, analysis, and file I/O  
Scale your application with automatic LabVIEW code generation  
Create custom reports or easily export data to LabVIEW, DIAdem or Microsoft Excel

### NI LabWindows™/CVI for Windows



Real-time advanced 2D graphs and charts  
Complete hardware compatibility with IVI, VISA, DAQ, GPIB, and serial  
Analysis tools for array manipulation, signal processing statistics, and curve fitting  
Simplified cross-platform communication with network variables  
Measurement Studio .NET tools (included in LabWindows/CVI Full only)  
The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation.

### NI Measurement Studio Professional Edition



Customizable graphs and charts for WPF, Windows Forms, and ASP.NET Web Forms UI design  
Analysis libraries for array operations, signal generation, windowing, filters, signal processing  
Hardware integration support with native .NET data acquisition and instrument control libraries  
Automatic code generation for all NI-DAQmx data acquisition hardware  
Intelligent and efficient data-logging libraries for streaming measurement data to disk  
Support for Microsoft Visual Studio .NET 2012/2010/2008

[Back to Top](#)

## Support and Services

### System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at [ni.com/advisor](http://ni.com/advisor) to find a system assurance program to meet your needs.

### Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

- Support** - Visit [ni.com/support](http://ni.com/support) to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.
- Discussion Forums** - Visit [forums.ni.com](http://forums.ni.com) for a diverse set of discussion boards on topics you care about.
- Online Community** - Visit [community.ni.com](http://community.ni.com) to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit [ni.com/repair](http://ni.com/repair).

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- Training memberships** and training credits - to buy now and schedule training later.

Visit [ni.com/training](http://ni.com/training) for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit [ni.com/warranty](http://ni.com/warranty).

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem).

Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit [ni.com/alliance](http://ni.com/alliance).

[Back to Top](#)

Detailed Specifications

The following specifications are typical for the range –40 to 70 °C unless otherwise noted.

| Input Characteristics                          |   |
|--|---|
| Number of channels                             | 4 analog input channels   |
| ADC resolution                                 | 16 bits   |
| Type of ADC                                    | Successive approximation register (SAR)                         |
| Input range                                    | ±10.0 V   |
| Input voltage ranges (AI+ to AI–) <sup>1</sup> |   |
| Minimum Measurement Voltage (V) <sup>2</sup>   | ±10.2   |
| Typical Measurement Voltage (V)                | ±10.4   |
| Maximum Measurement Voltage (V)                | ±10.6   |
| Maximum working voltage (signal + common mode) |   |
| With screw terminal                            | Each channel must remain within ±10.2 V of common               |
| With BNC                                       | All inputs must remain within ±10.2 V of the average AI– inputs |
| Overvoltage protection                         | ±30 V   |
| Conversion time                                |   |
| Channel 0 only                                 | 4.4 µs  |
| Channels 0 and 1                               | 6 µs  |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| Channels 0, 1, and 2    | 8 $\mu$ s  |
| Channels 0, 1, 2, and 3 | 10 $\mu$ s |

| Accuracy                             |                                 |  |
|--------------------------------------|---------------------------------|--|
| Measurement Conditions               | Percent of Reading (Gain Error) | Percent of Range (Offset Error) <sup>3</sup> |
| Calibrated max (–40 to 70 °C)        | 0.2%                            | 0.082%                                       |
| Calibrated, typ (25 °C, $\pm 5$ °C)  | 0.02%                           | 0.014%                                       |
| Uncalibrated max (–40 to 70 °C)      | 1.05%                           | 0.82%  |
| Uncalibrated typ (25 °C, $\pm 5$ °C) | 0.6%                            | 0.38%  |

#### Stability

|  |  |
|--|--|
| Offset drift                             | 60 $\mu$ V/ °C   |
| Gain drift                               | 10 ppm/ °C   |
| CMRR (at 60 Hz)                          | –73 dB min   |
| Input bandwidth (–3 dB)                  | 420 kHz min  |
| Input impedance                          |  |
| Resistance                               |  |
| With screw terminal                      | 1 G $\Omega$   |
| With BNC (between any two AI– terminals) | 200 k $\Omega$   |
| Input bias current                       | 10 nA  |
| Input noise                              |  |
| RMS                                      | 1.2 LSB <sub>rms</sub>   |
| Peak-to-peak                             | 7 LSB  |
| Crosstalk                                | –80 dB   |
| Settling time (to 2 LSBs)                |  |
| With screw terminal                      |  |
| 10 V step                                | 10 $\mu$ s   |
| 20 V step                                | 15 $\mu$ s   |
| With BNC                                 |  |
| 10 V step                                | 25 $\mu$ s   |
| 20 V step                                | 35 $\mu$ s   |
| No missing codes                         | 15 bits guaranteed   |
| DNL                                      | –1.9 to 2 LSB max  |
| INL                                      | $\pm 6$ LSB max  |
| MTBF                                     | 1,167,174 hours at 25 °C; Bellcore Issue 6, Method 1, Case 3, Limited Part Stress Method |



**Note** Contact NI for Bellcore MTBF specifications at other temperatures or for MIL-HDBK-217F specifications.

#### Power Requirements

Power consumption from chassis (full-scale input, 100 kS/s)

|                                |                 |
|--------------------------------|-----------------|
| Active mode                    | 560 mW, max     |
| Suspend mode                   | 25 $\mu$ W, max |
| Thermal dissipation (at 70 °C) |                 |
| Active mode                    | 560 mW, max     |
| Suspend mode                   | 25 $\mu$ W, max |

#### Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Screw terminal wiring | 12 to 24 AWG copper conductor wire with 10 mm (0.39 in.) of insulation stripped from the end |
|-----------------------|--|

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Torque for screw terminals | 0.5 to 0.6 N · m (4.4 to 5.3 lb · in.)      |
| Ferrules                   | 0.25 mm <sup>2</sup> to 2.5 mm <sup>2</sup> |
| Weight                     |   |
| With screw terminal        | 150 g (5.3 oz)                              |
| With BNC                   | 173 g (6.1 oz)                              |

## Safety

### Safety Voltages

#### NI 9215 with Screw Terminal Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Channel-to-COM          | ±30 V max  |
| Isolation               |  |
| Channel-to-channel      | No isolation between channels  |
| Channel-to-earth ground |  |
| Continuous              | 250 V <sub>rms</sub> , Measurement Category II                       |
| Withstand               | 2,300 V <sub>rms</sub> , verified by a 5 s dielectric withstand test |

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system (MAINS <sup>4</sup>). This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet (for example, 115 AC voltage for U.S. or 230 AC voltage for Europe). Examples of Measurement Category II are measurements performed on household appliances, portable tools, and similar hardware.



**Caution** Do *not* connect the NI 9215 with screw terminal to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

#### NI 9215 with BNC Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

|                         |  |
|-------------------------|--|
| AI+-to-AI-              | ±30 V max  |
| Isolation               |  |
| Channel-to-channel      | No isolation between channels  |
| Channel-to-earth ground |  |
| Continuous              | 60 VDC, Measurement Category I                                       |
| Withstand               | 1,500 V <sub>rms</sub> , verified by a 5 s dielectric withstand test |

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS <sup>5</sup> voltage. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special hardware, limited-energy parts of hardware, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



**Caution** Do *not* connect the NI 9215 with BNC to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

### Safety Standards

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

IEC 61010-1, EN 61010-1

UL 61010-1, CSA 61010-1



**Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

### Hazardous Locations

|                |  |
|----------------|--|
| U.S. (UL)      | Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nC IIC T4 |
| Canada (C-UL)  | Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nC IIC T4  |
| Europe (DEMKO) | EEx nC IIC T4  |

## Environmental

National Instruments C Series modules are intended for indoor use only but may be used outdoors if installed in a suitable enclosure. Refer to the manual for the chassis you are using for more information about meeting these specifications.

|                                   |                             |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Operating temperature             |                             |
| (IEC 60068-2-1 and IEC 60068-2-2) | –40 to 70 °C                |
| Storage temperature               |                             |
| (IEC 60068-2-1 and IEC 60068-2-2) | –40 to 85 °C                |
| Ingress Protection                | IP 40                       |
| Operating humidity                |                             |
| (IEC 60068-2-56)                  | 10 to 90% RH, noncondensing |
| Storage humidity                  |                             |

|                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| (IEC 60068-2-56)             | 5 to 95% RH, noncondensing |
| Maximum altitude             | 2,000 m                    |
| Pollution Degree (IEC 60664) | 2                          |

## Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the system. If you are using the NI 9215 with screw terminal, you must also either affix ferrules to the ends of the terminal wires or use the NI 9932 backshell kit to protect the connections.

### Operating vibration

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Random (IEC 60068-2-34)    | 5 g <sub>rms</sub> , 10 to 500 Hz |
| Sinusoidal (IEC 60068-2-6) | 5 g, 10 to 500 Hz                 |

### Operating shock

|                  |  |
|------------------|--|
| (IEC 60068-2-27) | 30 g, 11 ms half sine, 50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations |
|------------------|--|

## Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

EN 61326 EMC requirements; Industrial Immunity

EN 55011 Emissions; Group 1, Class A

CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions; Class A



**Note** For EMC compliance, operate this device with shielded cables.

## CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)

2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)



**Note** For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.

## Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by module number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

## Environmental Management

National Instruments is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial not only to the environment but also to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at [ni.com/environment](http://ni.com/environment). This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

## Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



**EU Customers** At the end of their life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit [ni.com/environment/weee.htm](http://ni.com/environment/weee.htm).

## Calibration

You can obtain the calibration certificate for this device at [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

|                      |        |
|----------------------|--------|
| Calibration interval | 1 year |
|----------------------|--------|

<sup>1</sup> Refer to the *Safety Guidelines* section of the *NI 9215 Operating Instructions and Specifications* for more information about safe operating voltages.

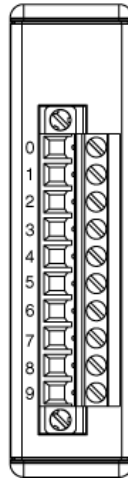
<sup>2</sup> The minimum measurement voltage range is the largest voltage the device is guaranteed to accurately measure.

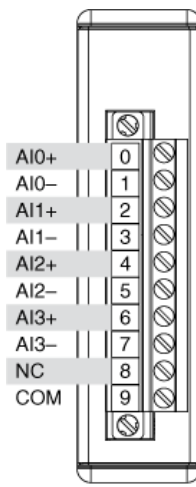
<sup>3</sup> Range equals 10.4 V.

<sup>4</sup> MAINS is defined as a hazardous live electrical supply system that powers hardware. Suitably rated measuring circuits may be connected to the MAINS for measuring purposes.

<sup>5</sup> MAINS is defined as a hazardous live electrical supply system that powers hardware. Suitably rated measuring circuits may be connected to the MAINS for measuring purposes.

## Pinouts/Front Panel Connections





[Back to Top](#)

©2010 National Instruments. All rights reserved. CompactRIO, CVI, FieldPoint, LabVIEW, Measurement Studio, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, NI CompactDAQ, and SignalExpress are trademarks of National Instruments. The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2012 National Instruments Corporation. All rights reserved.

[Print](#) | [E-mail this Page](#) | [Open Document as PDF](#)

[Requirements and Compatibility](#) | [Ordering Information](#) | [Detailed Specifications](#)

For user manuals and dimensional drawings, visit the product page resources tab on ni.com.

Last Revised: 2010-02-09 14:44:16.0

## 4-Channel, 14 S/s, 24-Bit, $\pm 80$ mV C Series Thermocouple Input Module

**NI 9211**



- 4 thermocouple or  $\pm 80$  mV analog inputs
- -40 to 70 °C operating range
- 24-bit resolution; 50/60 Hz noise rejection
- Hot-swappable operation
- NIST-traceable calibration

### Overview

The NI 9211 C Series thermocouple input module for use with NI CompactDAQ and CompactRIO chassis includes a 24-bit delta-sigma ADC, antialiasing filters, open-thermocouple detection, and cold-junction compensation for high-accuracy thermocouple measurements. It contains NIST-traceable calibration and a channel-to-earth ground double-isolation barrier for safety, noise immunity, and high common-mode voltage range.

[Back to Top](#)

### Requirements and Compatibility

#### OS Information

Real-Time OS  
Windows

#### Driver Information

NI-DAQmx  
NI-RIO

#### Software Compatibility

LabVIEW  
LabVIEW SignalExpress  
LabWindows/CVI  
Measurement Studio  
Visual Basic  
Visual C#  
Visual C++  
Visual Studio  
Visual Studio .NET

[Back to Top](#)

### Comparison Tables

| Thermocouple Module | Channels | Sample Rate | Resolution | Feature                      |
|---------------------|----------|-------------|------------|------------------------------|
| NI 9213             | 16       | 1,200 S/s   | 24-bit     | Lowest cost/channel          |
| NI 9219             | 4        | 50 S/s/ch   | 24-bit     | Channel-to-channel isolation |
| NI 9211             | 4        | 14 S/s      | 24-bit     | Low-channel count            |

[Back to Top](#)

## Application and Technology

High-accuracy C Series analog input modules for NI CompactDAQ and CompactRIO provide high-performance measurements for a wide variety of industrial, in-vehicle, and laboratory sensors and signal types. Each module includes built-in signal conditioning and an integrated connector with screw terminal or cable options for flexible and low-cost signal wiring. All modules feature CompactRIO Extreme Industrial Certifications and Ratings.

### C Series Compatibility

The C Series hardware family features more than 50 measurement modules and several chassis and carriers for deployment. With this variety of modules, you can mix and match measurements such as temperature, acceleration, flow, pressure, strain, acoustic, voltage, current, digital, and more to create a custom system. Install the modules in one of several carriers to create a single module USB, Ethernet, or Wi-Fi system, or combine them in chassis such as NI CompactDAQ and CompactRIO to create a mixed-measurement system with synchronized measurements. You can install up to eight modules in a simple, complete NI CompactDAQ USB data acquisition system to synchronize all of the analog output, analog input, and digital I/O from the modules. For a system without a PC, CompactRIO holds up to eight modules and features a built-in processor, RAM, and storage for an embedded data logger or control unit. For higher-speed control, CompactRIO chassis incorporate a field-programmable gate array (FPGA) that you can program with NI LabVIEW software to achieve silicon-speed processing on I/O data from C Series modules.

### Advanced Features

When used with CompactRIO, C Series analog input modules connect directly to reconfigurable I/O (RIO) FPGA hardware to create high-performance embedded systems. The reconfigurable FPGA hardware within CompactRIO provides a variety of options for custom timing, triggering, synchronization, filtering, signal processing, and high-speed decision making for all C Series analog modules. For instance, with CompactRIO, you can implement custom triggering for any analog sensor type on a per-channel basis using the flexibility and performance of the FPGA and the numerous arithmetic and comparison function blocks built into the LabVIEW FPGA Module.

### Key Features

High-accuracy, high-performance analog measurements for any CompactRIO embedded system, R Series expansion chassis, or NI CompactDAQ chassis  
Screw terminals, BNC, D-Sub, spring terminals, strain relief, high voltage, cable, solder cup backshell, and other connectivity options  
Available channel-to-earth ground double-isolation barrier for safety, noise immunity, and high common-mode voltage range  
CompactRIO Extreme Industrial Certifications and Ratings  
Built-in signal conditioning for direct connection to sensors and industrial devices

Visit [ni.com/compactrio](http://ni.com/compactrio) or [ni.com/compactdaq](http://ni.com/compactdaq) for up-to-date information on module availability, example programs, application notes, and other developer tools.

### Connectivity Accessories

NI CompactDAQ and CompactRIO systems are designed to provide flexible options for low-cost field wiring and cabling. Most C Series modules have a unique connector block option that offers secure connections to your C Series system. Table 2 contains all of the connector blocks available for C Series I/O modules.

| Accessory   | Description   |
|---|---|
| NI 9932   | 10-position strain relief and high-voltage screw-terminal connector kit |
| NI 9933   | 37-pin D-Sub connector kit with strain relief and D-Sub shell           |
| NI 9934   | 25-pin D-Sub connector kit with strain relief and D-Sub shell           |
| NI 9935   | 15-pin D-Sub connector kit with strain relief and D-Sub shell           |
| NI 9936   | 10-position screw-terminal plugs (quantity 10)                          |
| NI 9939   | 16-position connector kit with strain relief                            |
| <b>Note:</b> To meet shock and vibration requirements, you must affix ferrules to the ends of the wires on all screw-terminal connectors. |   |

Table 2. Connector Blocks for C Series I/O Modules

Table 3 lists the recommended connector block accessories for each C Series analog input module.

| C Series Analog Input Module | Recommended Module Accessory |
|------------------------------|------------------------------|
| NI 9201                      | NI 9932, NI 9936             |
| NI 9201 with D-Sub           | NI 9934 <sup>1</sup>         |
| NI 9211                      | NI 9932, NI 9936             |
| NI 9215                      | NI 9932, NI 9936             |
| NI 9217                      | NI 9939                      |
| NI 9221                      | NI 9932, NI 9936             |
| NI 9221 with D-Sub           | NI 9934 <sup>1</sup>         |

<sup>1</sup>Requires a 25-pin D-Sub connector such as the NI 9934 accessory kit.

Table 3. Recommended Connector Block Accessories

The NI 9932 kit provides strain relief and operator protection from high-voltage signals for any 10-position screw-terminal module.



Figure 1. NI 9932 10-Position Strain Relief and High-Voltage Screw-Terminal Connector Kit

The NI 9936 consists of 10-position screw-terminal plugs for any 10-position screw-terminal module.



Figure 5. NI 9936 10-Position Screw-Terminal Plugs

Visit [ni.com/compactrio](http://ni.com/compactrio) or [ni.com/compactdaq](http://ni.com/compactdaq) for up-to-date information on accessories.

[Back to Top](#)

## Ordering Information

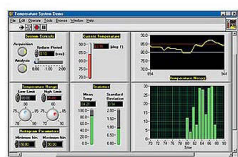
For a complete list of accessories, visit the product page on [ni.com](http://ni.com).

| Products   | Part Number | Recommended Accessories   | Part Number |
|--|-------------|---|-------------|
| <b>NI 9211 Thermocouple Input Module</b>                 |             |   |             |
| <b>NI 9211</b><br>Requires: 1 Connectivity Accessories ; | 779001-01   | <b>Connectivity Accessories:</b> screwTerminal - NI 9932 Strain relief, operator protection (qty 1) | 779017-01   |

[Back to Top](#)

## Software Recommendations

### LabVIEW Professional Development System for Windows



Advanced software tools for large project development  
Automatic code generation using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant  
Tight integration with a wide range of hardware  
Advanced measurement analysis and digital signal processing  
Open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects  
Capability to build DLLs, executables, and MSI installers

[Back to Top](#)

## Support and Services

### System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at [ni.com/advisor](http://ni.com/advisor) to find a system assurance program to meet your needs.

Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit [ni.com/calibration](#).

Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

- Support** - Visit [ni.com/support](#) to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.
- Discussion Forums** - Visit [forums.ni.com](#) for a diverse set of discussion boards on topics you care about.
- Online Community** - Visit [community.ni.com](#) to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit [ni.com/repair](#).

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- Training memberships** and training credits - to buy now and schedule training later.

Visit [ni.com/training](#) for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit [ni.com/warranty](#).

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](#).

Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit [ni.com/alliance](#).

[Back to Top](#)

Detailed Specifications

The following specifications are typical for the range -40 to 70 °C unless otherwise noted.

| Input Characteristics                    |   |
|--|---|
| Number of channels                       | 4 thermocouple channels, 1 internal autozero channel, 1 internal cold-junction compensation channel |
| ADC resolution                           | 24 bits   |
| Type of ADC                              | Delta-Sigma   |
| Sampling mode                            | Scanned   |
| Voltage measurement range                | ±80 mV  |
| Temperature measurement ranges           | Works over temperature ranges defined by NIST (J, K, T, E, N, B, R, S thermocouple types)           |
| Conversion time                          | 70 ms per channel; 420 ms total for all channels including the autozero and cold-junction channels  |
| Common-mode voltage range                |   |
| Channel-to-COM                           | ±1.5 V  |
| COM-to-earth ground                      | ±250 V  |
| Common-mode rejection ratio (0 to 60 Hz) |   |
| Channel-to-COM                           | 95 dB   |
| COM-to-earth ground                      | >170 dB   |

|  |   |
|--|---|
| Input bandwidth (–3 dB)                    | 15 Hz   |
| Noise rejection (at 50 and 60 Hz)          | 85 dB min   |
| Overvoltage protection                     | ±30 V between any input and COM   |
| Differential input impedance               | 20 MΩ   |
| Input current                              | 50 nA   |
| Input noise                                | 1 $\mu\text{V}_{\text{rms}}$  |
| Gain error                                 | 0.05% max at 25 °C, 0.06% typ at –40 to 70 °C, 0.1% max at –40 to 70 °C                       |
| Offset error (with autozero channel on)    | 15 $\mu\text{V}$ typ, 20 $\mu\text{V}$ max  |
| Gain error from source impedance           | Add 0.05 ppm per $\Omega$ when source impedance >50 $\Omega$                                  |
| Offset error from source impedance         | Add 0.05 $\mu\text{V}$ typ, 0.07 $\mu\text{V}$ max per $\Omega$ source impedance >50 $\Omega$ |
| Cold-junction compensation sensor accuracy |   |
| 0 to 70 °C                                 | 0.6 °C typ, 1.3 °C max  |
| –40 to 70 °C                               | 1.7 °C max  |
| MTBF                                       | 633,012 hours at 25 °C; Bellcore Issue 2, Method 1, Case 3, Limited Part Stress Method        |



**Note** Contact NI for Bellcore MTBF specifications at other temperatures or for MIL-HDBK-217F specifications.

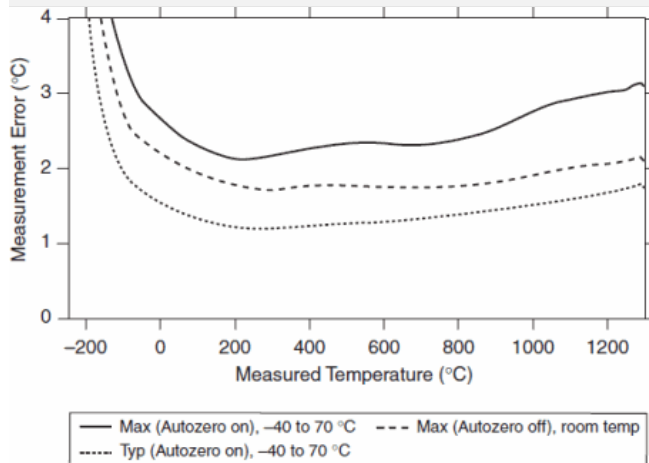
## Temperature Measurement Accuracy

### Measurement sensitivity <sup>1</sup>

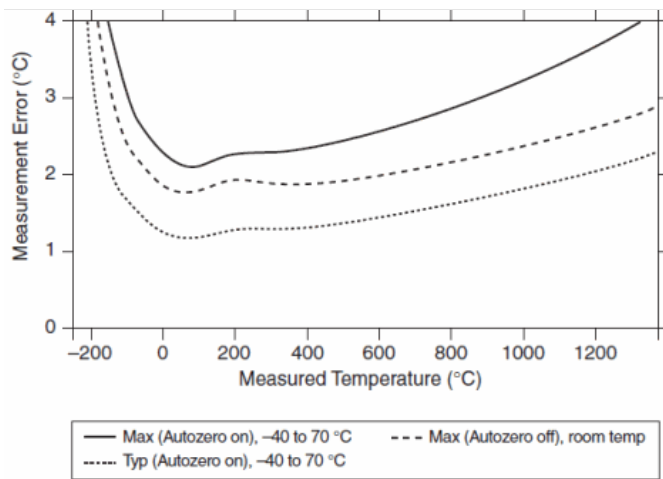
|                           |          |
|---------------------------|----------|
| With autozero channel on  |          |
| Types J, K, T, E, N       | <0.07 °C |
| Types B                   | <0.25 °C |
| Types R, S                | <0.60 °C |
| With autozero channel off |          |
| Types J, K, T, E, N       | <0.05 °C |
| Types B                   | <0.20 °C |
| Types R, S                | <0.45 °C |

The following figures show the typical and maximum errors for each thermocouple type when used with the NI 9211 over the full temperature range. The figures also display the maximum errors for the thermocouple types with the NI 9211 at room temperature, which is 15 to 35 °C. The figures account for gain errors, offset errors, differential and integral nonlinearity, quantization errors, noise errors, and isothermal errors. The figures do not account for the accuracy of the thermocouple itself.

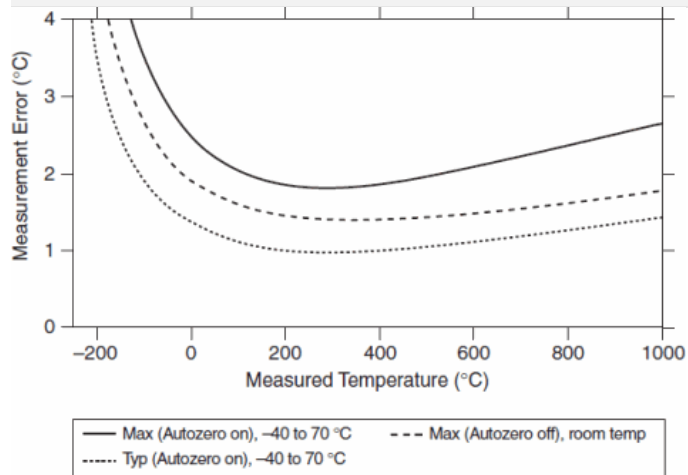
### Thermocouple Types J and N Errors



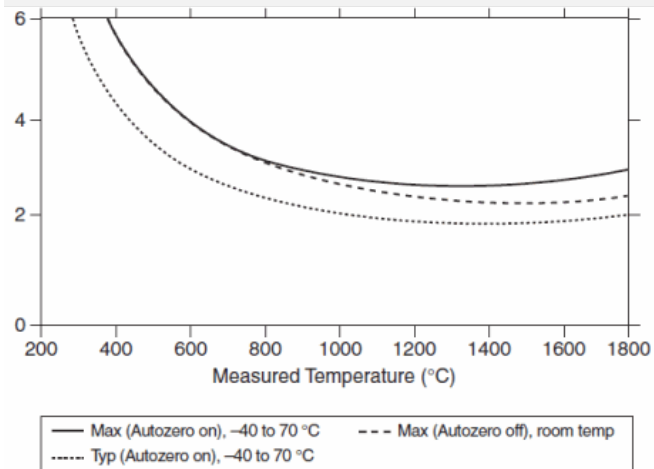
### Thermocouple Type K Errors



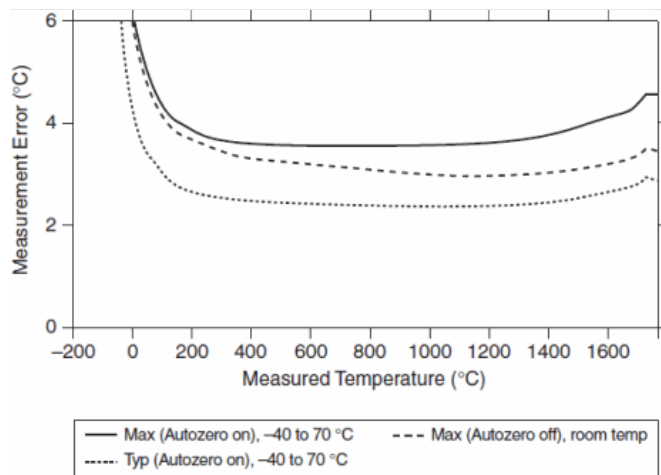
#### Thermocouple Types T and E Errors



#### Thermocouple Type B Errors



#### Thermocouple Types R and S Errors



## Power Requirements

Power consumption from chassis

|             |            |
|-------------|------------|
| Active mode | 170 mW max |
| Sleep mode  | 4 mW max   |

Thermal dissipation (at 70 °C)

|             |            |
|-------------|------------|
| Active mode | 170 mW max |
| Sleep mode  | 4 mW max   |

## Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.



