

Laboratoire certificatif

Contrôleur plaque Peltier

Objectifs de ce laboratoire

- Appliquer les techniques de la chaîne de mesure dans un contexte donné
- Réaliser un montage prototype et sa programmation
- Décrire le principe d'un système de pompe à chaleur

Table des matières

Objectifs de ce laboratoire	1
Mise en contexte	2
Matériel requis	2
Le schéma-bloc	3
Communication ESP32-LabView	3
Vue générale du montage et identification des sections	6
Manipulation 1 - Le montage de la pompe à chaleur	7
La plaque Peltier fait le chaud et le froid	7
Montage du bloc Peltier	7
Les étapes de montage :	8
Manipulation 2 – planification du montage électronique	9
Détails des sections	10
Conditionnement des capteurs de température du bloc Peltier (thermistances)	10
Interfaçage du DS18B20	10
Module INA219	10
Conversion 12V à 5V	10
Commutateur principal	11
Commande de courant	11
Commande des ventilateurs	13
Manipulation 3 – Programmation et essais	14
Manipulation 4 – Constat de fonctionnement	15
Relation de transfert (plutôt que courbe d'étalonnage)	15
Évaluation	15
Conclusion	16

Annexe A	17
----------------	----

Mise en contexte

Il existe plusieurs façons de transférer la chaleur dont le plus connu est celui utilisé par le réfrigérateur domestique. Toutefois ce dernier a le désavantage d'être quelque peu complexe, bruyant, lourd ou encombrant. Il existe un principe basé sur l'effet Seebeck, qui a connu un regain de popularité et qui est aujourd'hui indispensable, entre autres, dans le quotidien du monde de l'information, des télécommunications, entre autres.

La plaque Peltier peut être vue comme un assemblage de thermocouples dont on peut la qualifier de pompe à chaleur. Selon le sens du courant qui la traverse, ce module sera chaud d'un côté et froid de l'autre. Ce principe sert donc autant la microélectronique pour refroidir des diodes lasers que des applications de réfrigération populaire comme la glacière portative branchable ou encore l'extraction de chaleur d'un microprocesseur d'un serveur.

Ce laboratoire est dit certificatif puisque vous réutiliserez ce que vous avez appris au cours de la session afin de l'intégrer dans ce travail.

Ce laboratoire concerne le contrôle en courant de l'alimentation d'une plaque Peltier afin de maintenir la température du côté froid la plus constante possible. À cet effet il vous faudra mesurer le courant dans la plaque Peltier, et en mesurer la température à divers endroits du montage.

Pour faciliter le travail, vous disposerez d'une interface LabView qui sert de contrôle visuel à votre montage. Pour cette partie, vous devez accomplir l'interfaçage entre le LabView et l'électronique autour de la plaque Peltier.

Vous aurez l'occasion de monter vous-même un appareillage servant à pomper la chaleur.

Matériel requis

- Support de montage et plaquette prototype et pièces de base (module INA219, module XL4015)
- Pièces composant le module Peltier : dissipateurs, ventilateurs, capteur de température
- Capteur optique (Object Avoidance Detector) utilisé comme capteur tachymétrique
- Pièces électroniques :
 - LM358 ou MCP6292 **
 - Module convertisseur DC-DC XL4015 **
 - CNA modèle MCP4921 **
 - Régulateur 7805 **
 - Capteur à circuit intégré DS18B20
 - Module CAN ADS1115 **
 - Plaquette ESP32-DOIT-KIT-1V0
 - 3 transistors** : 1x 2N4401, 1 IRUL014 et 1x IRF9540
 - 2 dissipateurs de chaleur type « press fit » pour boîtier TO-220
 - Résistances et condensateurs
 - Câble USB
 - Bloc d'alimentation (incluant fils de raccord)

- Multimètre HP
- Fils de divers calibres et longueurs.

Note : les ** indiquent le requis d'obtenir la fiche du fabricant de la pièce indiquée.