**Note** For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit [ni.com/dimensions](https://ni.com/dimensions) and search by module number.

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Screw-terminal wiring      | 12 to 24 AWG wire with 10 mm (0.39 in.) of insulation stripped from the end |
| Torque for screw terminals | 0.5 to 0.6 N · m (4.4 to 5.3 lb · in.)                                      |
| Ferrules                   | 0.25 mm <sup>2</sup> to 2.5 mm <sup>2</sup>                                 |
| Weight                     | 150 g (5.3 oz)  |

## Safety

### Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Channel-to-COM          | ±30 V max  |
| Isolation               |  |
| Channel-to-channel      | None   |
| Channel-to-earth ground |  |
| Continuous              | 250 V <sub>rms</sub> , Measurement Category II                       |
| Withstand               | 2,300 V <sub>rms</sub> , verified by a 5 s dielectric withstand test |

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system (MAINS <sup>2</sup>). This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet (for example, 115 AC voltage for U.S. or 230 AC voltage for Europe). Examples of Measurement Category II are measurements performed on household appliances, portable tools, and similar hardware.



**Caution** Do *not* connect the NI 9211 to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

### Hazardous Locations

|                |  |
|----------------|--|
| U.S. (UL)      | Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nC IIC T4 |
| Canada (C-UL)  | Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nC IIC T4  |
| Europe (DEMKO) | EEx nC IIC T4  |

### Safety Standards

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

IEC 61010-1, EN 61010-1  
UL 61010-1, CSA 61010-1



**Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

## Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

EN 61326 (IEC 61326): Class A emissions; Industrial immunity

EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions

AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions

FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions

ICES-001: Class A emissions



**Note** For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.



**Note** For EMC compliance, operate this device with double-shielded cables.

## CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)

2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)



**Note** For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.

## Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by module number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

## Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the system and either affix ferrules to the ends of the terminal wires or use the NI 9932 backshell kit to protect the connections.

Operating vibration

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Random (IEC 60068-2-64)          | 5 g <sub>rms</sub> , 10 to 500 Hz  |
| Sinusoidal (IEC 60068-2-6)       | 5 g, 10 to 500 Hz  |
| Operating shock (IEC 60068-2-27) | 30 g, 11 ms half sine, 50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations |

## Environmental

National Instruments C Series modules are intended for indoor use only but may be used outdoors if installed in a suitable enclosure. Refer to the manual for the chassis you are using for more information about meeting these specifications.

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2) | –40 to 70 °C                |
| Storage temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)   | –40 to 85 °C                |
| Ingress protection                                   | IP 40                       |
| Operating humidity (IEC 60068-2-56)                  | 10 to 90% RH, noncondensing |
| Storage humidity (IEC 60068-2-56)                    | 5 to 95% RH, noncondensing  |
| Maximum altitude                                     | 2,000 m                     |
| Pollution Degree (IEC 60664)                         | 2                           |

## Environmental Management

National Instruments is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial not only to the environment but also to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at [ni.com/environment](http://ni.com/environment). This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

## Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



**EU Customers** At the end of their life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit [ni.com/environment/wEEE.htm](http://ni.com/environment/wEEE.htm).

### 电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）



**中国客户** National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china)。(For information about China RoHS compliance, go to [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china).)

## Calibration

You can obtain the calibration certificate for this device at [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

|                      |        |
|----------------------|--------|
| Calibration interval | 1 year |
|----------------------|--------|

<sup>1</sup> Measurement sensitivity represents the smallest change in temperature that a sensor can detect. It is a function of noise. The values assume the full measurement range of the standard thermocouple sensor according to ASTM E230-87.

<sup>2</sup> MAINS is defined as a hazardous live electrical supply system that powers hardware. Suitably rated measuring circuits may be connected to the MAINS for measuring purposes.

[Back to Top](#)

---

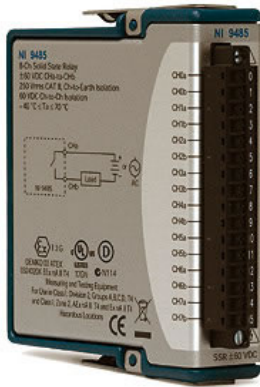
©2010 National Instruments. All rights reserved. CompactRIO, CVI, FieldPoint, LabVIEW, Measurement Studio, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, NI CompactDAQ, and SignalExpress are trademarks of National Instruments. The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2012 National Instruments Corporation. All rights reserved.

Last Revised: 2010-01-26 16:33:35.0

## NI 9485

### 8 Ch C Series Relay, 60 VDC/30 Vrms, 750 mA



- Switching current of 1.2 A/ch for up to 4 channels; 750 mA/ch for all channels
- 250 Vrms CAT II continuous channel-to-earth ground and 60 VDC channel-to-channel isolation
- 40 to 70 °C operating range
- 60 VDC, 30 Vrms switching voltage
- Hot-swappable operation
- 8 solid-state relay (SSR) outputs
- Extreme industrial certifications/ratings

## Overview

The NI 9485 is an eight-channel solid-state relay sourcing or sinking C Series digital output module for any NI CompactDAQ or CompactRIO chassis. Each channel provides access to a solid-state relay for switching voltages up to 60 VDC, 30 Vrms with switching current of up to 1.2 A per channel for four channels and up to 750 mA per channel for all eight channels. The NI 9485 features 60 VDC continuous channel-to-channel isolation. It is designed for direct connection to a wide array of industrial devices such as motors, actuators, and DC devices.

[Back to Top](#)

## Requirements and Compatibility

### OS Information

Real-Time OS  
Windows

### Driver Information

NI-DAQmx  
NI-RIO

### Software Compatibility

LabVIEW  
LabVIEW SignalExpress  
LabWindows/CVI  
Measurement Studio  
Measurement Studio .NET Support

[Back to Top](#)

## Comparison Tables

| Product Name | Number of Channels | Relay Type | Switching Levels                          | Connectivity   |
|--------------|--------------------|------------|---|----------------|
| NI 9481      | 4                  | SPST       | 30 VDC (2 A), 60 VDC (1 A), 250 VAC (2 A) | Screw Terminal |
| NI 9485      | 8                  | SSR        | 60 VDC, 30 Vrms switching voltage         | Screw Terminal |

[Back to Top](#)

## Application and Technology

High-performance digital output and switching modules for NI CompactDAQ systems, CompactRIO embedded systems, and R Series expansion chassis provide extended voltage ranges and high-current-switching capacity for direct control of a wide array of industrial and automotive actuators. Each module features an integrated connector junction box with screw-terminal or cable options for flexible, low-cost signal wiring. All modules feature CompactRIO extreme industrial certifications and ratings including -40 to 70 °C operating temperatures and 50 g shock.

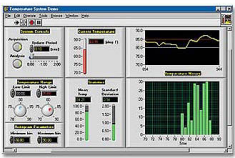
When used in CompactRIO, C Series digital output modules connect directly to reconfigurable I/O (RIO) field-programmable gate array (FPGA) hardware to create high-performance embedded systems. The reconfigurable FPGA hardware within CompactRIO provides a variety of options for timing, triggering, synchronization, digital waveform generation, or digital communication. For instance, with CompactRIO, you can implement a circuit to generate pulse-width modulation (PWM) outputs for controlling motors, heaters, or fans as well as to perform pulse code modulation encoding (PCME) for wireless telemetry applications.

The C Series hardware family features more than 50 measurement modules and several chassis and carriers for deployment. With this variety of modules, you can mix and match measurements such as temperature, acceleration, flow, pressure, strain, acoustic, voltage, current, digital, and more to create a custom system. Install the modules in one of several carriers to create a single module USB, Ethernet, or Wi-Fi system, or combine them in chassis such as NI CompactDAQ and CompactRIO to create a mixed-measurement system with synchronized measurements. You can install up to eight modules in a simple, complete NI CompactDAQ USB data acquisition system to synchronize all of the analog output, analog input, and digital I/O from the modules. For a system without a PC, CompactRIO holds up to eight modules and features a built-in processor, RAM, and storage for an embedded data logger or control unit. For higher-speed control, CompactRIO chassis incorporate an FPGA that you can program with NI LabVIEW software to achieve silicon-speed processing on I/O data from C Series modules.

[Back to Top](#)

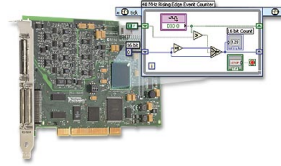
## Software Recommendations

### LabVIEW Professional Development System for Windows



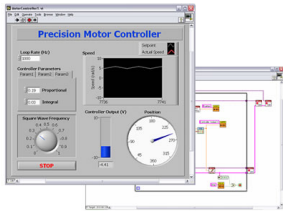
Advanced software tools for large project development  
Automatic code generation using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant  
Tight integration with a wide range of hardware  
Advanced measurement analysis and digital signal processing  
Open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects  
Capability to build DLLs, executables, and MSI installers

### NI LabVIEW FPGA Module



Create your own I/O hardware without VHDL coding or board design  
Graphically configure FPGAs on NI reconfigurable I/O (RIO) hardware targets  
Define your own control algorithms with loop rates up to 300 MHz  
Execute multiple tasks simultaneously and deterministically  
Implement custom timing and triggering logic, digital protocols, and DSP algorithms  
Incorporate existing HDL code and third-party IP including Xilinx CORE Generator functions

### NI LabVIEW Real-Time Module



Design deterministic real-time applications with LabVIEW graphical programming  
Download to dedicated NI or third-party hardware for reliable execution and a wide selection of I/O  
Take advantage of built-in PID control, signal processing, and analysis functions  
Automatically take advantage of multicore CPUs or set processor affinity manually  
Includes real-time operating system (RTOS), development and debugging support, and board support  
Purchase individually or as part of an NI Developer Suite bundle

[Back to Top](#)

## Support and Services

### System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at [ni.com/advisor](http://ni.com/advisor) to find a system assurance program to meet your needs.

### Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

### Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

**Support** - Visit [ni.com/support](http://ni.com/support) to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.

**Discussion Forums** - Visit [forums.ni.com](http://forums.ni.com) for a diverse set of discussion boards on topics you care about.

**Online Community** - Visit [community.ni.com](http://community.ni.com) to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

### Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit [ni.com/repair](http://ni.com/repair).

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- Training memberships** and training credits - to buy now and schedule training later.

Visit [ni.com/training](http://ni.com/training) for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit [ni.com/warranty](http://ni.com/warranty).

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem).


Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit [ni.com/alliance](http://ni.com/alliance).

[Back to Top](#)

Detailed Specifications

The following specifications are typical for the range – 40 to 70 °C unless otherwise noted.

| Output Characteristics  |  |
|---|--|
| Number of channels  | 8 digital output channels  |
| Relay type  | Normally open solid-state relay (SSR)  |
| Switching voltage   | 60 VDC max, 30 V <sub>rms</sub> max  |
| Switching current, per channel <sup>1</sup>   |  |
| All channels  | 0.75 A max   |
| Up to four channels   | 1.2 A max  |
| Switching rate (90% duty cycle) <sup>1</sup>  | 1 operation per second   |
| Relay open time   | 0.5 ms typ   |
| Relay close time  | 9.0 ms typ   |
| On resistance   | 200 mΩ max   |
| Off state leakage   | 30 μA typ  |
| MTBF  | 2,172,740 hours at 25 °C; Bellcore Issue 6, Method 1, Case 3, Limited Part Stress Method               |
|  <b>Note</b> | Contact NI for Bellcore MTBF specifications at other temperatures or for MIL-HDBK-217F specifications. |
| Power Requirements  |  |
| Power consumption from chassis  |  |
| Active mode   | 500 mW max   |
| Sleep mode  | 5 mW max   |
| Thermal dissipation (at 70 °C)  |  |
| Active mode   | 1.5 W max  |
| Sleep mode  | 5 mW max   |

## Physical Characteristics

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Screw-terminal wiring      | 12 to 24 AWG copper conductor wire with 10 mm (0.39 in.) of insulation stripped from the end |
| Ferrules                   | 0.25 mm <sup>2</sup> to 0.5 mm <sup>2</sup>  |
| Torque for screw terminals | 0.5 to 0.6 N · m (4.4 to 5.3 lb · in.)   |
| Weight                     | Approx. 145 g (5.1 oz)   |

## Safety

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

### Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

|                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| Channel a-to-Channel b | 60 VDC max, 30 V <sub>rms</sub> max |
|------------------------|-------------------------------------|

### Isolation

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Channel-to-channel      |  |
| Continuous              | 60 VDC   |
| Withstand               | 1,390 V <sub>rms</sub> , verified by a 5 s dielectric withstand test |
| Channel-to-earth ground |  |
| Continuous              | 250 V <sub>rms</sub> , Measurement Category II                       |
| Withstand               | 2,300 V <sub>rms</sub> , verified by a 5 s dielectric withstand test |

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet (e.g., 115 V for U.S. or 230 V for Europe). Examples of Measurement Category II are measurements performed on household appliances, portable tools, and similar products.

### Safety Standards

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1



**Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

### Hazardous Locations

|                |  |
|----------------|--|
| U.S. (UL)      | Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4 |
| Canada (C-UL)  | Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4  |
| Europe (DEMKO) | Ex nA IIC T4   |

## Environmental

National Instruments C Series modules are intended for indoor use only but may be used outdoors if installed in a suitable enclosure. Refer to the installation instructions for the chassis you are using for more information about meeting these specifications.

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2) | – 40 to 70 °C               |
| Storage temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)   | – 40 to 85 °C               |
| Ingress protection                                   | IP 40                       |
| Operating humidity (IEC 60068-2-56)                  | 10 to 90% RH, noncondensing |
| Storage humidity (IEC 60068-2-56)                    | 5 to 95% RH, noncondensing  |
| Maximum altitude                                     | 2,000 m                     |
| Pollution Degree (IEC 60664)                         | 2                           |

## Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the system and either use ferrules to terminate wires to the detachable screw-terminal connector or use the NI 9939 backshell kit to protect the connections.

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Operating vibration              |  |
| Random (IEC 60068-2-34)          | 5 g <sub>rms</sub> , 10 to 500 Hz  |
| Sinusoidal (IEC 60068-2-6)       | 5 g, 10 to 500 Hz  |
| Operating shock (IEC 60068-2-27) | 30 g, 11 ms half sine, 50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations |

## Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 EMC requirements; Industrial Immunity
- EN 55011 Emissions; Group 1, Class A
- CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions; Class A



**Note** For EMC compliance, operate this device with double-shielded cables.

## CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 73/23/EEC; Low-Voltage Directive (safety)
- 89/336/EEC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)



**Note** For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.

## Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by module number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

## Environmental Management

National Instruments is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial not only to the environment but also to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at [ni.com/environment](http://ni.com/environment). This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

## Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



**EU Customers** At the end of their life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit [ni.com/environment/weee.htm](http://ni.com/environment/weee.htm).

### 电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）

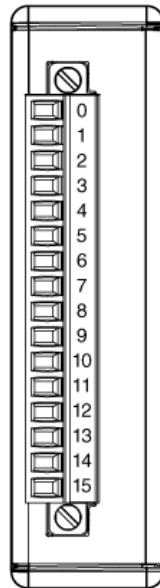


**中国客户** National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。  
关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china)。  
(For information about China RoHS compliance, go to [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china).)

<sup>1</sup> For additional specifications related to faster switching rates and/or higher currents at lower temperatures, go to [ni.com/info](http://ni.com/info) and enter the info code crd9485specs.

[Back to Top](#)

## Pinouts/Front Panel Connections

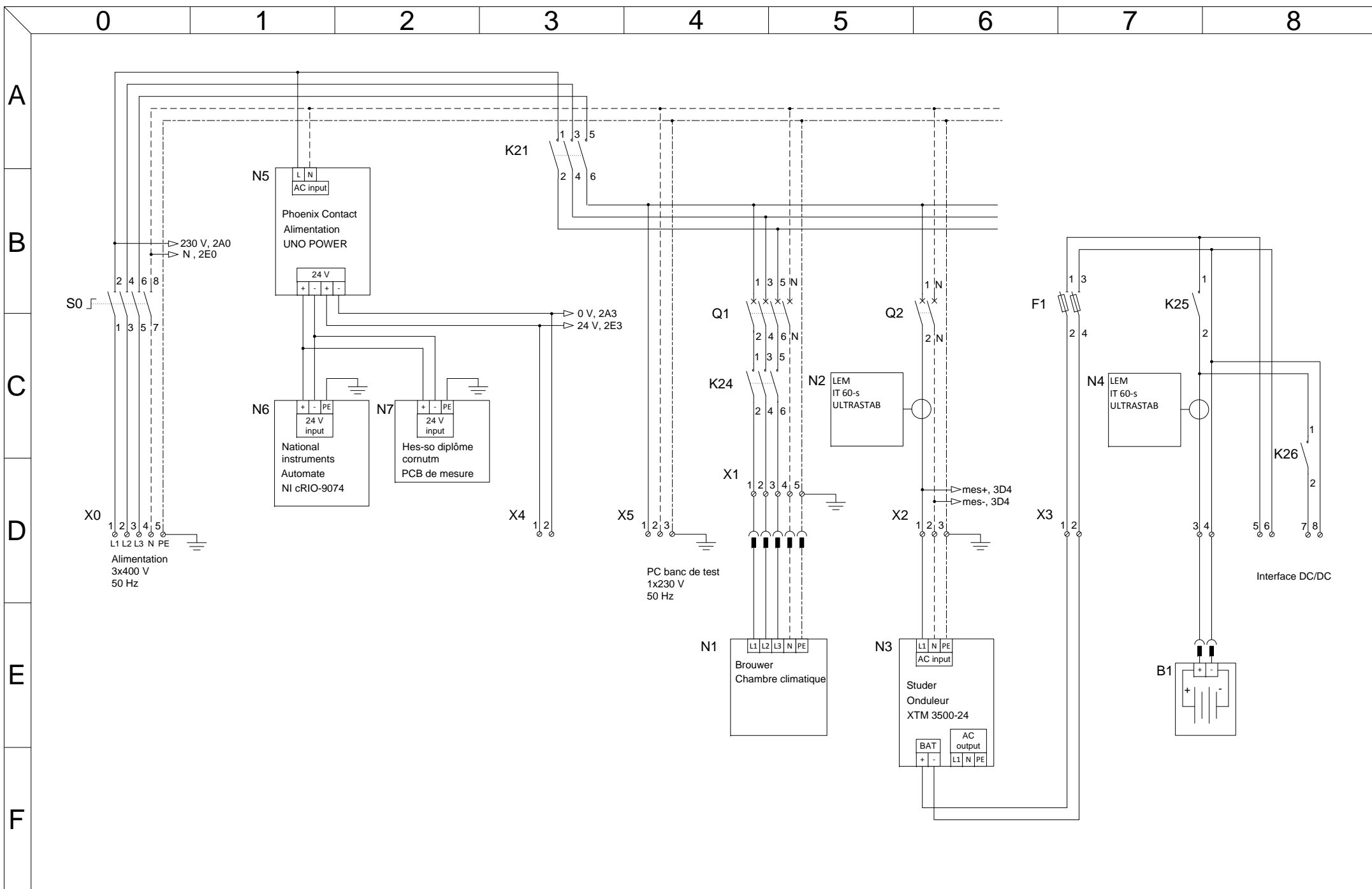


NI 9485 Terminal Assignments

[Back to Top](#)

©2010 National Instruments. All rights reserved. CompactRIO, CVI, FieldPoint, LabVIEW, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, NI CompactDAQ, and SignalExpress are trademarks of National Instruments. The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

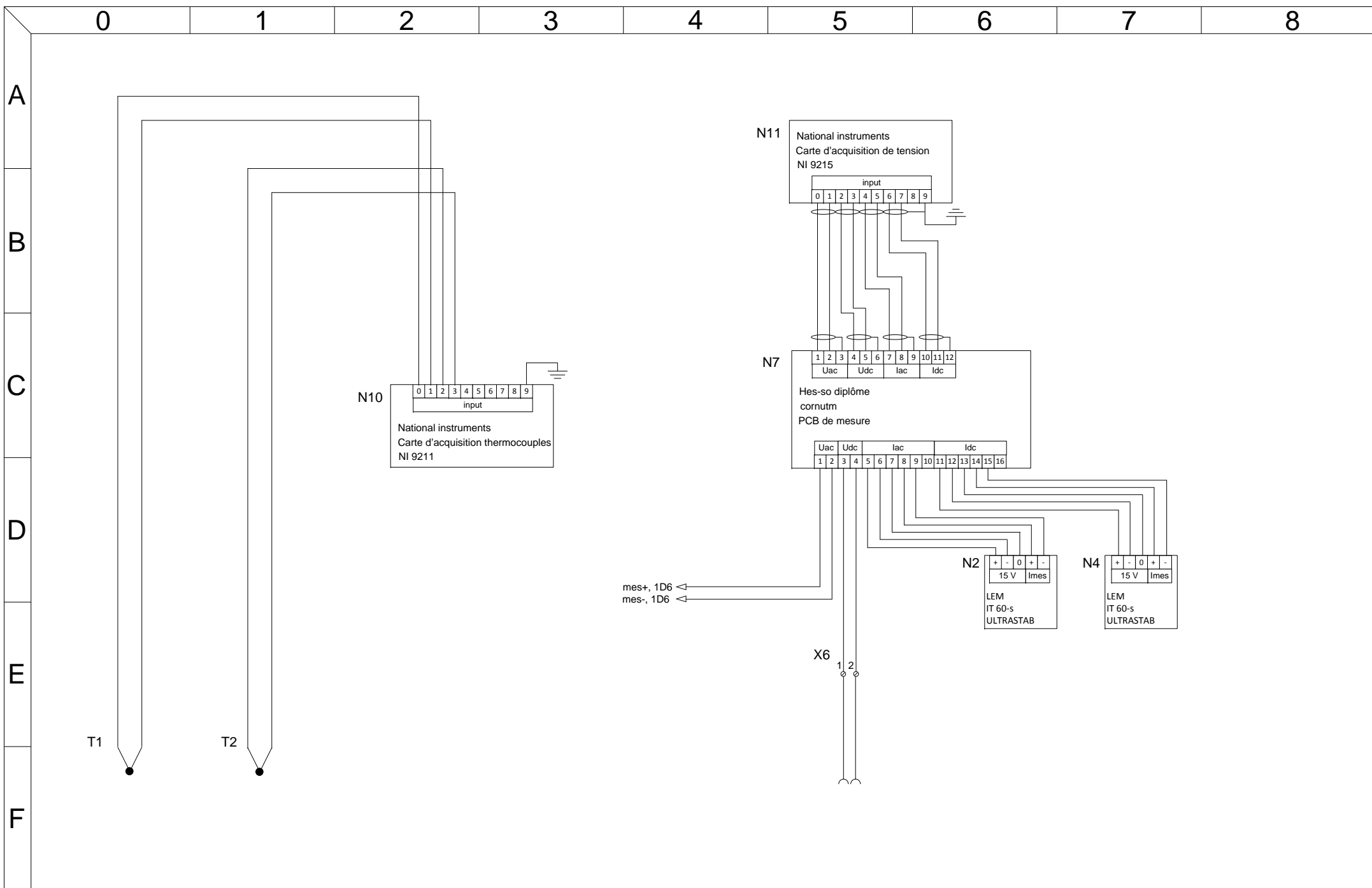
[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2012 National Instruments Corporation. All rights reserved.

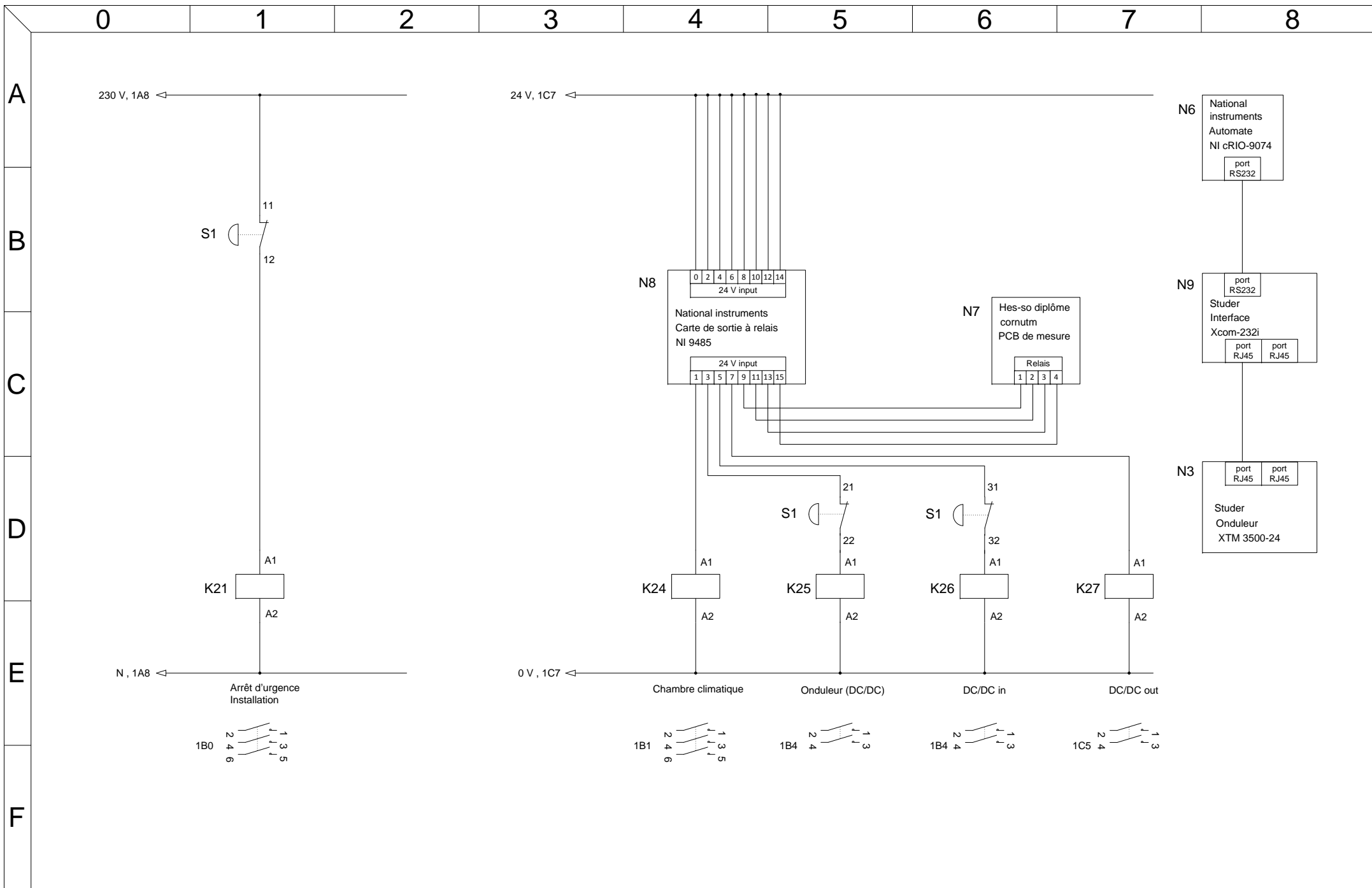


# Schéma électrique du banc de test Partie puissance

Dessiné : Cornut Mathias  
Contrôlé : Roggo Dominique

Date : Sion, le 10.06.2013  
Version : 3





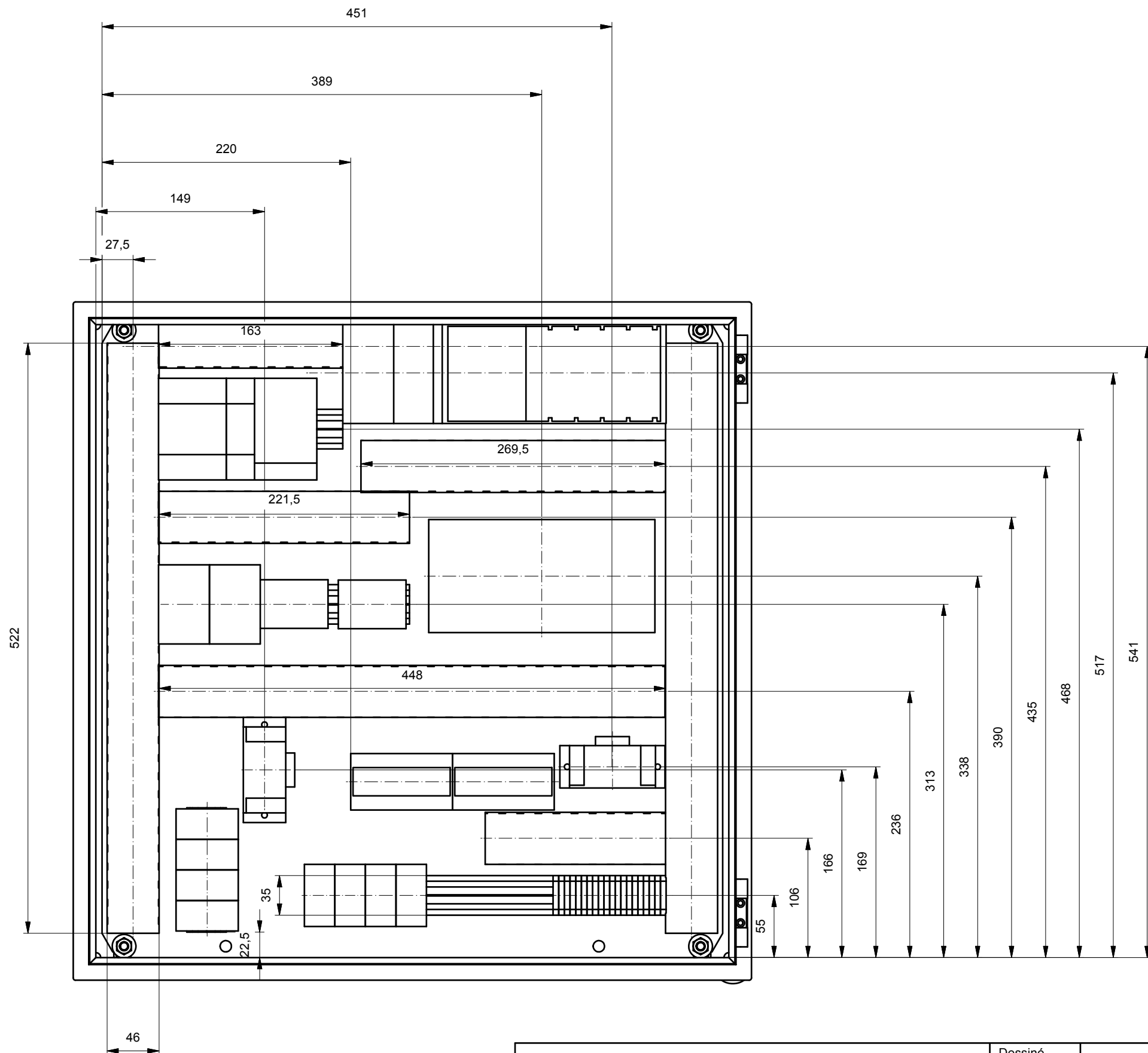
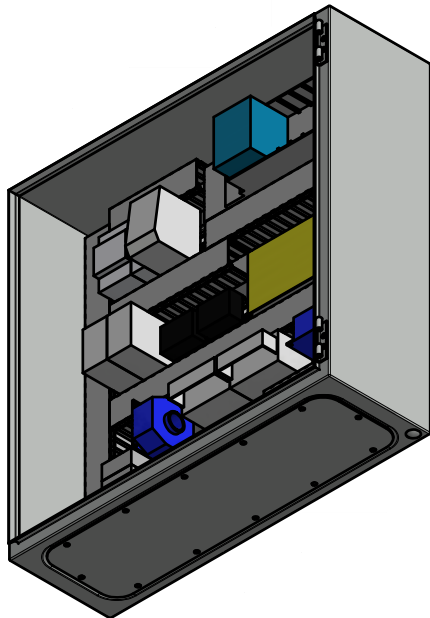
# Schéma électrique du banc de test Partie commande

Dessiné : Cornut Mathias

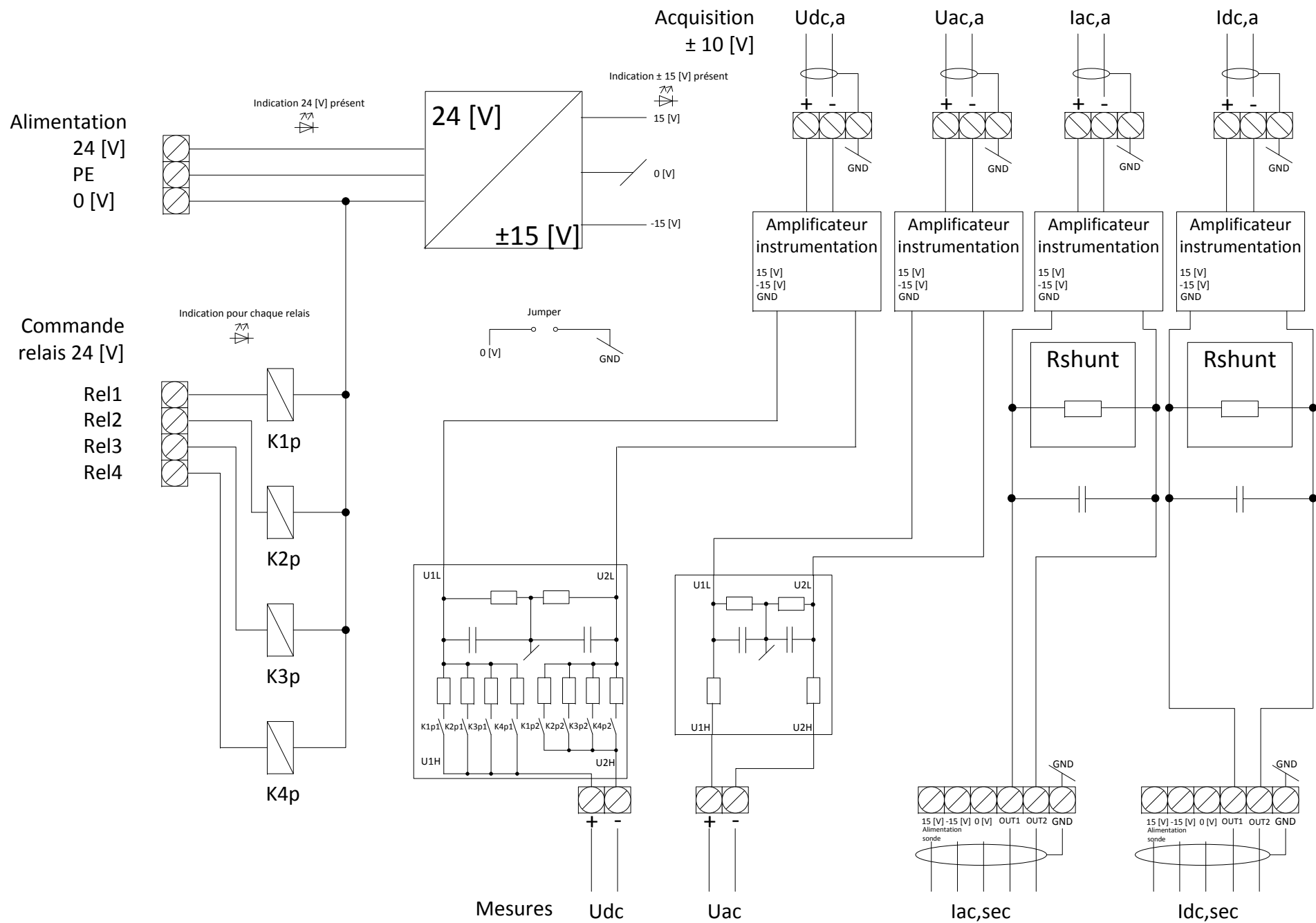
Contrôlé : Roggo Dominique

Date : Sion, le 29.05.2013

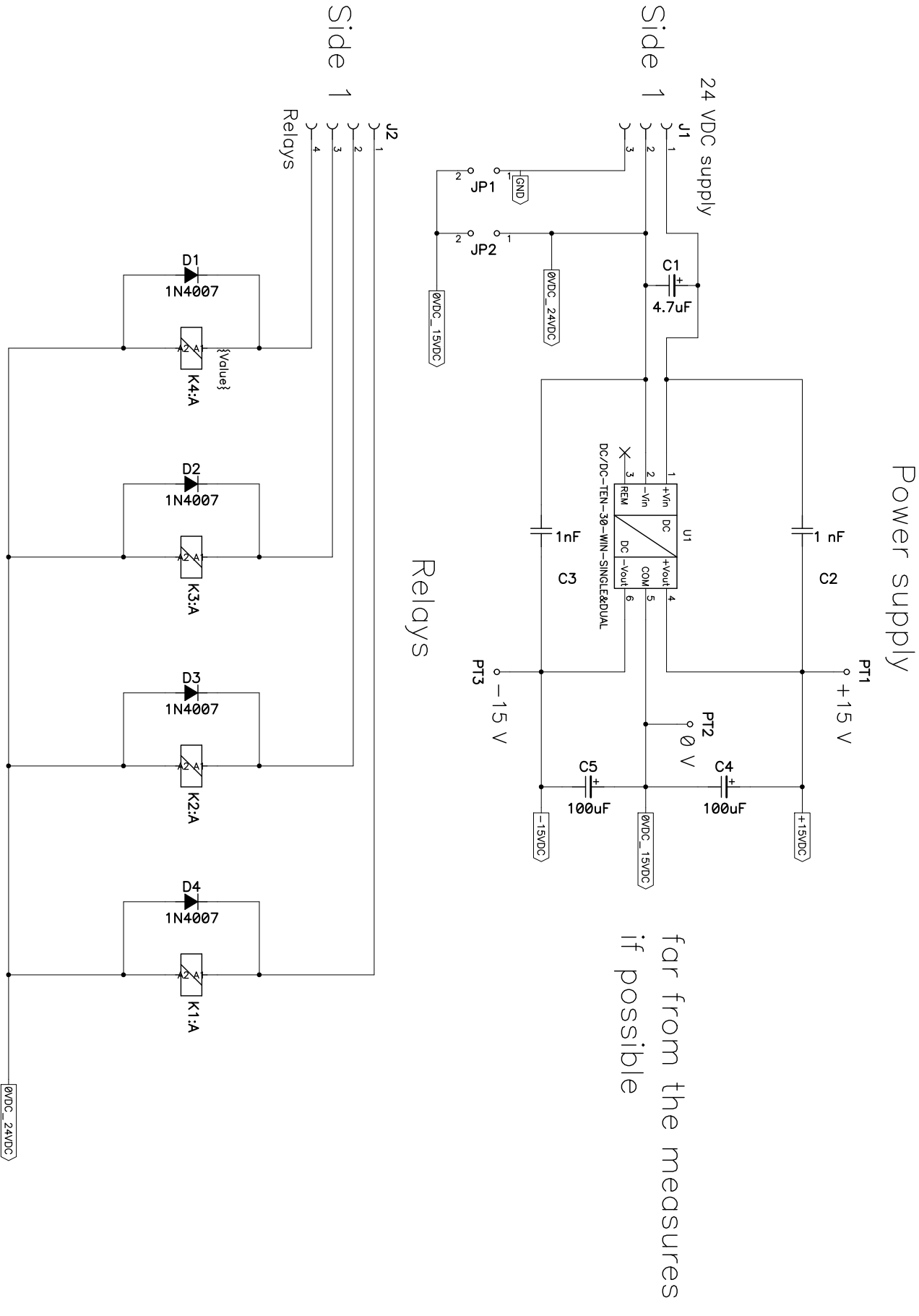
Version : 1



|   |                       |                |            |                     |
|---|-----------------------|----------------|------------|---------------------|
| Banc de test<br>Plan d'implantation   | Dessiné<br>Gezeichnet | Cornut Mathias | 02.07.2013 | Echelle<br>Massstab |
|   | Contrôle<br>Geprüft   |                |            | 1:4                 |
| Fichier R:\Diverses\BancTestBatterie\schemas_electriques_et_implantation\Inventor\implantation.idw<br>Datei |                       |                |            |                     |
| Hes·so VALAIS WALLIS  |                       |                | 1          |                     |

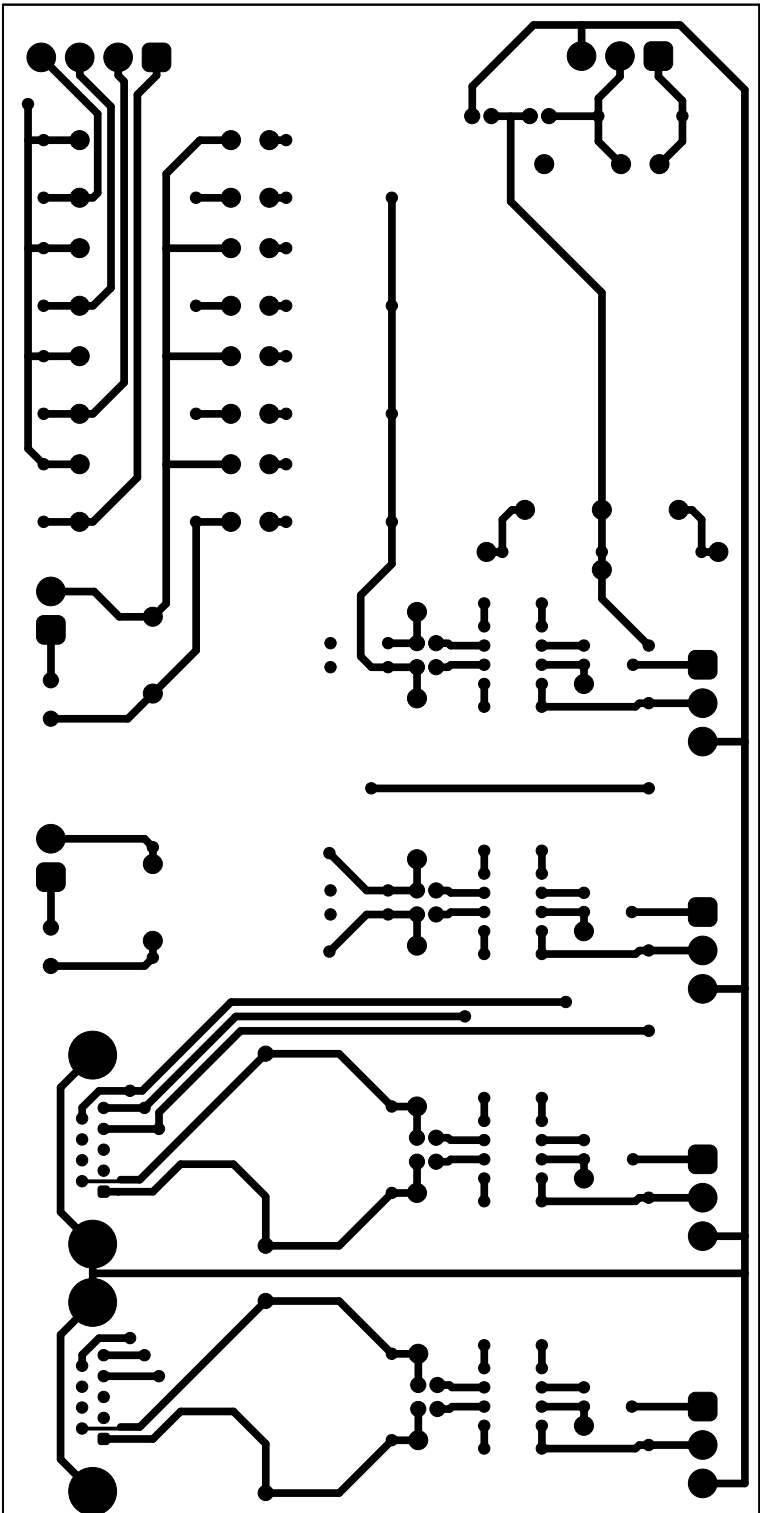




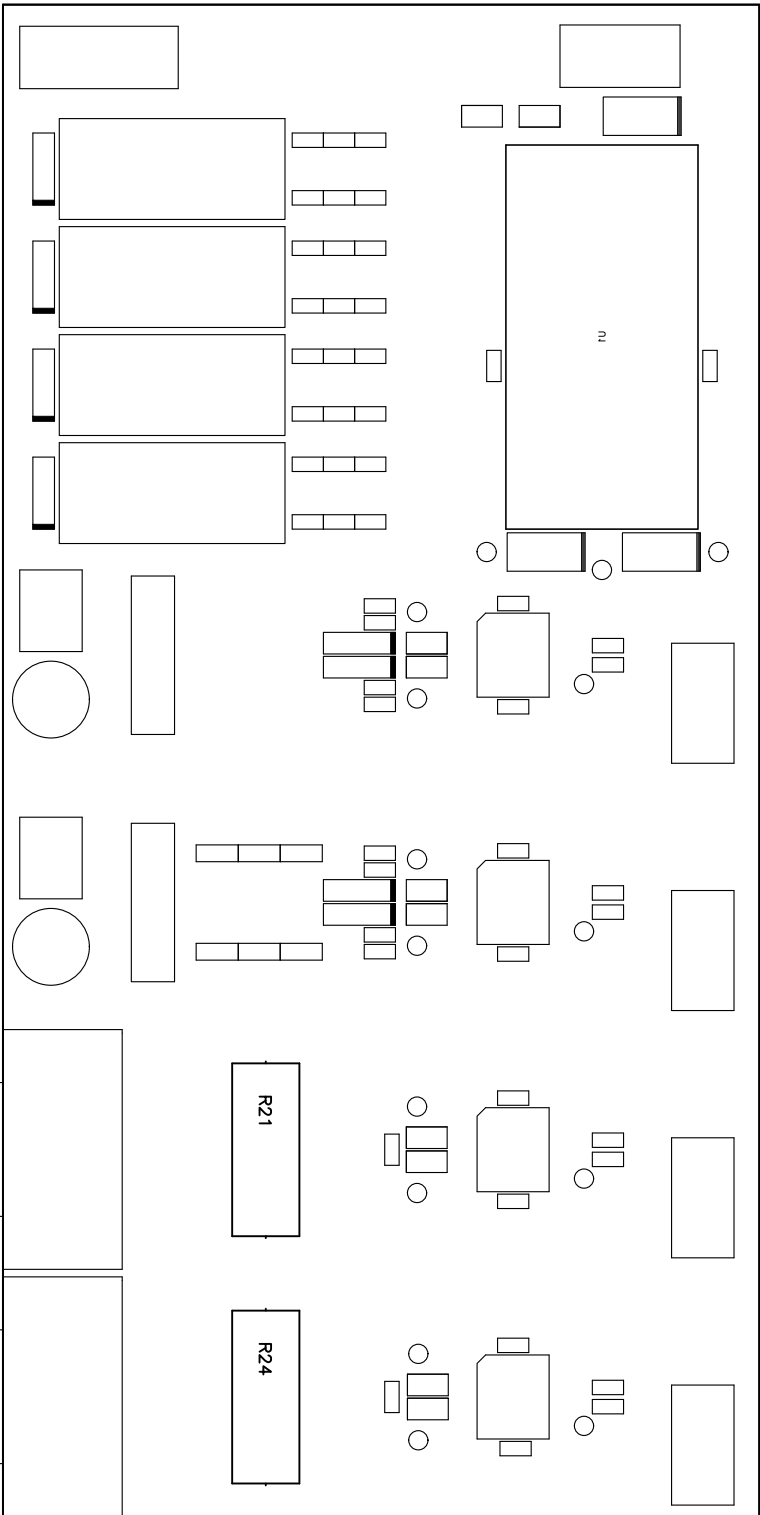


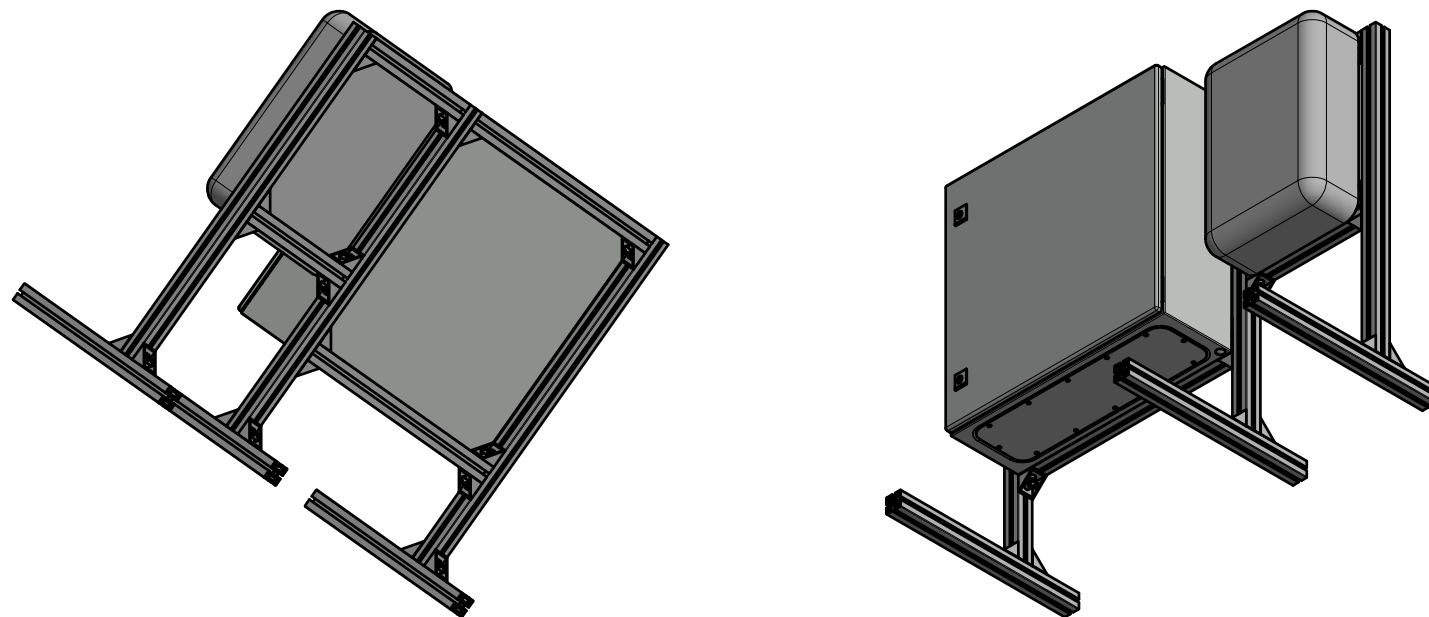
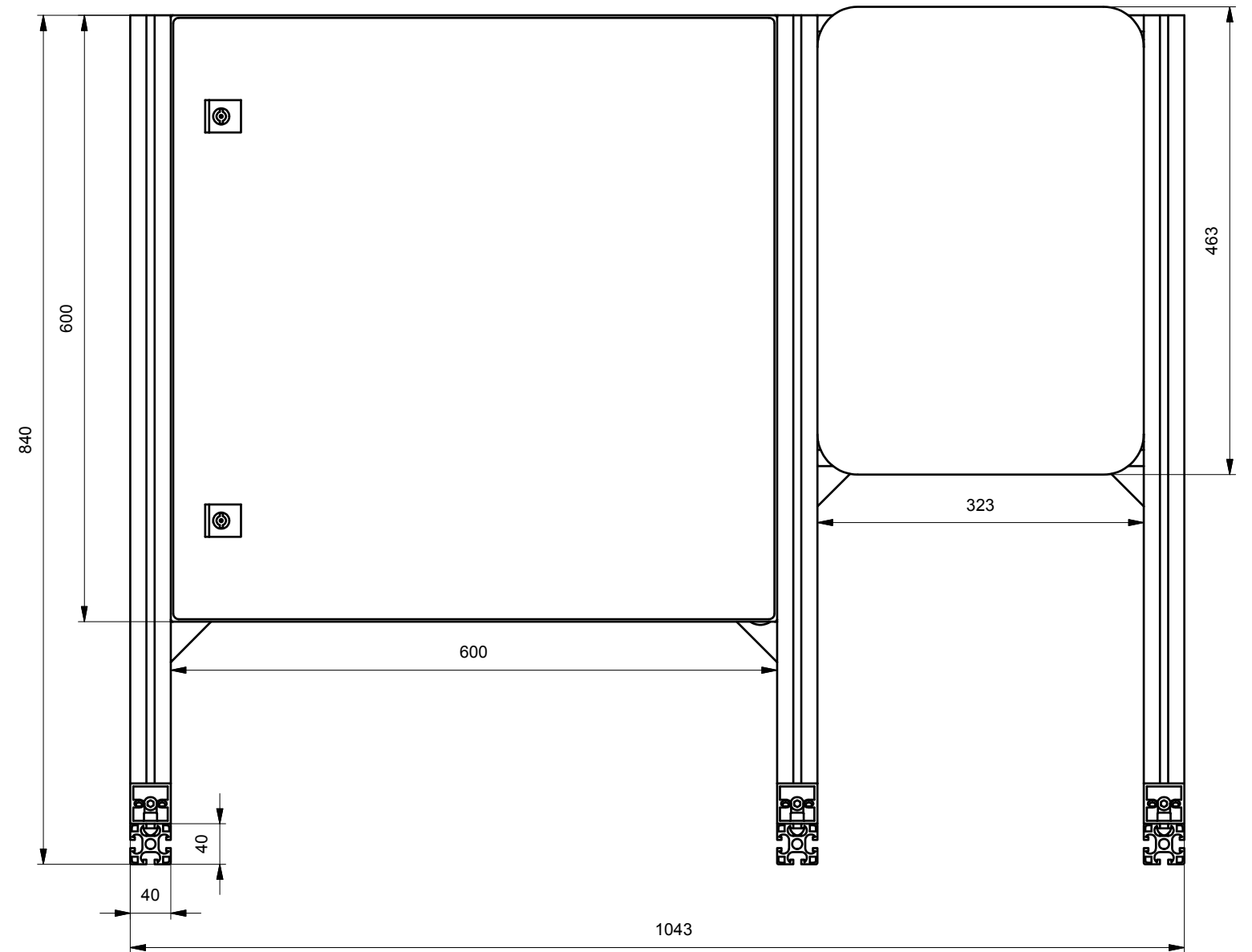
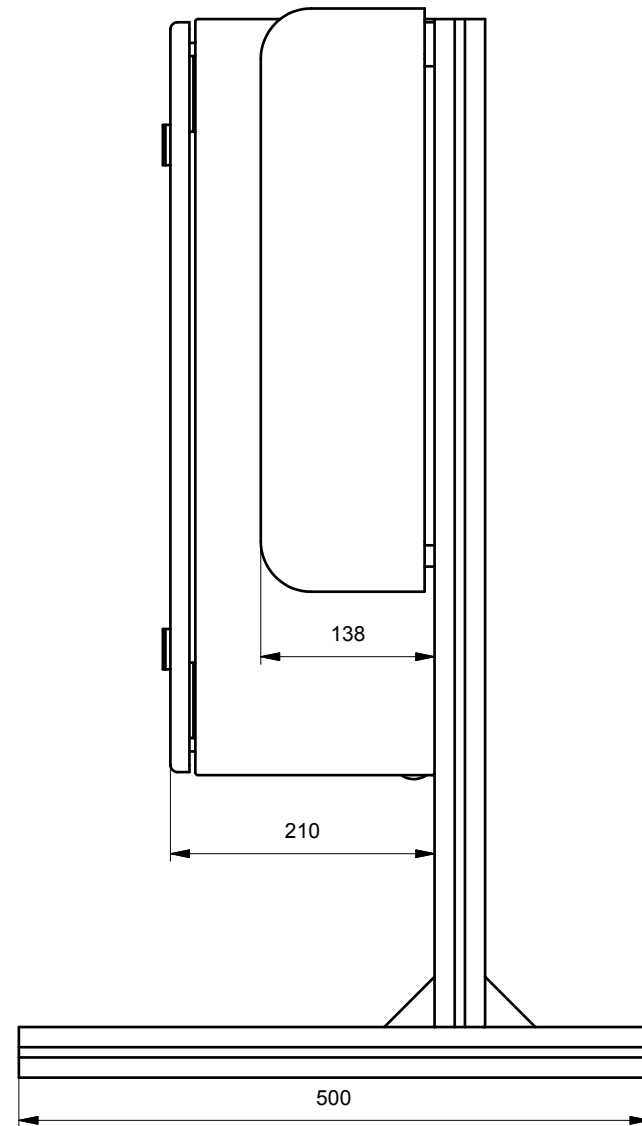
|                        |  |  |  |     |                                 |  |  |  |  |
|------------------------|--|--|--|-----|---------------------------------|--|--|--|--|
| Battery test bench     |  |  |  | DES | 03.06.2013 cornutm              |  |  |  |  |
| Measuring PCB          |  |  |  | REV | V1.0                            |  |  |  |  |
| HAUTE ECOLE VALAISANNE |  |  |  | 1/3 | {Path}<br>corte_mesure_v1_0.sch |  |  |  |  |