Le schéma-bloc

Le schéma-bloc du système que vous allez monter est le suivant :

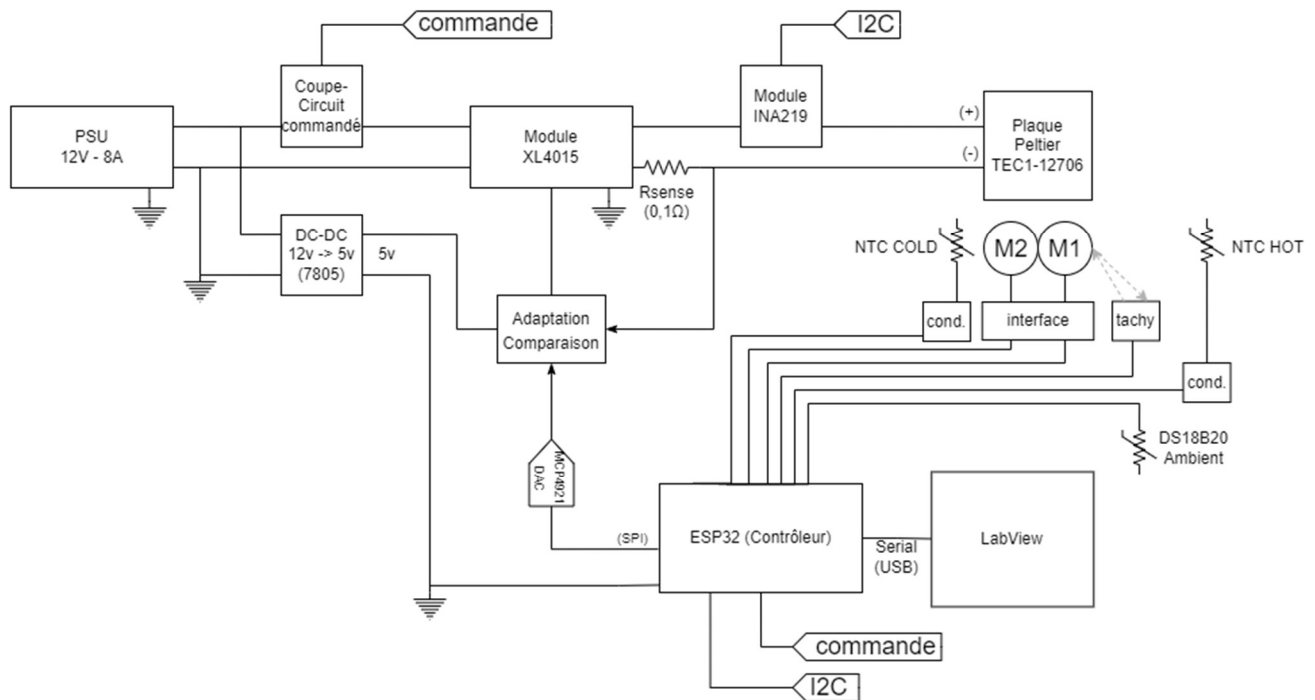


Figure 1 - Schéma-bloc du montage du labo certificatif

Communication ESP32-LabView

Au cœur du système, le ESP32 sera l'interface entre (1) le programme LabView et (2) le montage électronique de contrôle. Le programme LabView est utilisé pour visualiser les paramètres des capteurs et commander certaines actions. La routine du ESP32 est de procéder en continu à la lecture des capteurs du montage et présente, sur demande, les données au programme LabView.

Le programme LabView vous sera fourni, déjà prêt à l'utilisation MAIS vous devrez réaliser le programme complet du ESP32, devant répondre à certaines exigences.

Le programme LabView communique à l'aide du moniteur série, connecté au ESP32. LabView envoie des commandes au ESP32 qui doit répondre en fonction de cette commande.

Pour ce faire vous allez devoir baser votre programmation sur la librairie TGP_Decodeur, que vous avez déjà exploré à quelques reprises au cours des divers labos de Chaînes de mesure.

Le principe du protocole de communication ESP-LabView est que le ESP32 attend une commande de la part du programme LabView. Pour chaque commande il peut y avoir 0 ou plusieurs arguments (valeurs

chiffrées). Pour chaque commande, le ESP32 doit retourner une réponse au programme LabView. Ce pourrait être, selon le cas, des valeurs de lecture des capteurs ou l'état d'une broche ou fonction. Dans les cas où le ESP32 ne renvoie pas de lecture ou un état, le ESP32 **doit** retourner un accusé de réception de la commande, soit un accusé de réception positif (ACK). Dans le cas où une commande n'est pas reconnue, un accusé de réception négatif NACK (cas d'une erreur) doit être renvoyée. Un code ACK correspond à un caractère étoile « * » tandis qu'une réponse négative est un caractère du point d'interrogation « ? ».

Dans l'attente d'une commande de la part du programme LabView, le ESP32 effectue son travail régulier de lecture des capteurs.

Les commandes auxquelles le ESP32 doit répondre sont les suivantes :

Lettre et arguments de la commande (REÇUE)	Signification	Réponse du ESP32
X	Commande de lecture du courant	[<i>courant_en_mA</i>]
V	Commande de lecture de la tension Vbus	[<i>tension_Vbus_en_Volts</i>]
W	Commande de lecture de la puissance	[<i>puissance_en_mW</i>]
I	Commande de lecture de l'ensemble électrique : courant, tension Vbus et puissance	[<i>shuntV; Vbus; courant; puissance; loadV</i>]
J	Commande de lecture du tachymètre	[<i>vitesse_en_tpm</i>]
T [0 1 2]	0 = Commande de lecture de la température du côté froid 1 = Commande de lecture de la température du côté chaud 2 = Commande de lecture de la température du capteur ambiant	[<i>temperature_en_Celsius</i>]
G [0 1]	0 = Commande de lecture de l'état du ventilateur côté froid, réponse 0=éteint, 1=allumé. 1 = Commande de lecture de l'état du ventilateur côté chaud, réponse 0=éteint, 1=allumé.	[0 1]
D	Commande de lecture de l'état du commutateur principal. Réponse 0=éteint, 1=allumé.	[0 1]
L	Commande de lecture de la consigne de courant	[0-100]
P	Commande de lecture du nom du programme et sa version	[<i>nom_du_programme</i>]
M	Commande pour afficher le menu des commandes (pour utilisation humaine)	(<i>menu des commandes</i>)
F [n] [0 1]	Commande d'état du ventilateur n=0=côté froid, n=1=côté chaud	Fan [n] [ON OFF]
C [0 1]	Commande d'état du commutateur principal	Buckboost [ON OFF]
S [0-100]	Commande de consigne du courant, valeur en pourcentage, par saut de 1%.	[0-100]
R	Re-démarrage du ESP32	*

Tableau 1 - Liste des commandes de l'interface ESP32-LabView

Note 1 : ne pas inclure les crochets (« [» ou «] ») dans le message de retour par le ESP32.

Note 2 : En guise d'exemple de la commande P pour obtenir le nom du programme, le ESP3 pourrait répondre : « Contrôleur Peltier – version 1.4 – TGP CAL A22 – Jean Névù»... ceci afin de bien identifier le contrôleur qui connecte au LabView.

Note 3 : dans les crochets [], la barre verticale | signifie « ou »... donc [0|1] doit être interprété comme « 0 » **ou** « 1 ».

Note 4 : Notez bien l'espace entre la commande et son argument (voir la librairie TGP Décodeur).

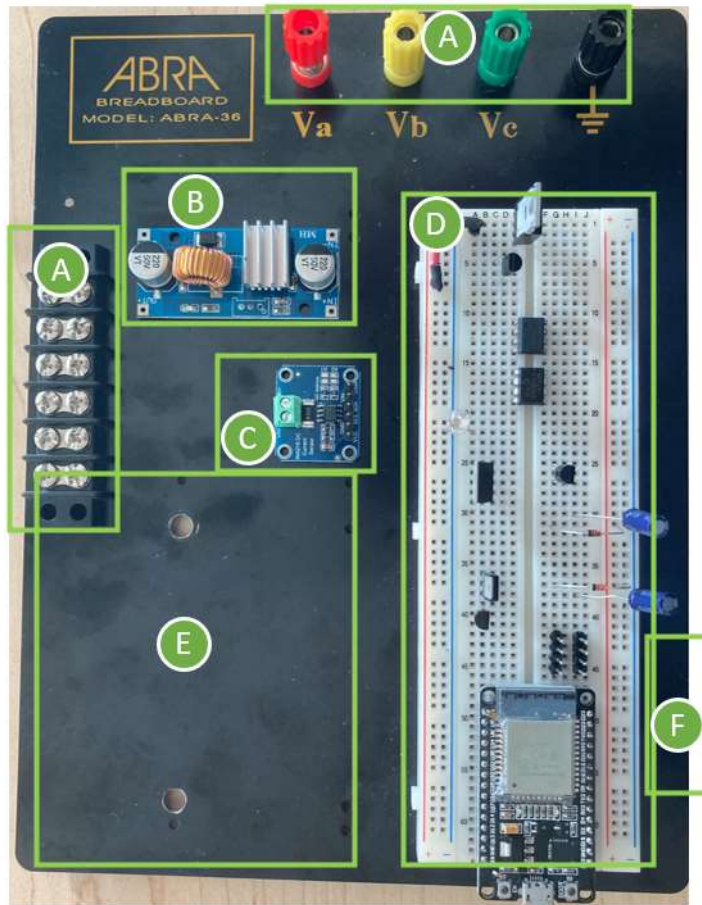
OPTIONNELLEMENT et pour vous permettre de tester votre montage après la manipulation 2, un code logiciel pour ESP32 a déjà été compilé pour vous et est disponible sous forme binaire. Il est donc à vous de le télécharger dans le ESP32 à l'aide de l'outil esptool.exe. Cependant, ce code vous oblige à utiliser des broches entrées/sorties spécifiques, qui sont :