|                        | 0  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                              | 6 | 7 | 8 | 9 |                     |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |               |  |  |  |  |  |          |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                |  |  |  |   |
|------------------------|--|---|---|---|---|--------------------------------|---|---|---|---|---------------------|--|--|--|--|--|--------------------|--|--|--|---------------|--|--|--|--|--|----------|--|--|--|------------------------|--|--|--|--|--|--------------------------------|--|--|--|---|
| A                      |   |   |   |   |   |                                |   |   |   |   | A                   |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |               |  |  |  |  |  |          |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                |  |  |  |   |
| B                      |  |   |   |   |   |                                |   |   |   |   | B                   |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |               |  |  |  |  |  |          |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                |  |  |  |   |
| C                      |  |   |   |   |   |                                |   |   |   |   | C                   |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |               |  |  |  |  |  |          |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                |  |  |  |   |
| D                      |  |   |   |   |   |                                |   |   |   |   | D                   |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |               |  |  |  |  |  |          |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                |  |  |  |   |
| E                      |  |   |   |   |   |                                |   |   |   |   | E                   |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |               |  |  |  |  |  |          |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                |  |  |  |   |
| F                      | <table><tr><td colspan="6">TSTD Cornut Mathias</td><td colspan="2">DES 06.06.2013 ARC</td><td colspan="2" rowspan="3"></td></tr><tr><td colspan="6">Carte Mesures</td><td>REV V1.0</td><td colspan="3" rowspan="2"></td></tr><tr><td colspan="6">HAUTE ECOLE VALAISANNE</td><td colspan="4">DATA01 \ carte_mesure_v1_0.pcb</td></tr></table> |   |   |   |   |                                |   |   |   |   | TSTD Cornut Mathias |  |  |  |  |  | DES 06.06.2013 ARC |  |  |  | Carte Mesures |  |  |  |  |  | REV V1.0 |  |  |  | HAUTE ECOLE VALAISANNE |  |  |  |  |  | DATA01 \ carte_mesure_v1_0.pcb |  |  |  | F |
| TSTD Cornut Mathias    |  |   |   |   |   | DES 06.06.2013 ARC             |   |   |   |   |                     |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |               |  |  |  |  |  |          |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                |  |  |  |   |
| Carte Mesures          |  |   |   |   |   | REV V1.0                       |   |   |   |   |                     |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |               |  |  |  |  |  |          |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                |  |  |  |   |
| HAUTE ECOLE VALAISANNE |  |   |   |   |   | DATA01 \ carte_mesure_v1_0.pcb |   |   |   |   |                     |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |               |  |  |  |  |  |          |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                |  |  |  |   |
|                        | 0  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                              | 6 | 7 | 8 | 9 |                     |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |               |  |  |  |  |  |          |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                |  |  |  |   |

[illegible]

|                        | 0  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                                | 6              | 7 | 8 | 9 |                     |  |  |  |  |  |     |                |  |  |  |               |  |  |  |  |  |     |      |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |   |
|------------------------|--|---|---|---|---|----------------------------------|----------------|---|---|---|---------------------|--|--|--|--|--|-----|----------------|--|--|--|---------------|--|--|--|--|--|-----|------|--|--|--|------------------------|--|--|--|--|--|----------------------------------|--|--|--|--|---|
| A                      | <div></div>   |   |   |   |   |                                  |                |   |   |   | A                   |  |  |  |  |  |     |                |  |  |  |               |  |  |  |  |  |     |      |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |   |
| B                      |  |   |   |   |   |                                  |                |   |   |   | B                   |  |  |  |  |  |     |                |  |  |  |               |  |  |  |  |  |     |      |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |   |
| C                      |  |   |   |   |   |                                  |                |   |   |   | C                   |  |  |  |  |  |     |                |  |  |  |               |  |  |  |  |  |     |      |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |   |
| D                      |  |   |   |   |   |                                  |                |   |   |   | D                   |  |  |  |  |  |     |                |  |  |  |               |  |  |  |  |  |     |      |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |   |
| E                      |  |   |   |   |   |                                  |                |   |   |   | E                   |  |  |  |  |  |     |                |  |  |  |               |  |  |  |  |  |     |      |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |   |
| F                      | <div><table><tr><td colspan="6">TSTD Cornut Mathias</td><td>DES</td><td colspan="4">06.06.2013 ARC</td></tr><tr><td colspan="6">Carte Mesures</td><td>REV</td><td colspan="4" rowspan="2">V1.0</td></tr><tr><td colspan="6">HAUTE ECOLE VALAISANNE</td><td colspan="5">DATA01\<br/>carte_mesure_v1_0.pcb</td></tr></table></div> |   |   |   |   |                                  |                |   |   |   | TSTD Cornut Mathias |  |  |  |  |  | DES | 06.06.2013 ARC |  |  |  | Carte Mesures |  |  |  |  |  | REV | V1.0 |  |  |  | HAUTE ECOLE VALAISANNE |  |  |  |  |  | DATA01\<br>carte_mesure_v1_0.pcb |  |  |  |  | F |
| TSTD Cornut Mathias    |  |   |   |   |   | DES                              | 06.06.2013 ARC |   |   |   |                     |  |  |  |  |  |     |                |  |  |  |               |  |  |  |  |  |     |      |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |   |
| Carte Mesures          |  |   |   |   |   | REV                              | V1.0           |   |   |   |                     |  |  |  |  |  |     |                |  |  |  |               |  |  |  |  |  |     |      |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |   |
| HAUTE ECOLE VALAISANNE |  |   |   |   |   | DATA01\<br>carte_mesure_v1_0.pcb |                |   |   |   |                     |  |  |  |  |  |     |                |  |  |  |               |  |  |  |  |  |     |      |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |   |
|                        | 0  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                                | 6              | 7 | 8 | 9 |                     |  |  |  |  |  |     |                |  |  |  |               |  |  |  |  |  |     |      |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |                                  |  |  |  |  |   |



|  |   |                        |   |
|--|---|------------------------|---|
| 1  | 3   | Aluminium              | profile_aluminium_800_mm                                |
| 2  | 2   | Aluminium              | profile_aluminium_600_mm                                |
| 3  | 2   | Aluminium              | profile_aluminium_323_mm                                |
| 4  | 3   | Aluminium              | profile_aluminium_500_mm                                |
| 5  | 1   |                        | Compact Enclosures - AE                                 |
| 6  | 1   | Acier / Stahl          | XTM 3500-24   |
| 7  | 18  | Acier / Stahl          | Equerre Item  |
| 8  | 43  | Acier / Stahl          | Ecrou Item  |
| 9  | 43  | Acier inoxydable, 440C | Vis cylindrique à six pans creux ISO 4762 - M8 x 16     |
| Pos.<br>Pos.   | Quantité<br>Menge   | Matière<br>Werkstoff   | Dénomination / Caractéristiques<br>Benennung / Merkmale |
| Banc de test pour batteries  |   |                        | Dessiné<br>Gezeichnet                                   |
| Vue d'ensemble   |   |                        | cornutm   |
|  |   |                        | 22.05.2013  |
|  |   |                        | Echelle<br>Massstab                                     |
|  |   |                        | 1:6   |
| Fichier<br>Datei   | R:\Diverses\BancTestBatterie\schemas_mecaniques\assemblage_banc_de_test_batteries.idw |                        |   |
| <b>Hes·so</b>  <b>VALAIS<br/>WALLIS</b> |   |                        |   |



**Rittal AG**, Ringstrasse 1, CH-5432 Neuenhof

HES-SO Valais  
Route de Rawyl 47  
Case postalee  
1950 Sion 2

## Offre

|                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| <b>Offre</b>           | <b>N° client</b>            |
| 1050035857             | 51005479                    |
| <b>Réf Client/Date</b> | <b>Date fin de validité</b> |
| Coffret AE/23.05.2013  | 21.08.2013                  |
| <b>Cl.émetteur</b>     | <b>Date</b>                 |
| Mathias Cornut         | 23.05.2013                  |
| Tel: 079 265 34 52     |                             |

Page 1

Monsieur,

Nous vous remercions de votre demande du 22 mai 2013 et de l'intérêt que vous portez à nos produits.  
C'est avec plaisir que nous vous remettons notre meilleure offre avec son descriptif,  
délai de livraison ainsi que, en annexe, nos conditions de vente.

| Pos                      | Désignation Produit   | Quantité | Prix à l'unité | Total en CHF  |
|--------------------------|---|----------|----------------|---------------|
| 10                       | <b>1060500</b><br>Coffret AE avec plaque de montage<br>BHT: 600 x 600 x 210<br>AE ARMOIRE ELEC LAQUEE AVEC P.D.M.<br><b>N° du Tarif douanier:</b> 94032080, <b>Pays d'origine:</b> DE | 1 PC     |                |               |
|                          | Prix de base  | 1 PC     | 132,00 CHF     | 132,00        |
|                          | Remise  |          | -15,00 %       | -19,80        |
|                          | Prix net de la position   | 1 PC     | 112,20 CHF     | 112,20        |
| <b>Total net CHF</b>     |   |          |                | <b>112,20</b> |
| Frais de livr.           |   |          |                | 25,00         |
| Total net                |   |          |                | 137,20        |
| Total TVA base           |   |          |                | 11,00         |
| d'imposition             |   |          |                |               |
| <b>Prix total en CHF</b> |   |          |                | <b>148,20</b> |

**Poids brut** 22,800 KG

**Poids net** 21,500 KG

**Volume** 75,600 CDM

**Paiement** 30 jours net



HES-SO Valais  
Route de Rawyl 47  
1950 Sion 2

**N° offre/Date**  
1050035857 / 23.05.2013

Page 2

|                           |                     |
|---------------------------|---------------------|
| <b>Cond. livraison</b>    | Transporteur        |
| <b>Incoterm</b>           | Contrat de frêt     |
| <b>Responsable client</b> | Fiona Despont       |
| N° téléphone              | (0)56 416 06 97     |
| N° fax                    | (0)56 416 06 66     |
| e-mail                    | despont.f@rittal.ch |
| <b>Representant</b>       | Julien Gaillard     |

Délai de livraison : ~1-2 semaines dès réception de votre commande

En vous remerciant de l'intérêt que vous portez à nos produits et dans l'attente d'une réponse favorable, nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur nos salutations distinguées.

Votre Team Rittal

**Nos conditions générales sont disponibles sur internet <http://www.rittal.ch>, nous vous les envoyons également volontiers.**

**Ce document est édité électroniquement et est valable aussi sans signature.**

| Liste de matériel et budget |                        |   |                      |             |              |        |             |                          |                     |                    |
|-----------------------------|------------------------|---|----------------------|-------------|--------------|--------|-------------|--------------------------|---------------------|--------------------|
| Numéro                      | Repère                 | Description   | Prix unitaire en CHF | Rabais en % | Offre        | Nombre | Prix en CHF | Statut                   | Fournisseur         | Numéro fournisseur |
| 1                           | X0, X1, X2, X4, X5, X6 | Borne Woerz 4 mm2 gris                                  | 0.91                 | 0           |              | 20     | 18.2        | Reçu                     | EM                  |                    |
| 2                           | X0, X1, X2, X5         | Borne Woerz 4 mm2 bleu                                  | 0.92                 | 0           |              | 5      | 4.6         | Reçu                     | EM                  |                    |
| 3                           | X0, X1, X2, X5         | Borne de protection PX 4mm2 jaune vert                  | 8.74                 | 0           |              | 5      | 43.7        | Reçu                     | EM                  |                    |
| 4                           | X3                     | Borne de dérivation Woertz 70 mm2 gris                  | 14.55                | 0           |              | 8      | 116.4       | Reçu                     | EM                  |                    |
| 5                           | N1                     | Chambre climatique                                      |                      | 0           |              | 1      | 0           | Initialement à la Hes-so |                     |                    |
| 6                           | N2, N4                 | Sonde LEM IT 60-s                                       | 626.1                | 0           | 1413001736   | 2      | 1252.2      | Initialement à la Hes-so | LEM                 | IT 60-S ULTRASTAB  |
| 7                           | N3                     | Onduleur XTM 3500-24                                    |                      | 0           |              | 1      | 0           | Initialement à la Hes-so |                     |                    |
| 8                           | N5                     | Alimentation UNO POWER 24 V                             | 88.05                | 40          | Louis Monnet | 1      | 52.83       | Reçu                     | Phoenix Contact     | 2902993            |
| 9                           | N6                     | Ni cRIO-9074  | 3530                 | 70          |              | 1      | 1059        | Reçu                     | National Instrument | 779999-01          |
| 10                          | N8                     | NI 9485   | 420                  | 10          |              | 1      | 378         | Reçu                     | National Instrument | 779600-01          |
| 11                          | N9                     | Xcom-232i   |                      | 0           |              | 1      | 0           | Initialement à la Hes-so |                     |                    |
| 12                          | N10                    | NI 9211   | 430                  | 10          |              | 1      | 387         | Reçu                     | National Instrument | 779001-01          |
| 13                          | N11                    | NI 9215   | 655                  | 10          |              | 1      | 589.5       | Reçu                     | National Instrument | 779011-01          |
| 14                          | S0                     | Interrupteur principal 0/4L 25 A 500 V cadenassable     | 59.07                | 0           |              | 1      | 59.07       | Reçu                     | EM                  |                    |
| 15                          | S1                     | Bouton poussoir d'arrêt d'urgence                       |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so |                     |                    |
| 16                          | K21                    | Contacteur AC 3 pôles bobine 230 VAC                    | 110                  | 0           |              | 1      | 110         | Reçu                     | EM                  |                    |
| 17                          | K24                    | Contacteur AB 9A/4kW 24 VDC 1S, 100-C09EJ10             | 98.6                 | 0           |              | 1      | 98.6        | Reçu                     | EM                  |                    |
| 18                          | K25, K26, K27          | Contacteur DC 2 pôles Omron G9EC-1                      | 245.16               | 0           |              | 3      | 735.48      | Remplacés                | Distrelec           | 418047             |
| 19                          | Q1                     | Disjoncteur 3P+N Hager C 6kA 3P 10A                     | 68.75                | 0           |              | 1      | 68.75       | Reçu                     | EM                  |                    |
| 20                          | Q2                     | Disjoncteur P+N Hager D 10kA 1P 16A                     | 22.8                 | 0           |              | 1      | 22.8        | Reçu                     | EM                  |                    |
| 21                          | F1                     | Porte fusible Weber-Uniline UL-00/DIN                   | 59.35                | 0           |              | 2      | 118.7       | Reçu                     | EM                  |                    |
| 22                          | F1                     | Fusible HPC DIN-00 400V/160A gL/gG                      | 7.2                  | 0           |              | 2      | 14.4        | Reçu                     | EM                  |                    |
| 23                          | B1                     | Batterie 12 V   |                      | 0           |              | 2      | 0           | Initialement à la Hes-so |                     |                    |
| 24                          | T1, T2                 | Thermocouple type K                                     | 28.6                 | 0           |              | 2      | 57.2        | Reçu                     | Distrelec           | 242018             |
| 25                          |                        | Presse étoupe câble 5x                                  | 5                    | 0           |              | 1      | 5           | Reçu                     | EM                  |                    |
| 26                          |                        | Presse étoupe câble 3x                                  | 5                    | 0           |              | 3      | 15          | Reçu                     | EM                  |                    |
| 27                          |                        | Presse étoupe thermocouple                              | 5                    | 0           |              | 2      | 10          | Reçu                     | EM                  |                    |
| 28                          |                        | Presse étoupe DC  | 5                    | 0           |              | 8      | 40          | Reçu                     | EM                  |                    |
| 29                          |                        | Câble 5x  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 30                          |                        | Câble 3x  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 31                          |                        | Fil brun  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 32                          |                        | Fil noir  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 33                          |                        | Fil gris  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 34                          |                        | Fil bleu  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 35                          |                        | Fil jaune-vert  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 36                          |                        | Fil brun  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 37                          |                        | Fil bleu  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 38                          |                        | Fil jaune-vert  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 39                          |                        | Fil rouge   | 7.69                 | 0           |              | 10     | 76.9        | reçu                     | EM                  |                    |
| 40                          |                        | Fil noir  | 7.54                 | 0           |              | 10     | 75.4        | Reçu                     | EM                  |                    |
| 41                          |                        | Fil violet  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 42                          |                        | Fil bleu foncé  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 43                          |                        | Prise T15 5P 10 A, 400 V                                | 13.5                 | 0           |              | 1      | 13.5        | reçu                     | EM                  |                    |
| 44                          |                        | Fiche   |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so |                     |                    |
| 45                          |                        | Connecteur pour batterie                                |                      | 0           |              | 4      |             | Initialement à la Hes-so |                     |                    |
| 46                          |                        | Vis nylon   |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 47                          |                        | Ecrou nylon   |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 48                          |                        | Rail DIN  | 4.3                  | 0           |              | 3      | 12.9        | Reçu                     | EM                  |                    |
| 49                          |                        | Canal à câble   | 10.55                | 0           |              | 4      | 42.2        | Reçu                     | EM                  |                    |
| 50                          |                        | Embout  |                      | 0           |              | 1      |             | Initialement à la Hes-so | EM                  |                    |
| 51                          |                        | Armoire électrique                                      | 132                  | 15          | 51005479     | 1      | 112.2       | Reçu                     | Rittal              | 1060500            |
| 52                          |                        | Connecteurs cRIO  | 39                   | 10          |              | 3      | 105.3       | Reçu                     | National Instrument | 779017-01          |
| 53                          |                        | Câble Ethernet  |                      | 0           |              | 1      | 0           | Initialement à la Hes-so |                     |                    |
| 54                          |                        | TracoPower  | 87.48                | 0           |              | 1      | 87.48       | reçu                     | Distrelec           | 361647             |
| 55                          |                        | Relais pour print Omron G2R-2 24VDC                     | 5.08                 | 0           |              | 5      | 25.4        | reçu                     | Distrelec           | 400091             |
| 57                          |                        | Amplificateur d'instrumentation INA128PA                | 17.6                 | 0           |              | 5      | 88          | reçu                     | Distrelec           | 648141             |
| 58                          |                        | Résistances de précision                                | 49.21                | 0           |              | 1      | 49.21       | reçu                     | Distrelec           |                    |
| 59                          |                        | Châssis ITEM  | 300                  | 0           |              | 1      | 300         | Reçu                     | Item                |                    |
| 60                          |                        | Sectionneur de neutre                                   | 10.9                 | 0           |              | 2      | 21.8        | Reçu                     | EM                  |                    |
| 61                          |                        | Arrêt de bornes   | 0.834                | 0           |              | 10     | 8.34        | Reçu                     | EM                  |                    |
| 62                          |                        | Résistance, +-1 %, 1 W, +- 20 ppm/°C, 10Ω, axial leaded | 2.9                  | 0           |              | 3      | 8.7         | Reçu                     |                     |                    |
| 63                          |                        | Résistance, +-0.1 %, 100 mW, +- 10 ppm/°C, 5.6kΩ, 0805  | 1.45                 | 0           |              | 3      | 4.35        | Reçu                     |                     |                    |
| 64                          |                        | Résistance, +-0.1 %, 200 mW, +- 25 ppm/°C, 50kΩ, 0805   | 2.9                  | 0           |              | 3      | 8.7         | Reçu                     |                     |                    |
| 65                          |                        | Résistance, +-0.1 %, 250 mW, +- 25 ppm/°C, 220kΩ, 1206  | 1.3                  | 0           |              | 3      | 3.9         | Reçu                     |                     |                    |
| 66                          |                        | Résistance, +-0.1 %, 125 mW, +- 10 ppm/°C, 2.8kΩ, 0805  | 0.592                | 0           |              | 3      | 1.776       | Reçu                     |                     |                    |
| 67                          |                        | Résistance, +-0.05 %, 125 mW, +- 10 ppm/°C, 10kΩ, 0805  | 1.65                 | 0           |              | 3      | 4.95        | Reçu                     |                     |                    |
| 68                          |                        | Résistance, +-0.05 %, 125 mW, +- 10 ppm/°C, 1kΩ, 0805   | 1.6                  | 0           |              | 3      | 4.8         | Reçu                     |                     |                    |
| 69                          |                        | Résistance, +-0.1 %, 125 mW, +- 10 ppm/°C, 30kΩ, 0805   | 1.45                 | 0           |              | 3      | 4.35        | Reçu                     |                     |                    |
| 70                          |                        | Résistance, +-0.1 %, 125 mW, +- 10 ppm/°C, 90.9kΩ, 0805 | 0.592                | 0           |              | 3      | 1.776       | Reçu                     |                     |                    |
| 71                          |                        | Résistance, +-1 %, 130 mW, +- 100 ppm/°C, 1.2MΩ, 1206   | 0.169                | 0           |              | 3      | 0.507       | Reçu                     |                     |                    |
| 72                          |                        | Condensateur +-10 % 25 V, 0805                          | 0.02                 | 0           |              | 3      | 0.06        | Reçu                     |                     |                    |
| 73                          |                        | Condensateur +-10 % 250 V, 0805                         | 0.89                 | 0           |              | 6      | 5.34        | Reçu                     |                     |                    |
| 74                          |                        |   |                      | 0           |              |        | 0           |                          |                     |                    |
| 75                          |                        |   |                      | 0           |              |        | 0           |                          |                     |                    |

| Total sans rabais en CHF | Total en CHF | Marge en % | Budget en CHF |
|--------------------------|--------------|------------|---------------|
| 9012.489                 | 6324.269     | 10         | 6956.6959     |

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)

Route du rawyl 47

Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575

CH-1950 Sion 2

**Farnell AG**

## Commande

**Numéro COS13115**

Baarerstrasse 38

**6300 Zug**

Secteur Power and control

Rubrique 310000

Référence cos

Tel: 044 204 64 64

Fax: 044 204 64 54

email: ventes.ch@farnell.com

Veuillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

**Sion, le 13.juin.13**

**B103, TD Cornut Mathias, Roggo Dominique**

| Quantité             | Référence article   | Désignation                          | Prix unitaire | Total CHF |
|----------------------|---|--------------------------------------|---------------|-----------|
| 2                    | 2061248   | CRYDOM - DC100D80 - SSR, 80A, 100VDC | 130.05        | 260.10    |
| Power & Control      |   |                                      |               |           |
| Paielement           | 30 jours net  | Sous-total                           |               |           |
| Délais de livraison  | Dès que possible  | Rabais 0.0%                          |               |           |
| Adresse de livraison | Hes-so//Valais<br>Haute Ecole Spécialisée<br>Costa christian, Resp. achats<br>Route du Rawyl 47<br>CH-1950 Sion 2 | TVA 8.0% 20.80                       |               |           |
| Personne de contact  | Mathias Cornut, étudiant  | Total CHF 280.90                     |               |           |
| E-mail               | mathias.cornut@students.hevs.ch   |                                      |               |           |

Avec nos remerciements

Important

Christian Costa, Resp. achats

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)

Route du rawyl 47

Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575

CH-1950 Sion 2

**Farnell AG**

## Commande

Numéro COS13115

Baarerstrasse 38

**6300 Zug**

Secteur Power and control

Rubrique 310000

Référence cos

Tel: 044 204 64 64

Fax: 044 204 64 54

email: ventes.ch@farnell.com

Veuillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

**Sion, le 05.juin.13**

**B103, TD Cornut Mathias, Roggo Dominique**

| Quantité             | Référence article | Désignation                                       | Prix unitaire    | Total CHF |
|----------------------|-------------------|---|------------------|-----------|
| 2                    | 1633482           | CAPTEUR THERMOCOUPLE K TYPE 5M                    | 28.60            | 57.20     |
| 3                    | 1536870           | Résistance, +-1 %, 1 W, +- 20 ppm/°C, 10ohms      | 2.9              | 8.70      |
| 3                    | 1717590           | Résistance, +-0.1 %, 100 mW, +- 10 ppm/°C, 5.6kΩ  | 1.45             | 4.35      |
| 3                    | 1857226           | Résistance, +-0.1 %, 200 mW, +- 25 ppm/°C, 50 kΩ  | 2.9              | 8.70      |
| 3                    | 1841802           | Résistance, +-0.1 %, 250 mW, +- 25 ppm/°C, 220 kΩ | 1.3              | 3.90      |
| 3                    | 2094761           | Résistance, +-0.1 %, 125 mW, +- 10 ppm/°C, 2.8 kΩ | 0.592            | 1.78      |
| 3                    | 1688504RL         | Résistance, +-0.05 %, 125 mW, +- 10 ppm/°C, 10 kΩ | 1.65             | 4.95      |
| 3                    | 1688491RL         | Résistance, +-0.05 %, 125 mW, +- 10 ppm/°C, 1 kΩ  | 1.6              | 4.80      |
| 3                    | 1717664RL         | Résistance, +-0.1 %, 125 mW, +- 10 ppm/°C, 30kΩ   | 1.45             | 4.35      |
| 3                    | 2094869           | Résistance, +-0.1 %, 125 mW, +- 10 ppm/°C, 90.9kΩ | 0.592            | 1.78      |
| 3                    | 1887533           | Résistance, +-1 %, 130 mW, +- 100 ppm/°C, 1.2 MΩ  | 0.169            | 0.51      |
| 3                    | 1759165RL         | Condensateur +-10 % 25 V, 82 nF                   | 0.02             | 0.06      |
| 6                    | 2134069RL         | Condensateur +-10 % 250 V, 300pF                  | 0.89             | 5.34      |
| Power & Control      |                   |   |                  |           |
| Païement             |                   | 30 jours net                                      | Sous-total       | 106.41    |
| Délais de livraison  |                   | Dès que possible                                  | Rabais           | 0.0%      |
| Adresse de livraison |                   | Hes-so//Valais                                    | TVA              | 8.0% 8.50 |
|                      |                   | Haute Ecole Spécialisée                           | <b>Total CHF</b> |           |
|                      |                   | Costa christian, Resp. achats                     |                  |           |
|                      |                   | Route du Rawyl 47                                 |                  |           |
|                      |                   | CH-1950 Sion 2                                    |                  |           |
| Personne de contact  |                   | Mathias Cornut, étudiant                          |                  |           |
| E-mail               |                   | mathias.cornut@students.hevs.ch                   |                  |           |

Avec nos remerciements

Important

Christian Costa, Resp. achats

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)

Route du rawyl 47

Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575

CH-1950 Sion 2

## Distrelec SA

### Commande

Numéro COS13115

Grabenstrasse 6

**8606 Naenikon**

Secteur Power and control

Rubrique 310000

Référence cos

Tel: 044 944 99 22

Fax: 044 944 99 88

email: [info@distrelec.com](mailto:info@distrelec.com)

Veuillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

**Sion, le 05.juin.13**

**B103, TD Cornut Mathias, Roggo Dominique**

| Quantité | Référence article | Désignation                                     | Prix unitaire | Total CHF |
|----------|-------------------|---|---------------|-----------|
| 1        | 361647            | Convertisseur 24VDC/+-15VDC, 30 W               | 87.48         | 87.48     |
| 5        | 400091            | Relais pour print, bobine 24 VDC, 2 inverseurs  | 5.08          | 25.40     |
| 5        | 648141            | Amplificateur d'instrumentation INA128PA, DIL-8 | 17.60         | 88.00     |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |

Avec nos remerciements

Important

Christian Costa, Resp. achats

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)

Route du rawyl 47

Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575

CH-1950 Sion 2

## Distrelec SA

### Commande

Numéro COS13115

Grabenstrasse 6

8606 Naenikon

Secteur Power and control

Rubrique 310000

Référence cos

Tel: 044 944 99 22

Fax: 044 944 99 88

email: info@distrelec.com

Veuillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

Sion, le 21.juin.13

B103, TD Cornut Mathias, Roggo Dominique

| Quantité | Référence article | Désignation                                     | Prix unitaire | Total CHF |
|----------|-------------------|---|---------------|-----------|
| 10       | 270700            | Fusible miniature radial 0.05 A à fusion rapide | 1.19          | 11.90     |
| 4        | 730045            | Varistance en forme de disque 615 V             | 3.67          | 14.68     |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |
|          |                   |   |               |           |

Avec nos remerciements

Important

Christian Costa, Resp. achats

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)

Route du rawyl 47

Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575

CH-1950 Sion 2

## National Instruments Corporat

### Commande

Numéro COS13115

11500 N MoPac Expwy

Austin, TX 78759-3504

Secteur Power and control

Rubrique 310000

Référence cos

Tel: (800) 531-5066

Fax: 512-683-8411

email: ?

Veuillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

Sion, le 22.mai.13

B103, TD Cornut Mathias, Roggo Dominique

| Quantité             | Référence article | Désignation                     | Prix unitaire | Total CHF |
|----------------------|-------------------|---------------------------------|---------------|-----------|
| 1                    | 779999-01         | cRIO-9074                       | 3'530.00      | 3'530.00  |
| 1                    | 779011-01         | NI 9215                         | 655.00        | 655.00    |
| 2                    | 779017-01         | NI 9932                         | 39.00         | 78.00     |
| 1                    | 779001-01         | NI 9211                         | 430.00        | 430.00    |
| 1                    | 779600-01         | NI 9485                         | 420.00        | 420.00    |
| 1                    | 192692-01         | NI 9939                         | 39.00         | 39.00     |
| Power & Control      |                   |                                 |               |           |
| Païement             |                   | 30 jours net                    | Sous-total    | 5'152.00  |
| Délais de livraison  |                   | Dès que possible                | Rabais        | 0.0%      |
| Adresse de livraison |                   | Hes-so//Valais                  | TVA           | 8.0%      |
|                      |                   | Haute Ecole Spécialisée         |               |           |
|                      |                   | Costa christian, Resp. achats   | Total CHF     | 5'564.20  |
|                      |                   | Route du Rawyl 47               |               |           |
|                      |                   | CH-1950 Sion 2                  |               |           |
| Personne de contact  |                   | Mathias Cornut, étudiant        |               |           |
| E-mail               |                   | mathias.cornut@students.hevs.ch |               |           |

Avec nos remerciements

Important

Christian Costa, Resp. achats

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci

**ion**

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)

Route du rawyl 47

Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575

CH-1950 Sion 2

**Rittal AG**

## Commande

Numéro COS13115

Rue des Champs-Lovats 6

**CH-1400 Yverdon-les-Bains**

Secteur Power and control

Rubrique 310000

Référence cos

Tel: 056 416 06 97

Fax: 056 416 06 66

email: despont.f@rittal.ch

Veuillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

**Sion, le 23.mai.12**

**B103, TD Cornut Mathias, Roggo Dominique**

| Quantité             | Référence article   | Désignation  | Prix unitaire | Total CHF |
|----------------------|---|--|---------------|-----------|
| 1                    | 1060500   | Coffret AE avec plaque de montage<br>BHT: 600 x 600 x 210<br>AE ARMOIRE ELEC LAQUEE AVEC P.D.M.<br><br>selon offre numéro 1050035857<br>du 23 mai 2013 | 132.00        | 132.00    |
| Power & Control      |   |  |               |           |
| Païement             | 30 jours net  | Sous-total 132.00  |               |           |
| Délais de livraison  | Dès que possible  | Rabais 15.0% 19.80   |               |           |
| Adresse de livraison | Hes-so//Valais<br>Haute Ecole Spécialisée<br>Costa christian, Resp. achats<br>Route du Rawyl 47<br>CH-1950 Sion 2 | TVA 8.0% 9.00  |               |           |
| Personne de contact  | Mathias Cornut, étudiant  | Total CHF 121.20   |               |           |
| E-mail               | mathias.cornut@students.hevs.ch   |  |               |           |

Avec nos remerciements

Important

Christian Costa, Resp. achats

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)

Route du rawyl 47

Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575

CH-1950 Sion 2

**item Industrietechnik Schweiz AG**

## Commande

Numéro COS13115

Diessenhoferstrasse 14

**CH - 8252 Schlatt**

Secteur Power and control

Rubrique 310000

Référence cos

Tel: 052 647 31 31

Fax: 052 647 31 99

email: info@item24.ch

Veuillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

**Sion, le 22.mai.13**

**B103, TD Cornut Mathias, Roggo Dominique**

| Quantité             | Référence article | Désignation                                      | Prix unitaire    | Total CHF       |
|----------------------|-------------------|--|------------------|-----------------|
| 3                    | 0.0.026.33        | Profilé 8 40x40 léger, naturel (longueur 800 mm) | ?                | #VALEUR!        |
| 2                    | 0.0.026.33        | Profilé 8 40x40 léger, naturel (longueur 600 mm) | ?                | #VALEUR!        |
| 2                    | 0.0.026.33        | Profilé 8 40x40 léger, naturel (longueur 323 mm) | ?                | #VALEUR!        |
| 3                    | 0.0.026.33        | Profilé 8 40x40 léger, naturel (longueur 500 mm) | ?                | #VALEUR!        |
| 9                    | 0.0.370.13        | Embout 5 40x40, noir                             | ?                | #VALEUR!        |
| 43                   | 0.0.480.48        | Ecrou V 8 St M8, zingué                          | ?                | #VALEUR!        |
| 18                   | 0.0.411.24        | Equerre 8 40x40 Zn, gris alu similaire RAL 9006  | ?                | #VALEUR!        |
| Power & Control      |                   |  |                  |                 |
| Païement             |                   | 30 jours net                                     | Sous-total       | #VALEUR!        |
| Délais de livraison  |                   | Dès que possible                                 | Rabais           | 0.0% #VALEUR!   |
| Adresse de livraison |                   | Hes-so//Valais                                   | TVA              | 8.0% #VALEUR!   |
|                      |                   | Haute Ecole Spécialisée                          |                  |                 |
|                      |                   | Costa christian, Resp. achats                    |                  |                 |
|                      |                   | Route du Rawyl 47                                |                  |                 |
|                      |                   | CH-1950 Sion 2                                   |                  |                 |
| Personne de contact  |                   | Mathias Cornut, étudiant                         |                  |                 |
| E-mail               |                   | mathias.cornut@students.hevs.ch                  |                  |                 |
|                      |                   |  | <b>Total CHF</b> | <b>#VALEUR!</b> |

Avec nos remerciements

Important

Christian Costa, Resp. achats

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci

**GmbH**

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)

Route du rawyl 47

Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575

CH-1950 Sion 2

## PHOENIX CONTACT AG

### Commande

Numéro COS13115

Zürcherstrasse 22

**8317 Tagelswangen, Schweiz**

Secteur Power and control

Rubrique 310000

Référence cos

Tel: 052 354 55 37

Fax: 052 354 56 99

email: lmonnet@phoenixcontact.com

Veuillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

**Sion, le 22.mai.13**

**B103, TD Cornut Mathias, Roggo Dominique**

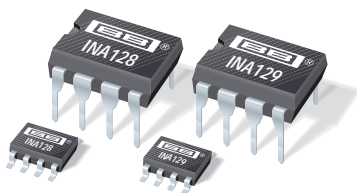
| Quantité             | Référence article | Désignation   | Prix unitaire      | Total CHF |
|----------------------|-------------------|---|--------------------|-----------|
| 1                    | 2902993           | Power supply unit - UNO-PS/1AC/24DC/100W<br><br>selon offre de Louis Monnet<br>du 15 mai 2013 | 88.05              | 88.05     |
| Power & Control      |                   |   |                    |           |
| Paiement             |                   | 30 jours net  | Sous-total 88.05   |           |
| Délais de livraison  |                   | Dès que possible  | Rabais 40.0% 35.22 |           |
| Adresse de livraison |                   | Hes-so//Valais  | TVA 8.0% 4.20      |           |
|                      |                   | Haute Ecole Spécialisée   |                    |           |
|                      |                   | Costa christian, Resp. achats   | Total CHF 57.03    |           |
|                      |                   | Route du Rawyl 47   |                    |           |
|                      |                   | CH-1950 Sion 2  |                    |           |
| Personne de contact  |                   | Mathias Cornut, étudiant  |                    |           |
| E-mail               |                   | mathias.cornut@students.hevs.ch   |                    |           |

Avec nos remerciements

Important

Christian Costa, Resp. achats

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci



# INA128 INA129

## Precision, Low Power INSTRUMENTATION AMPLIFIERS

### FEATURES

- LOW OFFSET VOLTAGE: 50 $\mu$ V max
- LOW DRIFT: 0.5 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C max
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 5nA max
- HIGH CMR: 120dB min
- INPUTS PROTECTED TO  $\pm$ 40V
- WIDE SUPPLY RANGE:  $\pm$ 2.25 to  $\pm$ 18V
- LOW QUIESCENT CURRENT: 700 $\mu$ A
- 8-PIN PLASTIC DIP, SO-8

### APPLICATIONS

- BRIDGE AMPLIFIER
- THERMOCOUPLE AMPLIFIER
- RTD SENSOR AMPLIFIER
- MEDICAL INSTRUMENTATION
- DATA ACQUISITION

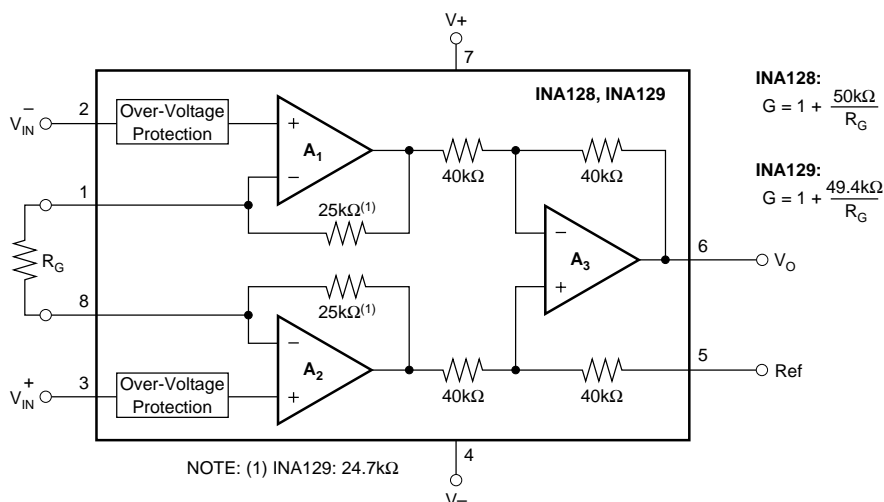
### DESCRIPTION

The INA128 and INA129 are low power, general purpose instrumentation amplifiers offering excellent accuracy. Their versatile 3-op amp design and small size make them ideal for a wide range of applications. Current-feedback input circuitry provides wide bandwidth even at high gain (200kHz at  $G = 100$ ).

A single external resistor sets any gain from 1 to 10,000. INA128 provides an industry standard gain equation; INA129's gain equation is compatible with the AD620.

The INA128/INA129 is laser trimmed for very low offset voltage (50 $\mu$ V), drift (0.5 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C) and high common-mode rejection (120dB at  $G \geq 100$ ). It operates with power supplies as low as  $\pm$ 2.25V, and quiescent current is only 700 $\mu$ A—ideal for battery operated systems. Internal input protection can withstand up to  $\pm$ 40V without damage.

The INA128/INA129 is available in 8-pin plastic DIP, and SO-8 surface-mount packages, specified for the  $-40^{\circ}$ C to  $+85^{\circ}$ C temperature range. The INA128 is also available in dual configuration, the INA2128.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Twx: 910-952-1111  
Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXLine: (800) 548-6133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

## SPECIFICATIONS

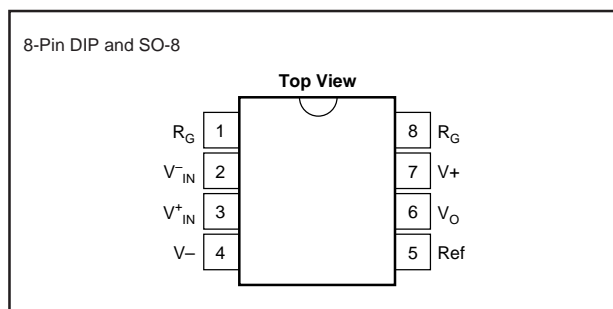
At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ ,  $R_L = 10\text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.

[illegible]

\* Specification same as INA128P, U or INA129P, U.

NOTE: (1) Input common-mode range varies with output voltage—see typical curves. (2) Guaranteed by wafer test. (3) Temperature coefficient of the 50k $\Omega$  (or 49.4k $\Omega$ ) term in the gain equation. (4) Nonlinearity measurements in G = 1000 are dominated by noise. Typical nonlinearity is  $\pm 0.001\%$ .

## PIN CONFIGURATION



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Supply Voltage .....                    | $\pm 18V$                         |
| Analog Input Voltage Range .....        | $\pm 40V$                         |
| Output Short-Circuit (to ground) .....  | Continuous                        |
| Operating Temperature .....             | $-40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ |
| Storage Temperature .....               | $-40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ |
| Junction Temperature .....              | $+150^{\circ}C$                   |
| Lead Temperature (soldering, 10s) ..... | $+300^{\circ}C$                   |



## ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Burr-Brown recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

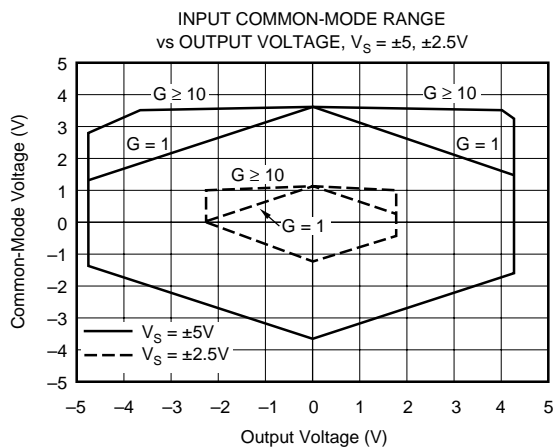
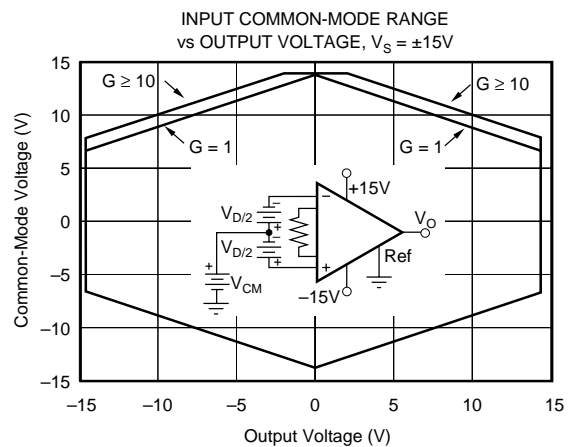
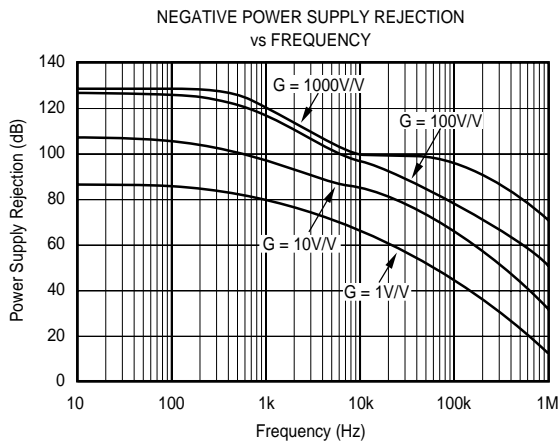
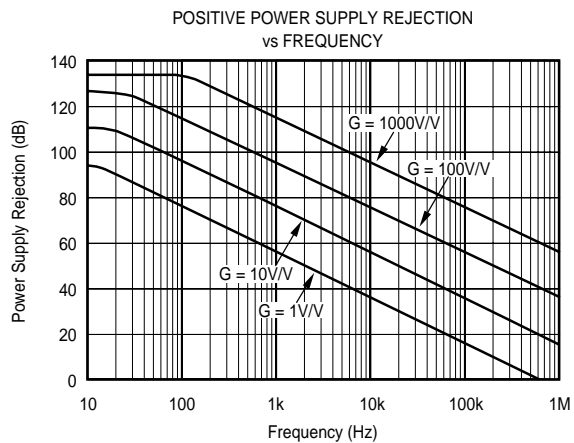
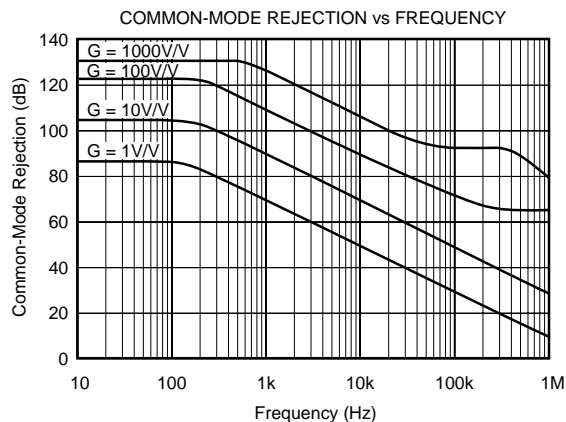
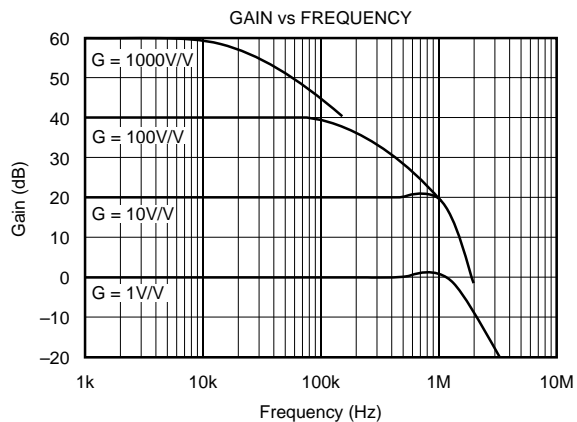
## ORDERING INFORMATION

| PRODUCT  | PACKAGE            | PACKAGE DRAWING NUMBER <sup>(1)</sup> | TEMPERATURE RANGE                |
|----------|--------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| INA128PA | 8-Pin Plastic DIP  | 006                                   | $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ |
| INA128P  | 8-Pin Plastic DIP  | 006                                   | $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ |
| INA128UA | SO-8 Surface-Mount | 182                                   | $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ |
| INA128U  | SO-8 Surface-Mount | 182                                   | $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ |
| INA129PA | 8-Pin Plastic DIP  | 006                                   | $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ |
| INA129P  | 8-Pin Plastic DIP  | 006                                   | $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ |
| INA129UA | SO-8 Surface-Mount | 182                                   | $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ |
| INA129U  | SO-8 Surface-Mount | 182                                   | $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ |

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book.