# de broche ESP32 (V3.1.2)	Utilisation
26	Commande du ventilateur froid
25	Commande du ventilateur chaud
15	Capteur optique (tachymètre)
2	Commande du commutateur principal (coupe-circuit)
4	Ligne Data du DS18B20
5	Broche CS du MCP4921

Si requis, l'enseignant vous indiquera la marche à suivre pour télécharger ce code binaire dans le ESP32 (sans passer par Arduino). L'idée est que vous ayez un code qui n'est fait que pour le ESP32 et il est difficilement déchiffrable pour connaître le code langage C. C'est votre production en langage C (Arduino) que l'enseignant corrigera au terme de travail.

Vue générale du montage et identification des sections

La Figure 2 présente la plaque de montage sur laquelle sera réalisé l'électronique de ce laboratoire. Tous les composants matériels requis y seront présents.



On y retrouve les sections suivantes :

- A) Borniers de raccord de puissance (cellule Peltier, résistance shunt, etc)
- B) Module régulateur tension à courant XL4015
- C) Module de mesure I,V,P INA219
- D) Plaque de montage de l'électronique de contrôle
- E) Zone réservée au bloc Peltier (absent de la Figure 2)
- F) Module CAN ADS1115

Cette figure présente l'emplacement initiale sans aucune interconnexion... ce sera à vous de les réaliser.

Des fils d'interconnexion de tailles différentes vous seront proposés, vous devez bien les choisir.

Note : une version B de la plaque de montage caractérisée par une base de HDPE (plastique blanc). Consulter l'annexe.

Figure 2 - Plaque de montage globale

Manipulation 1 - Le montage de la pompe à chaleur

La plaque Peltier fait le chaud et le froid

Pour valider le bon fonctionnement de la plaque Peltier et déterminer les surfaces chaudes et froides. Cette étape est importante car le montage qui suivra en dépend.

- Réglez le bloc d'alimentation pour fournir une tension maximale de 5v et une limite de 200mA.
- Branchez la plaque Peltier au bloc d'alimentation, sortie inactivée.
- Activez la sortie et touchez les surfaces de la plaque. Notez le sens du courant (fil rouge et noir) ainsi que les côtés chaud et froid de la cellule Peltier.
- Validez en inversant le sens du courant et notez à nouveau.

Prendre en note le marquage sur la cellule Peltier... faites des recherches sur la signification du marquage.

Note : il est recommandé de vérifier les thermistances, leur type, leur valeur nominale, caractéristiques.

Montage du bloc Peltier

Le montage en vue éclatée des pièces constituant le bloc Peltier est montré à la Figure 3:

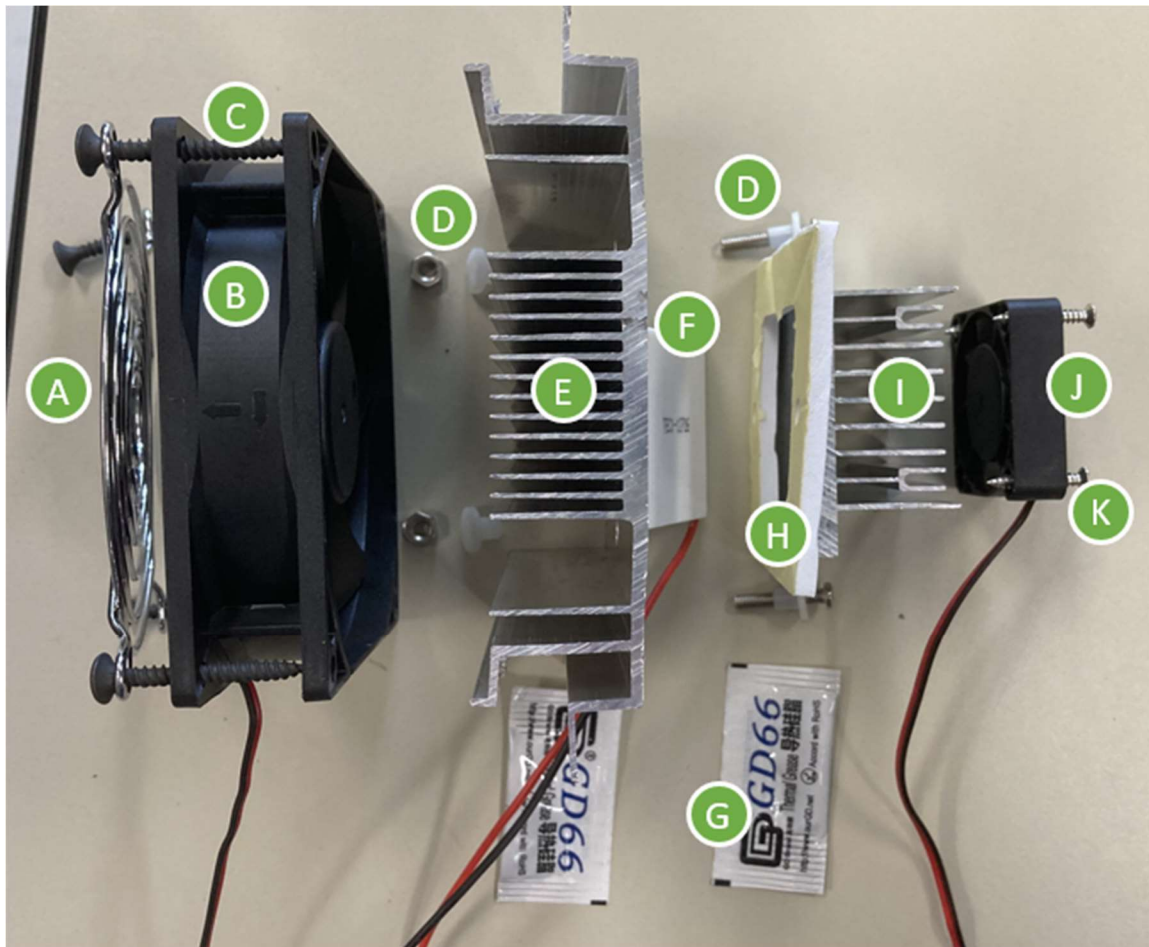


Figure 3 - composants du bloc Peltier

Le bloc Peltier comprend les pièces suivantes (Figure 3) :

- A) La grille protectrice du ventilateur côté chaud
- B) Le ventilateur chaud
- C) Vis d'assemblage de la grille, du ventilateur au dissipateur côté chaud
- D) Entretoises de nylon, écrous et boulons de serrage des dissipateurs et plaque Peltier
- E) Dissipateur chaud
- F) Plaque Peltier TEC1-1206 (40mm X 40mm)
- G) Pâte à transfert thermique (sachet ou tube MG Chemicals))
- H) Cadre-isolant en mousse
- I) Dissipateur froid
- J) Ventilateur froid
- K) Vis d'assemblage du ventilateur et dissipateur froids
- L) (non-montrés) capteurs de température et bloc de retenu
- M) (non-montré) le module tachymètre

La Figure 4 montre le montage final du bloc Peltier, ventilateurs et dissipateurs (auquel il manque les capteurs de température) :



Figure 4 - Bloc Peltier assemblé (sans capteur de température)

Les étapes de montage :

- 1) Vérifier que vous avez toutes les pièces énumérées plus haut, ainsi que les 2 capteurs de température.
- 2) Faire un essai d'assemblage des dissipateurs, plaque Peltier et cadre-isolant en mousse, à l'aide des boulons, entretoises et tarauds appropriées. ATTENTION : les entretoises de nylon servent à éviter les ponts thermiques entre les deux dissipateurs.
- 3) Observer et prendre en note l'endroit où seront placés les capteurs de température. Faire attention à l'orientation des fils (plaque Peltier, et des 2 ventilos).