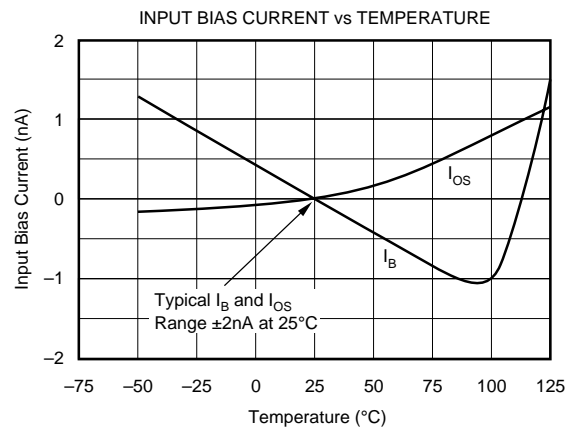
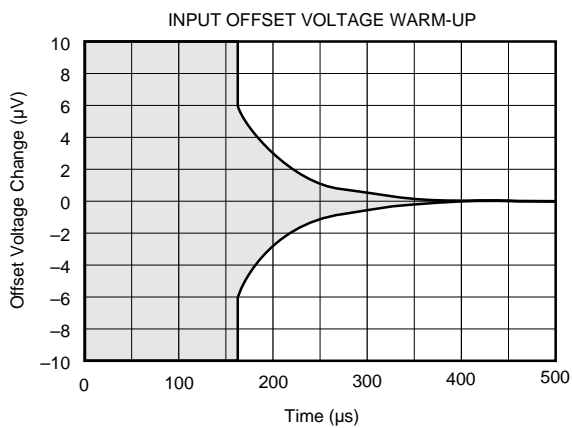
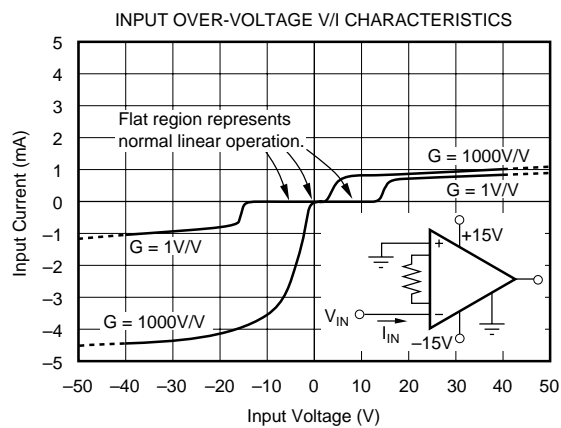
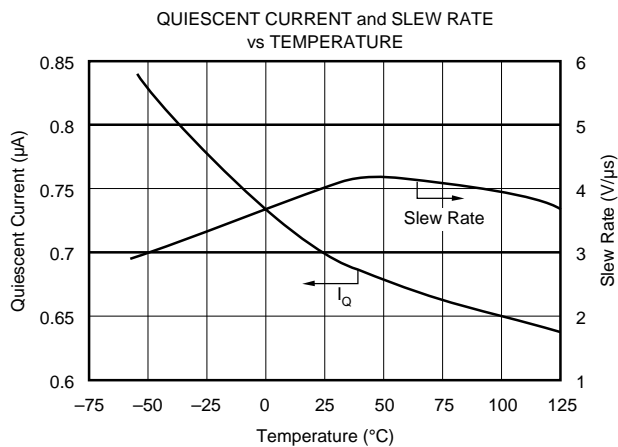
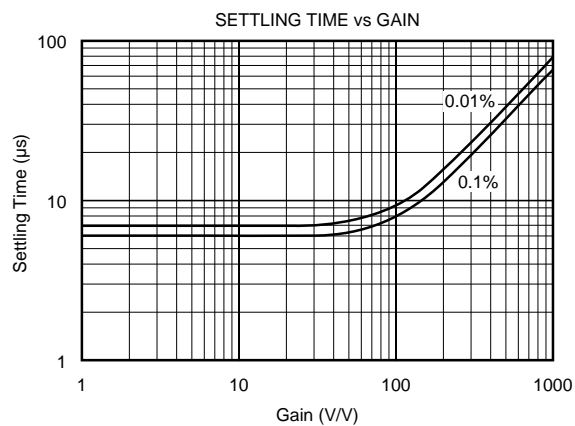
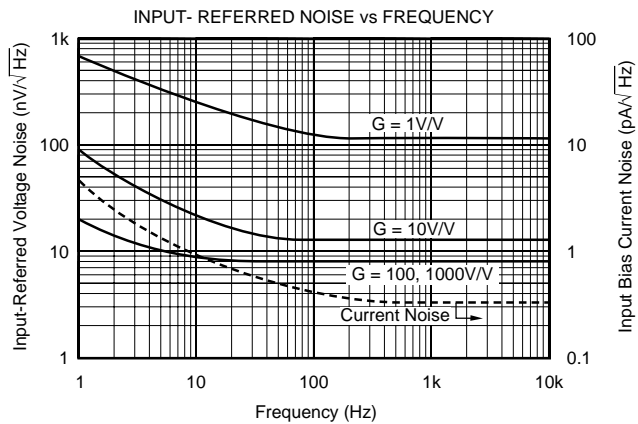
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



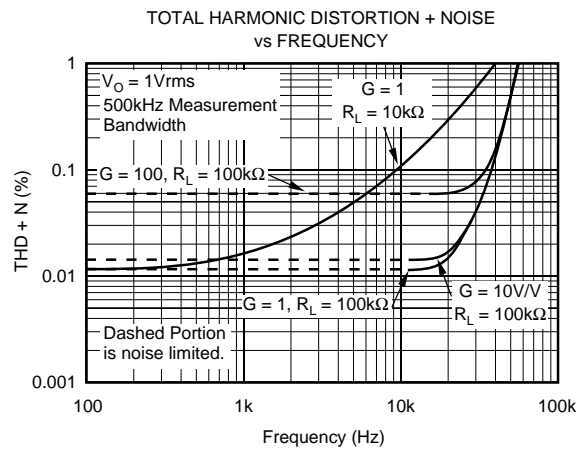
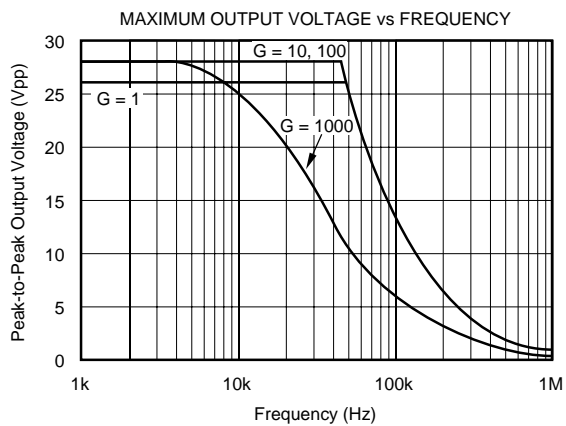
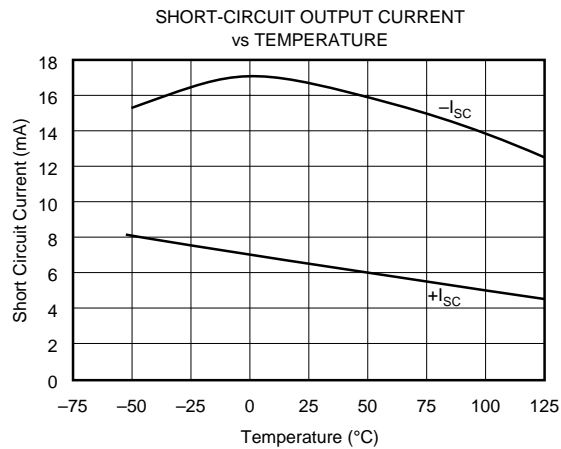
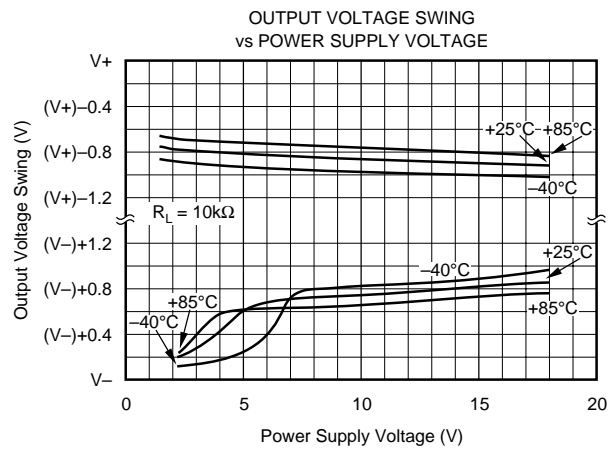
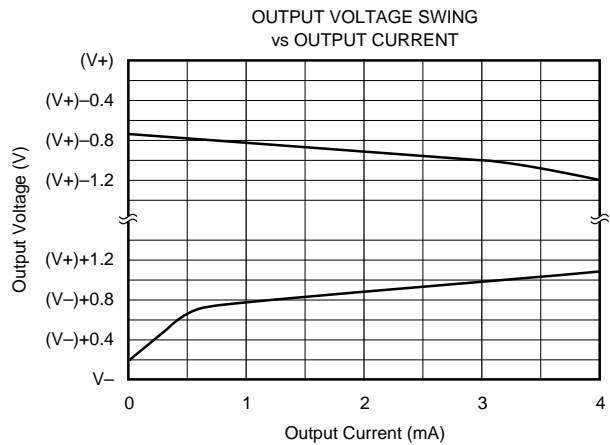
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



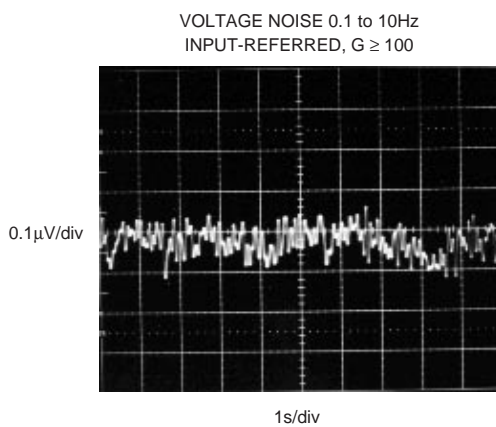
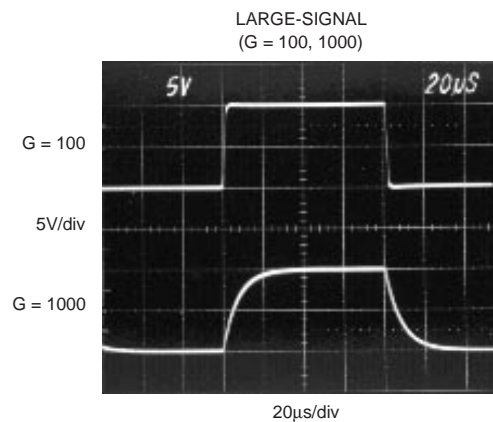
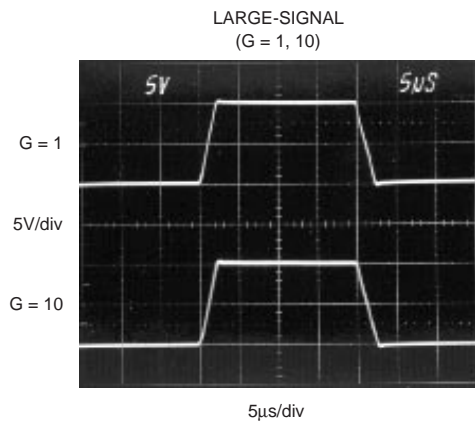
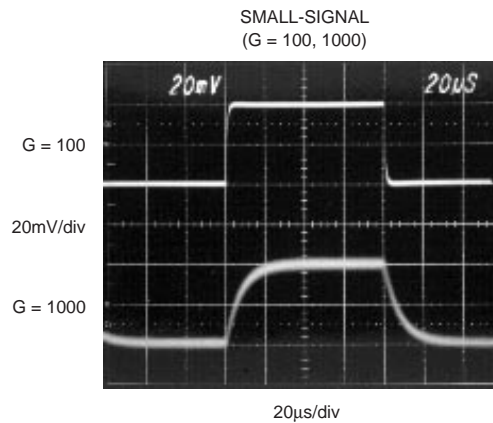
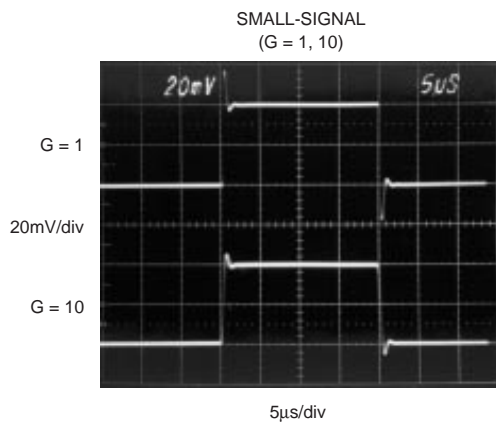
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



## APPLICATION INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required for operation of the INA128/INA129. Applications with noisy or high impedance power supplies may require decoupling capacitors close to the device pins as shown.

The output is referred to the output reference (Ref) terminal which is normally grounded. This must be a low-impedance connection to assure good common-mode rejection. A resistance of 8Ω in series with the Ref pin will cause a typical device to degrade to approximately 80dB CMR ( $G = 1$ ).

### SETTING THE GAIN

Gain is set by connecting a single external resistor,  $R_G$ , connected between pins 1 and 8:

$$\text{INA128:} \quad G = 1 + \frac{50\text{k}\Omega}{R_G} \quad (1)$$

$$\text{INA129:} \quad G = 1 + \frac{49.4\text{k}\Omega}{R_G} \quad (2)$$

Commonly used gains and resistor values are shown in Figure 1.

The 50kΩ term in Equation 1 (49.4kΩ in Equation 2) comes from the sum of the two internal feedback resistors of  $A_1$  and  $A_2$ . These on-chip metal film resistors are laser trimmed to

accurate absolute values. The accuracy and temperature coefficient of these internal resistors are included in the gain accuracy and drift specifications of the INA128/INA129.

The stability and temperature drift of the external gain setting resistor,  $R_G$ , also affects gain.  $R_G$ 's contribution to gain accuracy and drift can be directly inferred from the gain equation (1). Low resistor values required for high gain can make wiring resistance important. Sockets add to the wiring resistance which will contribute additional gain error (possibly an unstable gain error) in gains of approximately 100 or greater.

### DYNAMIC PERFORMANCE

The typical performance curve "Gain vs Frequency" shows that, despite its low quiescent current, the INA128/INA129 achieves wide bandwidth, even at high gain. This is due to the current-feedback topology of the input stage circuitry. Settling time also remains excellent at high gain.

### NOISE PERFORMANCE

The INA128/INA129 provides very low noise in most applications. Low frequency noise is approximately 0.2μVp-p measured from 0.1 to 10Hz ( $G \geq 100$ ). This provides dramatically improved noise when compared to state-of-the-art chopper-stabilized amplifiers.

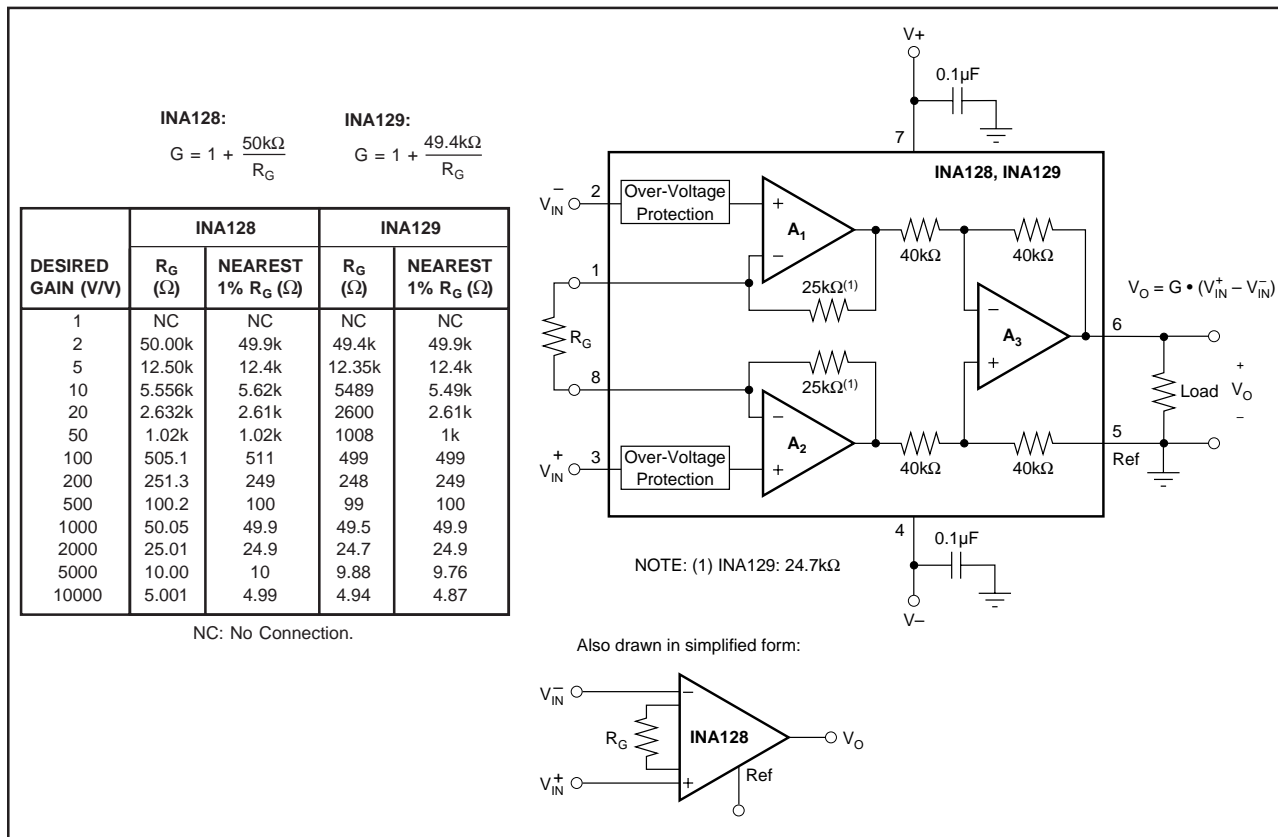


FIGURE 1. Basic Connections.

## OFFSET TRIMMING

The INA128/INA129 is laser trimmed for low offset voltage and offset voltage drift. Most applications require no external offset adjustment. Figure 2 shows an optional circuit for trimming the output offset voltage. The voltage applied to Ref terminal is summed with the output. The op amp buffer provides low impedance at the Ref terminal to preserve good common-mode rejection.

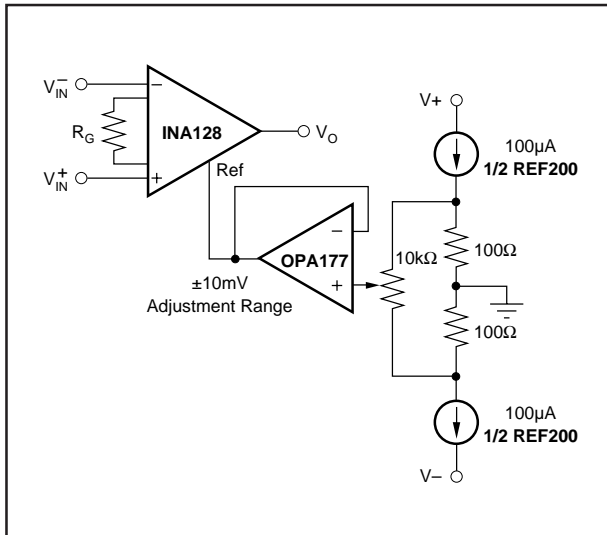


FIGURE 2. Optional Trimming of Output Offset Voltage.

## INPUT BIAS CURRENT RETURN PATH

The input impedance of the INA128/INA129 is extremely high—approximately  $10^{10}\Omega$ . However, a path must be provided for the input bias current of both inputs. This input bias current is approximately  $\pm 2\text{nA}$ . High input impedance means that this input bias current changes very little with varying input voltage.

Input circuitry must provide a path for this input bias current for proper operation. Figure 3 shows various provisions for an input bias current path. Without a bias current path, the inputs will float to a potential which exceeds the common-mode range, and the input amplifiers will saturate.

If the differential source resistance is low, the bias current return path can be connected to one input (see the thermocouple example in Figure 3). With higher source impedance, using two equal resistors provides a balanced input with possible advantages of lower input offset voltage due to bias current and better high-frequency common-mode rejection.

## INPUT COMMON-MODE RANGE

The linear input voltage range of the input circuitry of the INA128/INA129 is from approximately 1.4V below the positive supply voltage to 1.7V above the negative supply. As a differential input voltage causes the output voltage increase, however, the linear input range will be limited by the output voltage swing of amplifiers  $A_1$  and  $A_2$ . So the

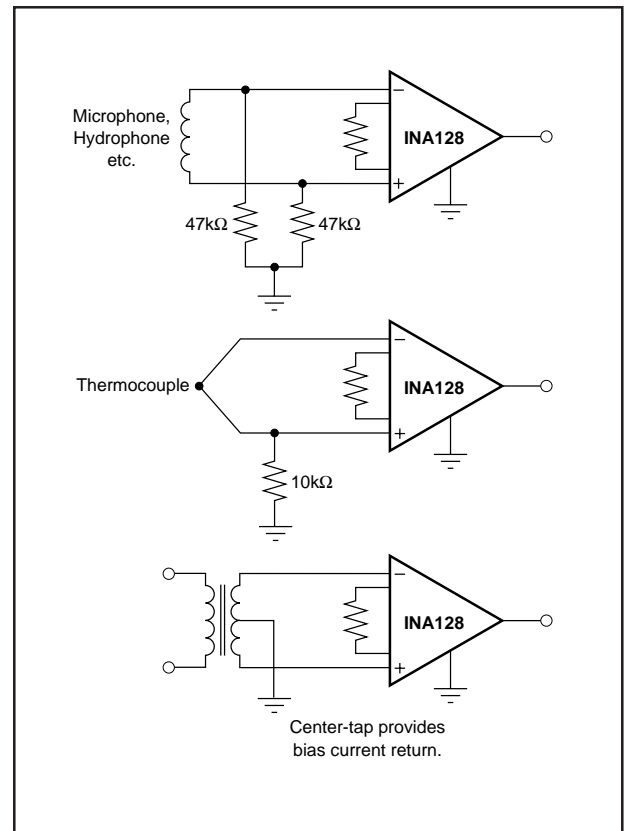


FIGURE 3. Providing an Input Common-Mode Current Path.

linear common-mode input range is related to the output voltage of the complete amplifier. This behavior also depends on supply voltage—see performance curves “Input Common-Mode Range vs Output Voltage”.

Input-overload can produce an output voltage that appears normal. For example, if an input overload condition drives both input amplifiers to their positive output swing limit, the difference voltage measured by the output amplifier will be near zero. The output of  $A_3$  will be near 0V even though both inputs are overloaded.

## LOW VOLTAGE OPERATION

The INA128/INA129 can be operated on power supplies as low as  $\pm 2.25\text{V}$ . Performance remains excellent with power supplies ranging from  $\pm 2.25\text{V}$  to  $\pm 18\text{V}$ . Most parameters vary only slightly throughout this supply voltage range—see typical performance curves. Operation at very low supply voltage requires careful attention to assure that the input voltages remain within their linear range. Voltage swing requirements of internal nodes limit the input common-mode range with low power supply voltage. Typical performance curves, “Input Common-Mode Range vs Output Voltage” show the range of linear operation for  $\pm 15\text{V}$ ,  $\pm 5\text{V}$ , and  $\pm 2.5\text{V}$  supplies.

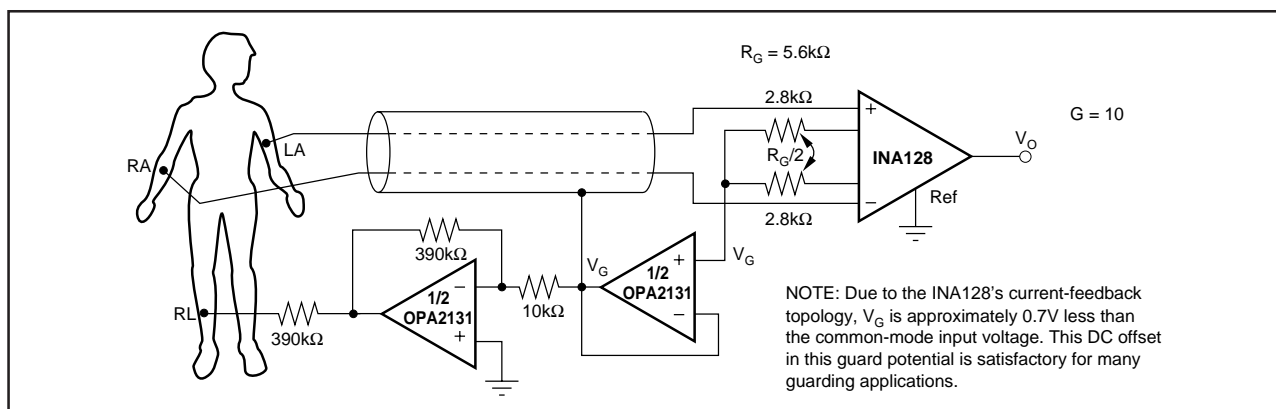


FIGURE 4. ECG Amplifier With Right-Leg Drive.

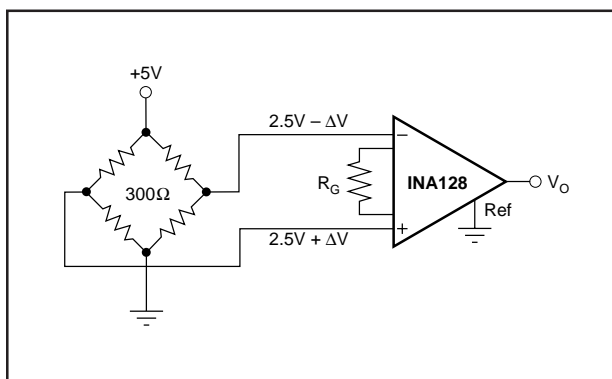


FIGURE 5. Bridge Amplifier.

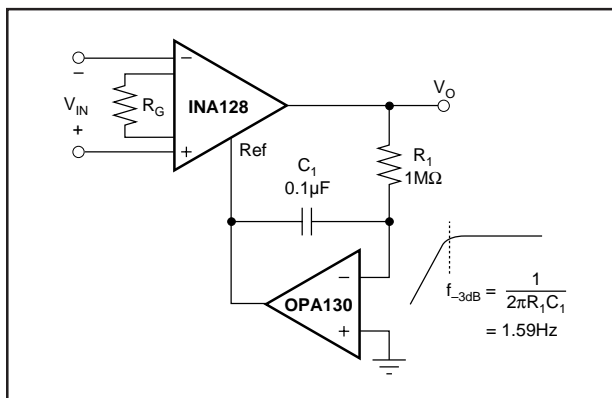


FIGURE 6. AC-Coupled Instrumentation Amplifier.

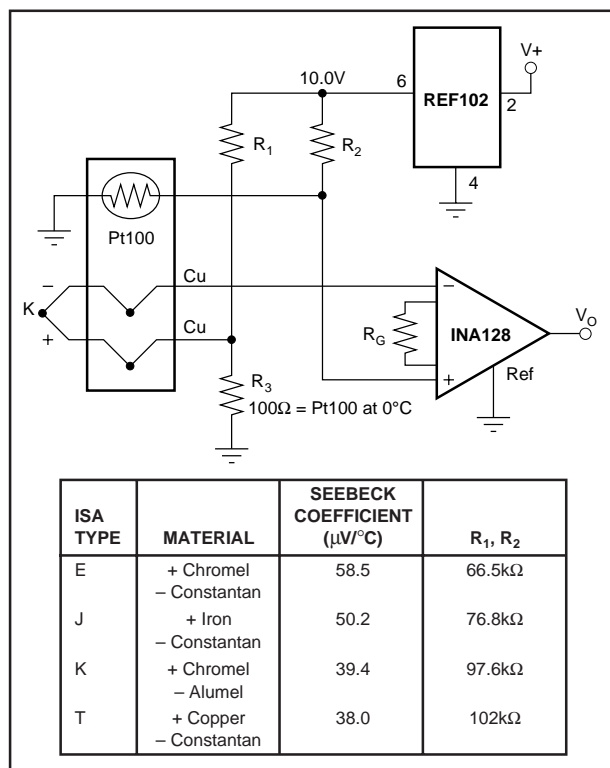


FIGURE 7. Thermocouple Amplifier With RTD Cold-Junction Compensation.

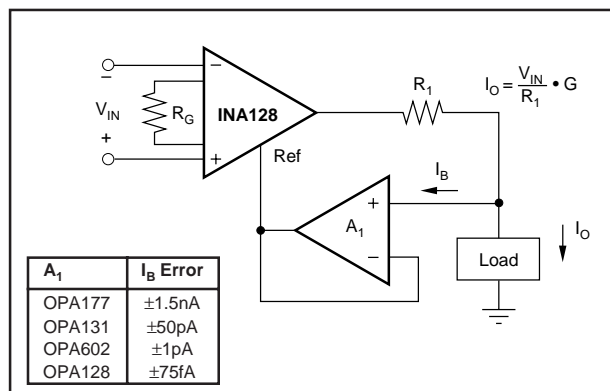


FIGURE 8. Differential Voltage to Current Converter.

## **IMPORTANT NOTICE**

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

Customers are responsible for their applications using TI components.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

# Calibration de la chaine de mesure de la tension DC

|   |           |                         |                        |                    |               |            |             |                     |                |              |                    |
|---|-----------|-------------------------|------------------------|--------------------|---------------|------------|-------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|
| Agilent 33210A et AE Techron 7224 : mesure étalon LMG 500 |           |                         |                        |                    |               |            |             |                     |                |              |                    |
| Mesures   |           |                         |                        | Calculs            |               |            |             |                     |                |              |                    |
| UDC MEAN réel [V]   | Canal PCB | UDC MEAN sortie PCB [V] | UDC MEAN FPGA cRIO [V] | Gain théorique PCB | Gain réel PCB | Offset PCB | Offset FPGA | Gain théorique FPGA | Gain réel FPGA | Gain LabVIEW | Valeur LabVIEW [V] |
| 0 5 V   |           | 0                       | 0                      | 1.8182             | -             | 0          | 0           | 1                   | -              | -            | -                  |
| 0.9709 5 V  |           | 1.7639                  | 1.76184                | 1.8182             | 1.816767947   | 0          | 0           | 1                   | 0.998832133    | 0.551071607  | 0.9709             |
| 2.009 5 V   |           | 3.6524                  | 3.64749                | 1.8182             | 1.818018915   | 0          | 0           | 1                   | 0.998655678    | 0.550789721  | 2.009              |
| 3.0852 5 V  |           | 5.6106                  | 5.60617                | 1.8182             | 1.818553092   | 0          | 0           | 1                   | 0.999210423    | 0.550322234  | 3.0852             |
| 4.0022 5 V  |           | 7.2804                  | 7.26959                | 1.8182             | 1.819099495   | 0          | 0           | 1                   | 0.998515191    | 0.550539989  | 4.0022             |
| 5.0376 5 V  |           | 9.1615                  | 9.15216                | 1.8182             | 1.818623948   | 0          | 0           | 1                   | 0.998980516    | 0.55042744   | 5.0376             |
|   |           |                         |                        | Gain moyen         |               | 1.81821268 |             |                     |                | Gain moyen   | 0.550630198        |

|   |           |                         |                        |                    |               |             |             |                     |                |              |                    |
|---|-----------|-------------------------|------------------------|--------------------|---------------|-------------|-------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|
| Agilent 33210A et AE Techron 7224 : mesure étalon LMG 500 |           |                         |                        |                    |               |             |             |                     |                |              |                    |
| Mesures   |           |                         |                        | Calculs            |               |             |             |                     |                |              |                    |
| UDC MEAN réel   | Canal PCB | UDC MEAN sortie PCB [V] | UDC MEAN FPGA cRIO [V] | Gain théorique PCB | Gain réel PCB | Offset PCB  | Offset FPGA | Gain théorique FPGA | Gain réel FPGA | Gain LabVIEW | Valeur LabVIEW [V] |
| 0 20 V  |           | 0                       | 0                      | 0.5                | -             | 0           | 0           | 1                   | -              | -            | -                  |
| 4.0009 20 V   |           | 2.0015                  | 1.99869                | 0.5                | 0.500262441   | 0           | 0           | 1                   | 0.998596053    | 2.001761154  | 4.0009             |
| 7.9925 20 V   |           | 3.9963                  | 3.9924                 | 0.5                | 0.500006256   | 0           | 0           | 1                   | 0.999024097    | 2.001928664  | 7.9925             |
| 12.375 20 V   |           | 6.1893                  | 6.18488                | 0.5                | 0.500145455   | 0           | 0           | 1                   | 0.999285864    | 2.000847227  | 12.375             |
| 16.367 20 V   |           | 8.1891                  | 8.17969                | 0.5                | 0.500342152   | 0           | 0           | 1                   | 0.998850912    | 2.000931576  | 16.367             |
| 19.952 20 V   |           | 9.9816                  | 9.97208                | 0.5                | 0.500280674   | 0           | 0           | 1                   | 0.999046245    | 2.000786195  | 19.952             |
|   |           |                         |                        | Gain moyen         |               | 0.500207395 |             |                     |                | Gain moyen   | 2.001250963        |

|   |           |                         |                        |                    |               |             |             |                     |                |              |                    |
|---|-----------|-------------------------|------------------------|--------------------|---------------|-------------|-------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|
| Agilent 33210A et AE Techron 7224 : mesure étalon LMG 500 |           |                         |                        |                    |               |             |             |                     |                |              |                    |
| Mesures   |           |                         |                        | Calculs            |               |             |             |                     |                |              |                    |
| UDC MEAN réel   | Canal PCB | UDC MEAN sortie PCB [V] | UDC MEAN FPGA cRIO [V] | Gain théorique PCB | Gain réel PCB | Offset PCB  | Offset FPGA | Gain théorique FPGA | Gain réel FPGA | Gain LabVIEW | Valeur LabVIEW [V] |
| 0 50 V  |           | 0                       | 0                      | 0.2                | -             | 0           | 0           | 1                   | -              | -            | -                  |
| 9.9823 50 V   |           | 1.9801                  | 1.97733                | 0.2                | 0.198361099   | 0           | 0           | 1                   | 0.998601081    | 5.048373311  | 9.9823             |
| 19.952 50 V   |           | 3.957                   | 3.95319                | 0.2                | 0.198325982   | 0           | 0           | 1                   | 0.999037149    | 5.047063258  | 19.952             |
| 29.928 50 V   |           | 5.9333                  | 5.92883                | 0.2                | 0.198252473   | 0           | 0           | 1                   | 0.999246625    | 5.047876225  | 29.928             |
| 40.296 50 V   |           | 7.9948                  | 7.98352                | 0.2                | 0.198401826   | 0           | 0           | 1                   | 0.998589083    | 5.047397639  | 40.296             |
| 50.263 50 V   |           | 9.9685                  | 9.95898                | 0.2                | 0.198326801   | 0           | 0           | 1                   | 0.999044992    | 5.047002806  | 50.263             |
|   |           |                         |                        | Gain moyen         |               | 0.198333636 |             |                     |                | Gain moyen   | 5.047542648        |

|   |           |                         |                        |                    |               |             |             |                     |                |              |                    |
|---|-----------|-------------------------|------------------------|--------------------|---------------|-------------|-------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|
| Agilent 33210A et AE Techron 7224 : mesure étalon LMG 500 |           |                         |                        |                    |               |             |             |                     |                |              |                    |
| Mesures   |           |                         |                        | Calculs            |               |             |             |                     |                |              |                    |
| UDC MEAN réel   | Canal PCB | UDC MEAN sortie PCB [V] | UDC MEAN FPGA cRIO [V] | Gain théorique PCB | Gain réel PCB | Offset PCB  | Offset FPGA | Gain théorique FPGA | Gain réel FPGA | Gain LabVIEW | Valeur LabVIEW [V] |
| 0 600 V   |           | 0                       | 0                      | 0.0167             | -             | 0           | 0           | 1                   | -              | -            | -                  |
| 19.952 600 V  |           | 0.332                   | 0.329773               | 0.0167             | 0.016639936   | 0           | 0           | 1                   | 0.993292169    | 60.50222426  | 19.952             |
| 40.296 600 V  |           | 0.6686                  | 0.66629                | 0.0167             | 0.016592218   | 0           | 0           | 1                   | 0.996545019    | 60.47817017  | 40.296             |
| 60.629 600 V  |           | 1.0052                  | 1.00253                | 0.0167             | 0.016579525   | 0           | 0           | 1                   | 0.997343812    | 60.47599573  | 60.629             |
| 80.553 600 V  |           | 1.3352                  | 1.33295                | 0.0167             | 0.016575422   | 0           | 0           | 1                   | 0.998314859    | 60.43212424  | 80.553             |
| 100.72 600 V  |           | 1.6694                  | 1.66687                | 0.0167             | 0.016574662   | 0           | 0           | 1                   | 0.998484485    | 60.4246282   | 100.72             |
| 120.58 600 V  |           | 1.9991                  | 1.99625                | 0.0167             | 0.016579035   | 0           | 0           | 1                   | 0.998574358    | 60.40325611  | 120.58             |
| 140.83 600 V  |           | 2.3352                  | 2.33234                | 0.0167             | 0.016581694   | 0           | 0           | 1                   | 0.998775266    | 60.38141952  | 140.83             |
| 161.09 600 V  |           | 2.6712                  | 2.66864                | 0.0167             | 0.016582035   | 0           | 0           | 1                   | 0.999041629    | 60.36408058  | 161.09             |
| 181.3 600 V   |           | 3.0065                  | 3.00394                | 0.0167             | 0.016583012   | 0           | 0           | 1                   | 0.999148512    | 60.35406832  | 181.3              |
|   |           |                         |                        | Gain moyen         |               | 0.016587504 |             |                     |                | Gain moyen   | 60.42399635        |

## Calibration de la chaine de mesure de la tension AC

| Agilent 33210A et AE Techron 7224, 50 [Hz]: mesure étalon LMG 500 |                        |                       |                    |               |            |             |                     |                |              |                    |
|---|------------------------|-----------------------|--------------------|---------------|------------|-------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|
| Mesures   |                        |                       | Calculs            |               |            |             |                     |                |              |                    |
| UAC RMS réel [V]  | UAC RMS sortie PCB [V] | UAC RMS FPGA cRIO [V] | Gain théorique PCB | Gain réel PCB | Offset PCB | Offset FPGA | Gain théorique FPGA | Gain réel FPGA | Gain LabVIEW | Valeur LabVIEW [V] |
| 0   | 0                      | 0                     | 0.025              | -             | 0          | 0           | 1                   | -              | -            | -                  |
| 19.742  | 0.4966                 | 0.496368              | 0.025              | 0.025154493   | 0          | 0           | 1                   | 0.999532823    | 39.77291042  | 19.742             |
| 40.859  | 1.0275                 | 1.02719               | 0.025              | 0.025147458   | 0          | 0           | 1                   | 0.999698297    | 39.7774511   | 40.859             |
| 59.231  | 1.4893                 | 1.48886               | 0.025              | 0.025143928   | 0          | 0           | 1                   | 0.999704559    | 39.78278683  | 59.231             |
| 80.309  | 2.0197                 | 2.01904               | 0.025              | 0.025149112   | 0          | 0           | 1                   | 0.999673219    | 39.77583406  | 80.309             |
| 99.994  | 2.5145                 | 2.51373               | 0.025              | 0.025146509   | 0          | 0           | 1                   | 0.999693776    | 39.779133    | 99.994             |
| 119.65  | 3.009                  | 3.00818               | 0.025              | 0.025148349   | 0          | 0           | 1                   | 0.999727484    | 39.77488049  | 119.65             |
| Gain moyen  |                        |                       |                    | 0.025148308   |            |             |                     | Gain moyen     | 39.77716598  |                    |

| Agilent 33210A et AE Techron 7224, 49 [Hz]: mesure étalon LMG 500 |                        |                       |             |
|---|------------------------|-----------------------|-------------|
| Mesures   |                        |                       |             |
| UAC RMS réel [V]  | UAC RMS sortie PCB [V] | UAC RMS FPGA cRIO [V] | Erreur [%]  |
| 0   | 0                      | 0                     | -           |
| 19.742  | 0.4966                 | 0.496368              | 0.04671768  |
| 39.448  | 0.9921                 | 0.991699              | 0.040419313 |
| 60.632  | 1.5247                 | 1.52423               | 0.030825736 |
| 80.311  | 2.0196                 | 2.01907               | 0.02624282  |
| 99.995  | 2.5146                 | 2.51385               | 0.029825817 |
| 119.67  | 3.0091                 | 3.00818               | 0.030573926 |
| Erreur moyenne  |                        |                       | 0.034100882 |

| Agilent 33210A et AE Techron 7224, 51 [Hz]: mesure étalon LMG 500 |                        |                       |             |
|---|------------------------|-----------------------|-------------|
| Mesures   |                        |                       |             |
| UAC RMS réel [V]  | UAC RMS sortie PCB [V] | UAC RMS FPGA cRIO [V] | Erreur [%]  |
| 0   | 0                      | 0                     | -           |
| 19.74   | 0.4966                 | 0.496338              | 0.05275876  |
| 40.858  | 1.0275                 | 1.02716               | 0.033090024 |
| 59.222  | 1.4892                 | 1.48871               | 0.032903572 |
| 80.309  | 2.0197                 | 2.01901               | 0.03416349  |
| 99.996  | 2.5146                 | 2.51376               | 0.033404915 |
| 118.26  | 2.9738                 | 2.97296               | 0.028246688 |
| Erreur moyenne  |                        |                       | 0.035761241 |

# Calibration de la chaine de mesure du courant DC

| Alimentation TDK Lambda en court-circuit : mesure étalon LMG 500 |                         |                        |                    |               |            |             |                     |                |              |                    |
|--|-------------------------|------------------------|--------------------|---------------|------------|-------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|
| Mesures  |                         |                        | Calculs            |               |            |             |                     |                |              |                    |
| IDC MEAN réel [A]  | UDC MEAN sortie PCB [V] | UDC MEAN FPGA cRIO [V] | Gain théorique PCB | Gain réel PCB | Offset PCB | Offset FPGA | Gain théorique FPGA | Gain réel FPGA | Gain LabVIEW | Valeur LabVIEW [A] |
| 0  | 0                       | 0                      | 0.166666667        | -             | 0          | 0           | 1                   | -              | -            | -                  |
| 5.0029   | 0.8365                  | 0.835602               | 0.166666667        | 0.167203022   | 0          | 0           | 1                   | 0.998926479    | 5.9871805    | 5.0029             |
| 9.9823   | 1.663                   | 1.66238                | 0.166666667        | 0.166594873   | 0          | 0           | 1                   | 0.99962718     | 6.004824408  | 9.9823             |
| 15.198   | 2.5294                  | 2.52829                | 0.166666667        | 0.166429793   | 0          | 0           | 1                   | 0.999561161    | 6.011177515  | 15.198             |
| 20.417   | 3.3953                  | 3.39438                | 0.166666667        | 0.166297693   | 0          | 0           | 1                   | 0.999729037    | 6.014942346  | 20.417             |
| 25.282   | 4.2042                  | 4.20297                | 0.166666667        | 0.166292224   | 0          | 0           | 1                   | 0.999707435    | 6.015270154  | 25.282             |
| 30.151   | 5.0124                  | 5.01089                | 0.166666667        | 0.166243242   | 0          | 0           | 1                   | 0.999698747    | 6.017094768  | 30.151             |
| 35.024   | 5.8207                  | 5.81915                | 0.166666667        | 0.166191754   | 0          | 0           | 1                   | 0.999733709    | 6.018748443  | 35.024             |
| 39.894   | 6.6288                  | 6.62854                | 0.166666667        | 0.166160325   | 0          | 0           | 1                   | 0.999960777    | 6.018519915  | 39.894             |
| 45.108   | 7.5026                  | 7.49396                | 0.166666667        | 0.166325264   | 0          | 0           | 1                   | 0.998848399    | 6.019247501  | 45.108             |
| 49.978   | 8.3096                  | 8.30313                | 0.166666667        | 0.166265157   | 0          | 0           | 1                   | 0.999221382    | 6.019175901  | 49.978             |
|  |                         |                        | Gain moyen         | 0.166400335   |            |             |                     | Gain moyen     | 6.012618145  |                    |

# Calibration de la chaine de mesure du courant AC

| Agilent 33210A et AE Techron 7224, 50 [Hz] : mesure étalon LMG 500 |                        |                       |                    |               |            |             |                     |                |              |                    |
|--|------------------------|-----------------------|--------------------|---------------|------------|-------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|
| Mesures  |                        |                       | Calculs            |               |            |             |                     |                |              |                    |
| IAC RMS réel [A]   | IAC RMS sortie PCB [V] | IAC RMS FPGA cRIO [V] | Gain théorique PCB | Gain réel PCB | Offset PCB | Offset FPGA | Gain théorique FPGA | Gain réel FPGA | Gain LabVIEW | Valeur LabVIEW [A] |
| 0  | 0                      | 0                     | 0.166666667        | -             | 0          | 0           | 1                   | -              | -            | -                  |
| 1.0186   | 0.1684                 | 0.168854              | 0.166666667        | 0.165324956   | 0          | 0           | 1                   | 1.002695962    | 6.032430384  | 1.0186             |
| 1.9973   | 0.3309                 | 0.331055              | 0.166666667        | 0.165673659   | 0          | 0           | 1                   | 1.000468419    | 6.033136488  | 1.9973             |
| 3.0365   | 0.5034                 | 0.503448              | 0.166666667        | 0.165782974   | 0          | 0           | 1                   | 1.000095352    | 6.031407414  | 3.0365             |
| 4.0198   | 0.6664                 | 0.66629               | 0.166666667        | 0.165779392   | 0          | 0           | 1                   | 0.999834934    | 6.033108706  | 4.0198             |
| 5.0886   | 0.8437                 | 0.843445              | 0.166666667        | 0.165801989   | 0          | 0           | 1                   | 0.99969776     | 6.033114192  | 5.0886             |
| 6.0315   | 1.0002                 | 1.00012               | 0.166666667        | 0.165829396   | 0          | 0           | 1                   | 0.999920016    | 6.030776307  | 6.0315             |
| 7.1009   | 1.1776                 | 1.17783               | 0.166666667        | 0.165838133   | 0          | 0           | 1                   | 1.000195313    | 6.028798723  | 7.1009             |
| 8.0775   | 1.3391                 | 1.33936               | 0.166666667        | 0.165781492   | 0          | 0           | 1                   | 1.00019416     | 6.030865488  | 8.0775             |
| 9.0542   | 1.5015                 | 1.50156               | 0.166666667        | 0.16583464    | 0          | 0           | 1                   | 1.00003996     | 6.029862277  | 9.0542             |
| 10.018   | 1.6617                 | 1.66165               | 0.166666667        | 0.165871431   | 0          | 0           | 1                   | 0.99996991     | 6.028947131  | 10.018             |
|  |                        |                       | Gain moyen         | 0.165751806   |            |             |                     | gain moyen     | 6.031244711  |                    |

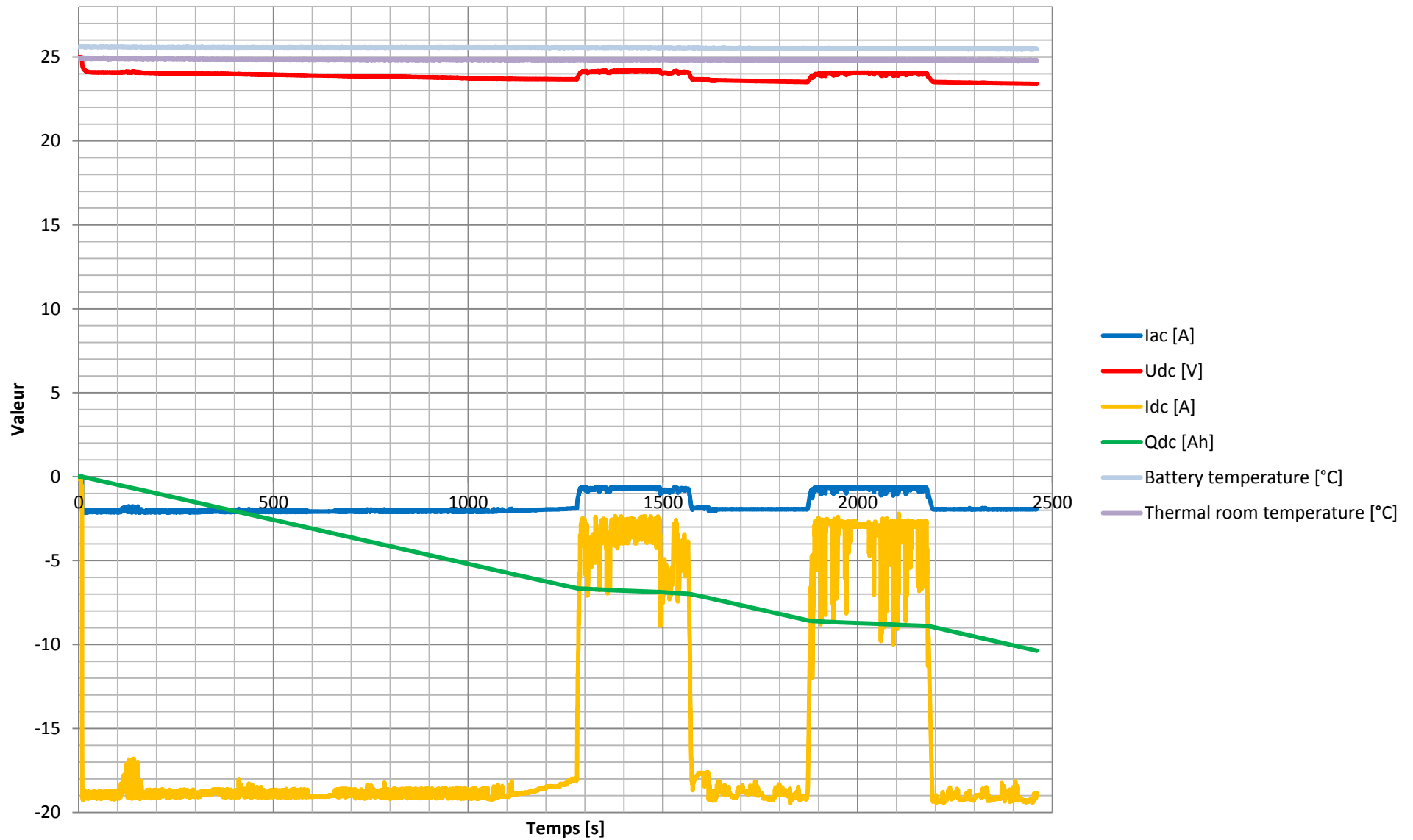
| Agilent 33210A et AE Techron 7224, 49 [Hz] : mesure étalon LMG 500 |                        |                       |             |
|--|------------------------|-----------------------|-------------|
| Mesures  |                        |                       |             |
| IAC RMS réel [A]   | IAC RMS sortie PCB [V] | IAC RMS FPGA cRIO [V] | Erreur [%]  |
| 0  | 0                      | 0                     | -           |
| 1.0194   | 0.1686                 | 0.169067              | 0.276986951 |
| 2.0623   | 0.3418                 | 0.341888              | 0.02574605  |
| 3.0708   | 0.5092                 | 0.509094              | 0.020816968 |
| 4.0236   | 0.6671                 | 0.666931              | 0.025333533 |
| 5.0923   | 0.8444                 | 0.844147              | 0.029962103 |
| 6.0981   | 1.0114                 | 1.01144               | 0.003954914 |
| 7.0756   | 1.1737                 | 1.17334               | 0.030672233 |
| 8.1815   | 1.3565                 | 1.35663               | 0.009583487 |
| 9.0665   | 1.5035                 | 1.50339               | 0.007316262 |
| 10.003   | 1.6583                 | 1.65823               | 0.00422119  |
| Erreur moyenne   |                        |                       | 0.043459369 |

| Agilent 33210A et AE Techron 7224, 51 [Hz] : mesure étalon LMG 500 |                        |                       |             |
|--|------------------------|-----------------------|-------------|
| Mesures  |                        |                       |             |
| IAC RMS réel [A]   | IAC RMS sortie PCB [V] | IAC RMS FPGA cRIO [V] | Erreur [%]  |
| 0  | 0                      | 0                     | -           |
| 1.0182   | 0.1684                 | 0.168854              | 0.2695962   |
| 2.0257   | 0.3358                 | 0.33609               | 0.086360929 |
| 3.0051   | 0.4982                 | 0.498047              | 0.030710558 |
| 4.0223   | 0.6669                 | 0.666748              | 0.022792023 |
| 5.0273   | 0.8337                 | 0.833435              | 0.031786014 |
| 6.1608   | 1.0215                 | 1.02148               | 0.001957905 |
| 7.1687   | 1.1887                 | 1.18881               | 0.009253807 |
| 8.0206   | 1.3299                 | 1.33014               | 0.01804647  |
| 9.0325   | 1.4978                 | 1.49777               | 0.002002938 |
| 10.064   | 1.669                  | 1.6687                | 0.017974835 |
| Erreur moyenne   |                        |                       | 0.049048168 |

## SP 110 décharge rapide (20 [A]), température ambiante



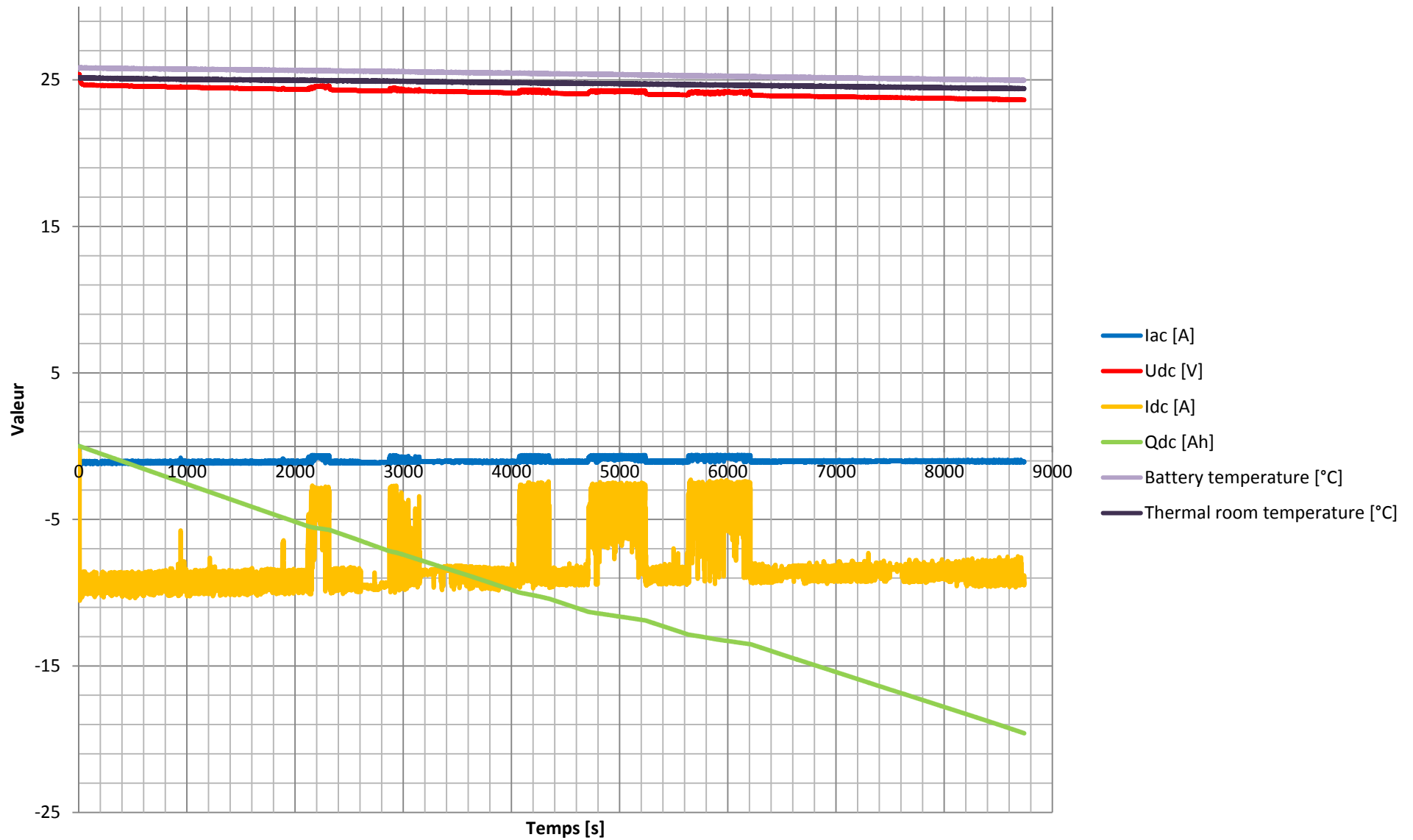
## SP 110 décharge rapide (20 [A]), température ambiante



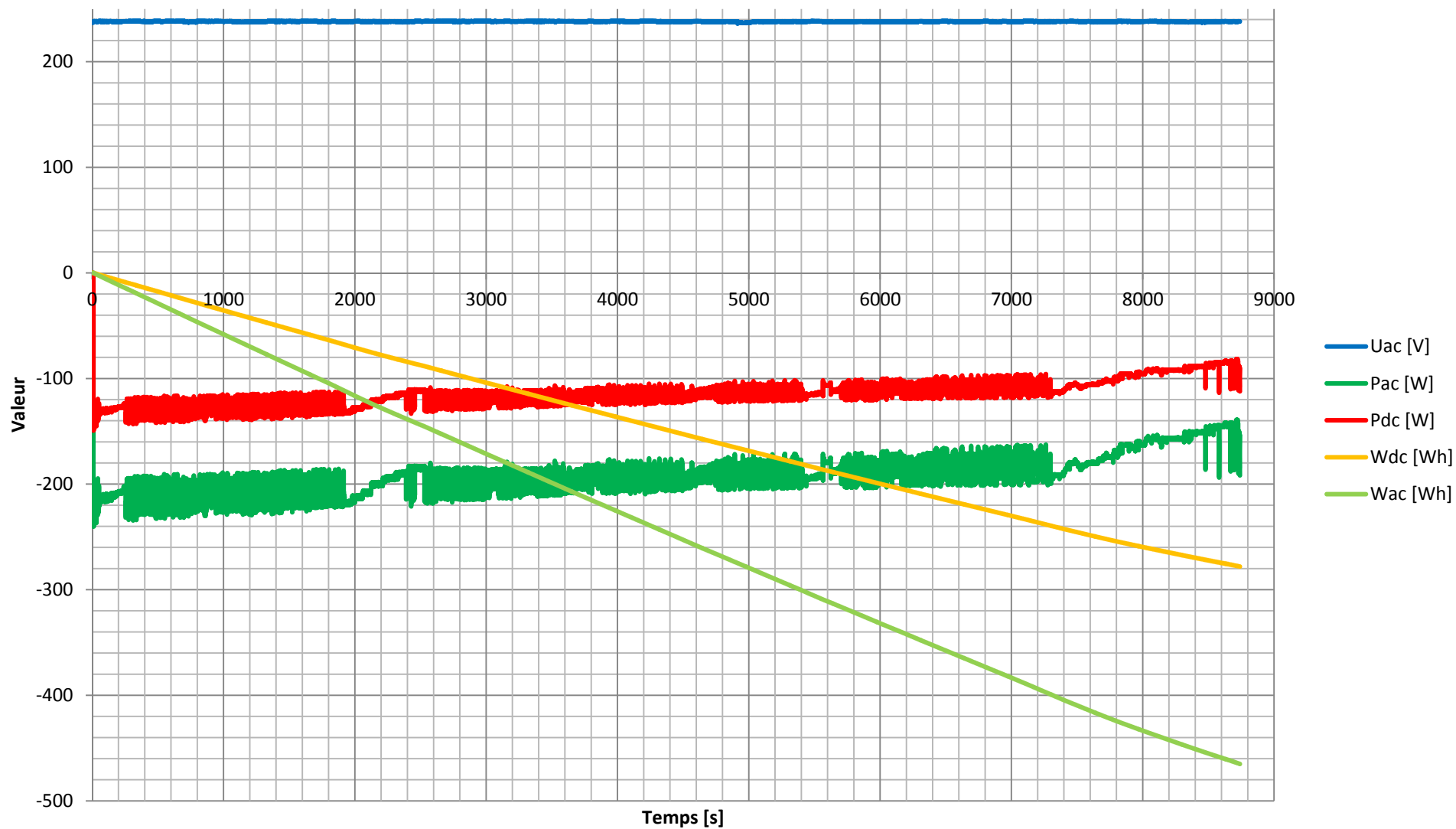
## SP 110 décharge moyenne (10 [A]), température ambiante



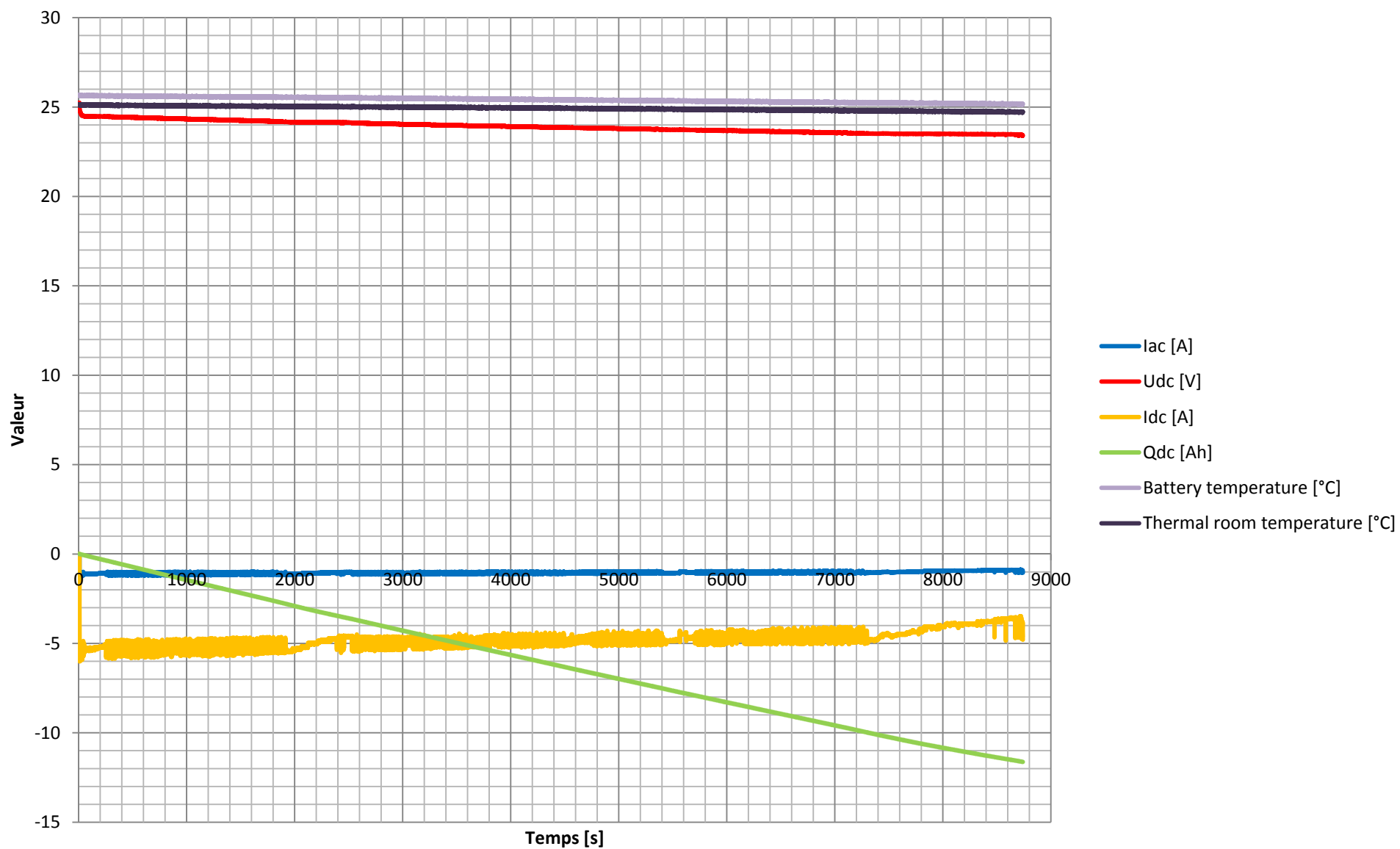
## SP 110 décharge moyenne (10 [A]), température ambiante



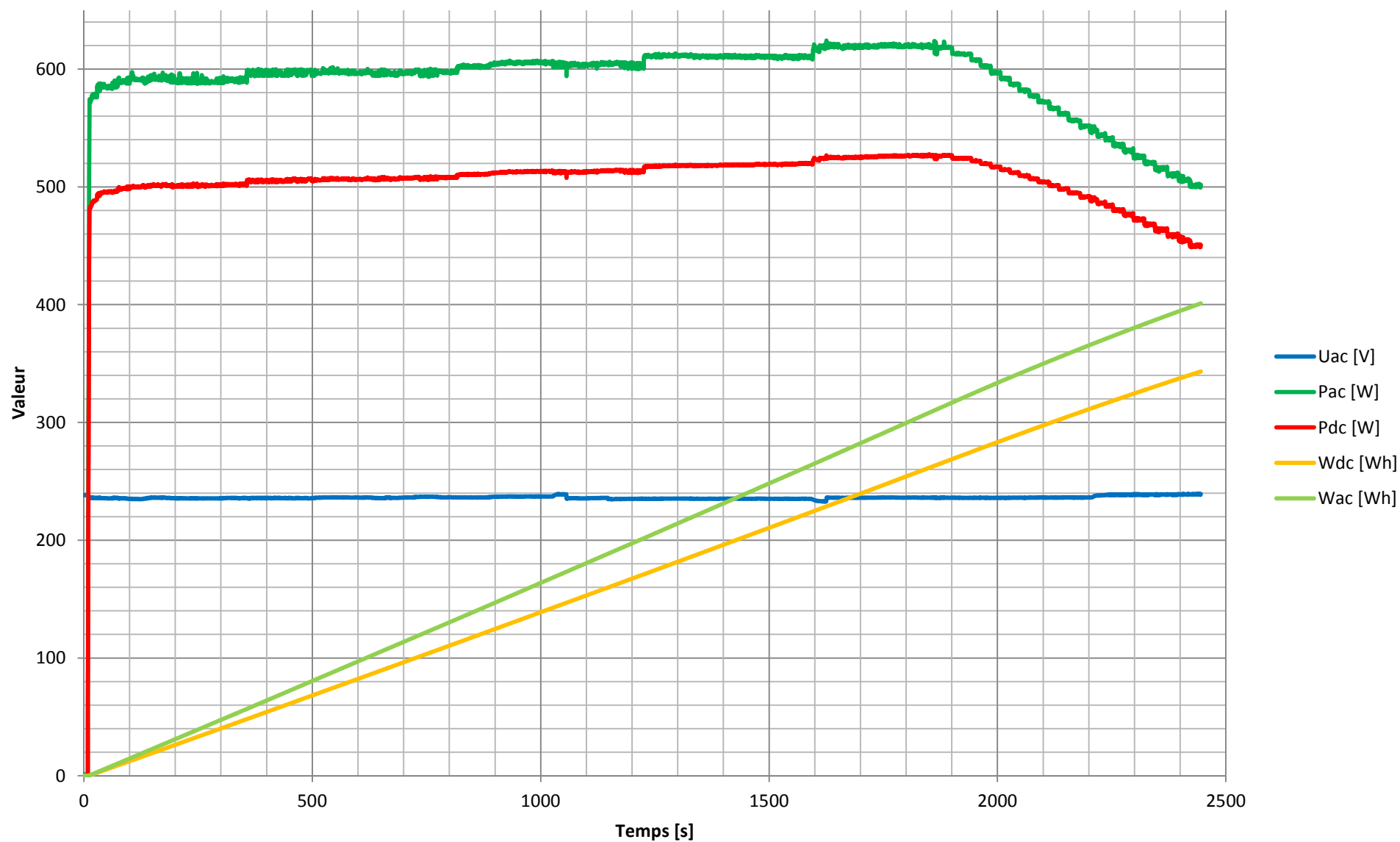
## SP 110 décharge lente (5 [A]), température ambiante



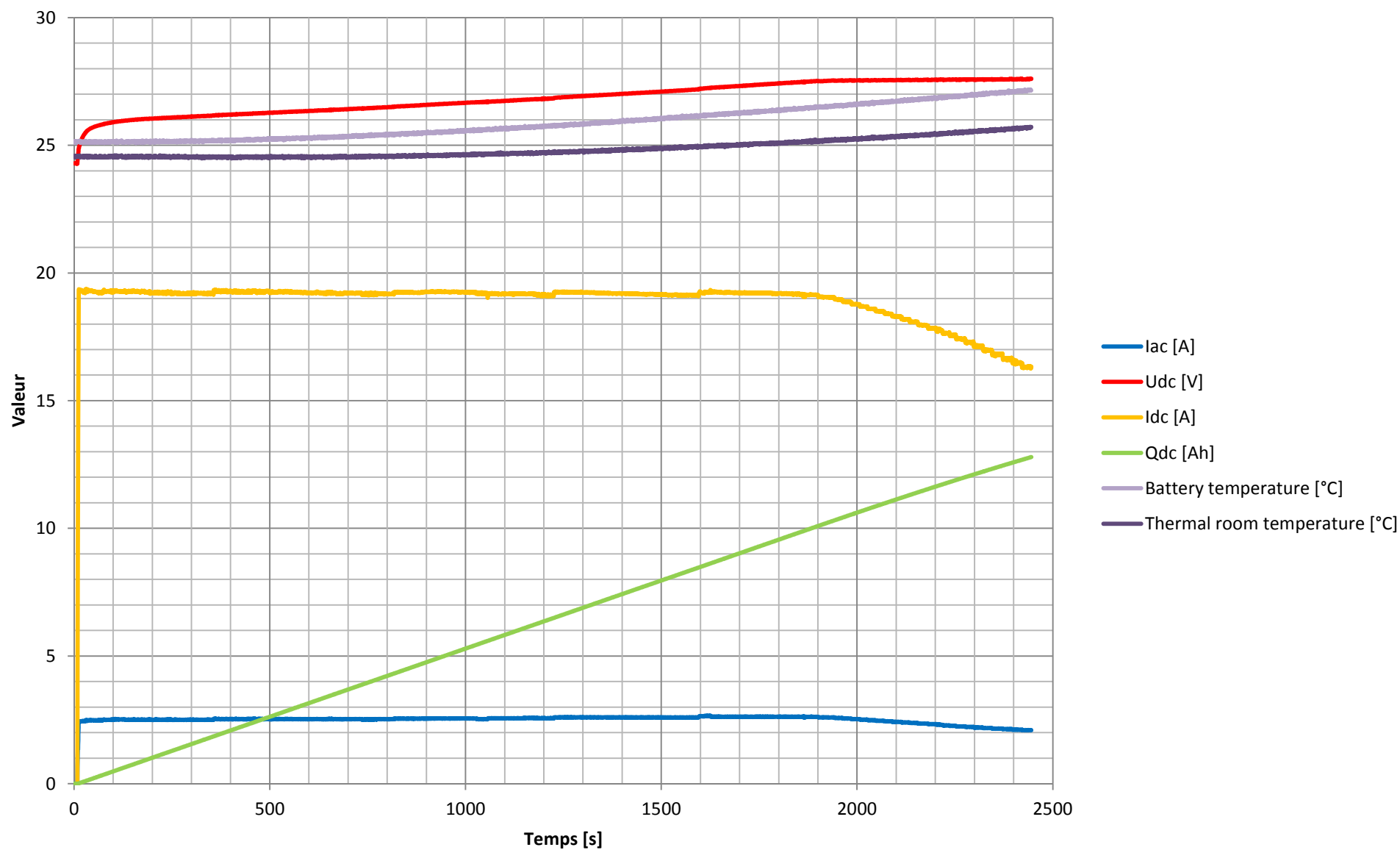
## SP 110 décharge lente (5 [A]), température ambiante



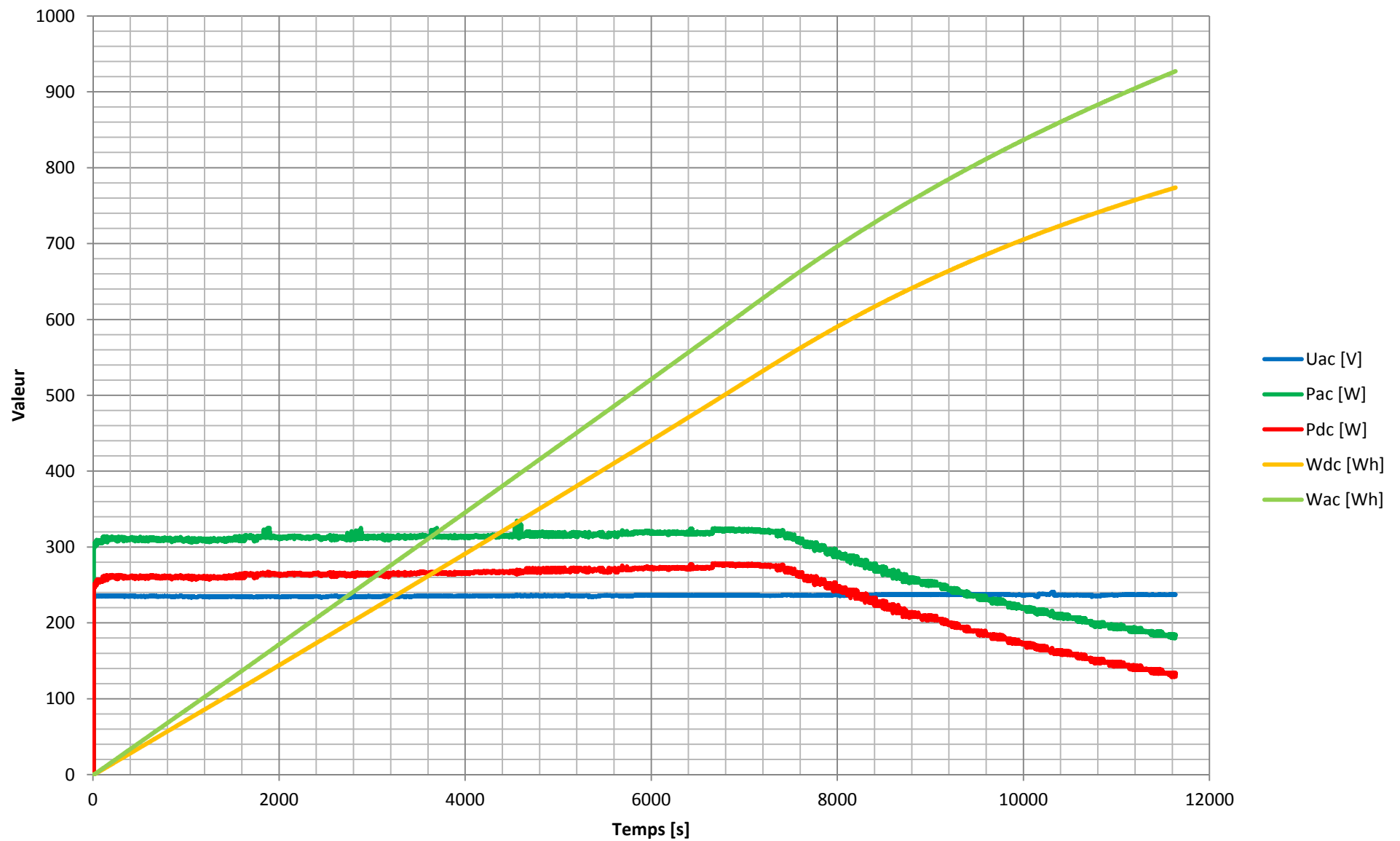
## SP 110 charge rapide (20 [A]), température ambiante



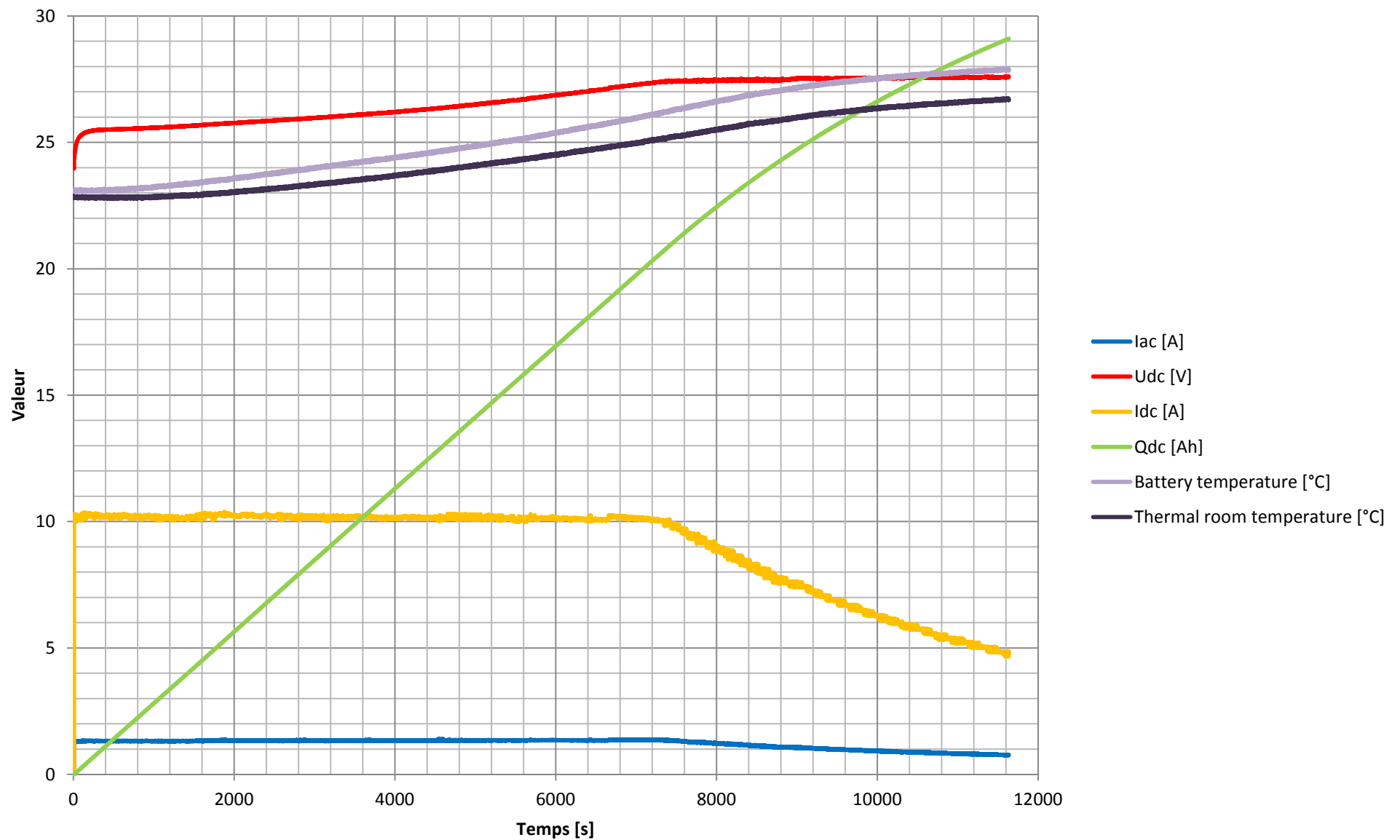
## SP 110 charge rapide (20 [A]), température ambiante



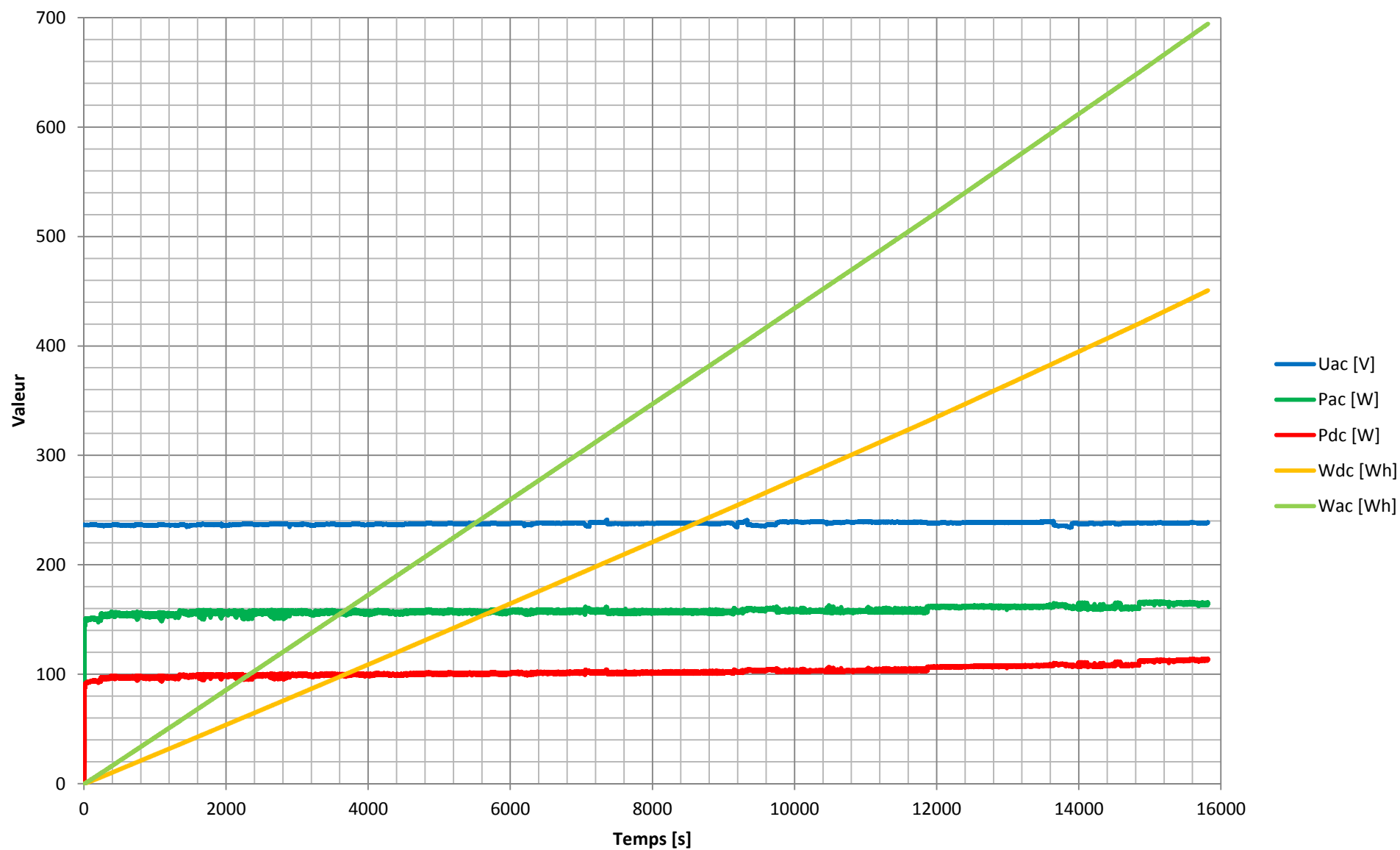
## SP 110 charge moyenne (10 [A]), température ambiante



## SP 110 charge moyenne (10 [A]), température ambiante



## SP 110 charge lente (5 [A]), température ambiante



## SP 110 charge lente (5 [A]), température ambiante