- 4) Une fois confirmé, démonter et appliquer une mince couche de pâte de transfert thermique sur toute la surface de la plaque Peltier et de chaque côté, procédez à 1 côté à la fois.
- 5) Assembler en sandwich la plaque Peltier et les dissipateurs en n'oubliant pas la mousse isolante. Ne pas appliquer une force de serrage excessive sur les boulons. Les thermistances seront installées entre les ailettes des dissipateurs.
- 6) Finaliser le montage avec les ventilateurs. Faire attention à l'orientation des fils, dont la liaison se fera avec la plaque de montage.
- 7) Le ventilateur chaud possède une grille de protection et recevra le capteur tachymètre.

Manipulation 2 – planification du montage électronique

Le montage devra être entièrement réalisé sur la plaque de prototypage. Vous allez devoir planifier l'espace pour les diverses sections et selon le schéma-bloc de la Figure 1.

Afin de vous aider, voici une planification suggérée (Figure 5) :

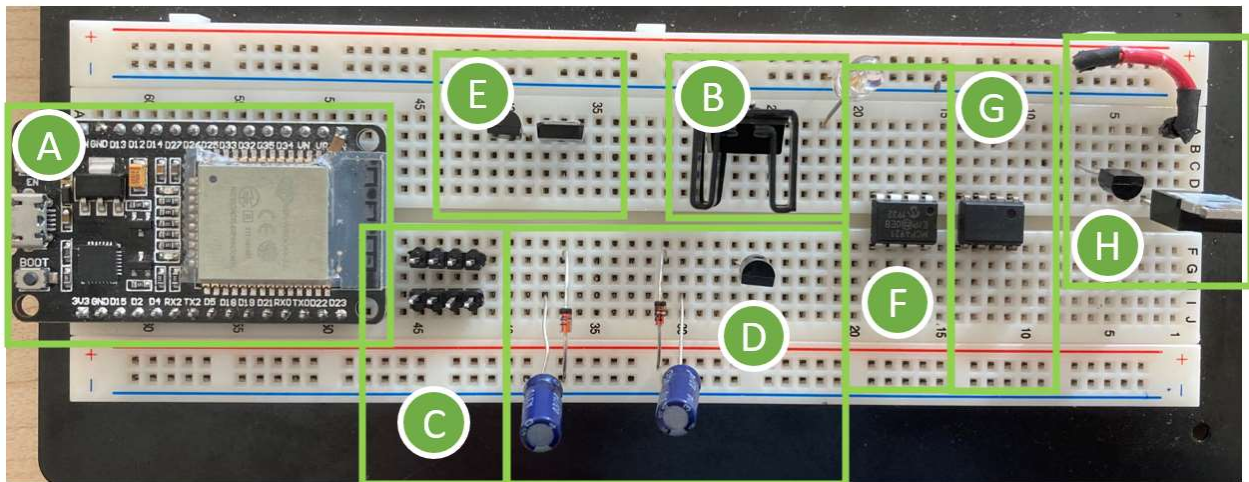


Figure 5 - Planification de l'espace sur la plaquette de prototypage

Les sections de la plaquette sont (Figure 5) :

- A) ESP32 : interface entre LabView et l'électronique
- B) Régulateur 5V (7805)
- C) Module CAN ADS1115 (monté sur le côté de la plaque)
- D) Conditionneurs des thermistances et du DS18B20
- E) Interface de commande des moteurs des ventilateurs
- F) Circuit intégré CNA MCP4921
- G) Circuit intégré ampli-op LM358
- H) Circuit coupe-circuit

Détails des sections

Conditionnement des capteurs de température du bloc Peltier (thermistances)

Un circuit de conditionnement des thermistances doit être monté et validé par un étalonnage sommaire. Sur la planche de prototypage, réaliser deux (2) montages du circuit de conditionnement, un (1) pour chacune des thermistances. Relier le montage de conditionnement au module ADS1115 que vous relierez à la plaquette ESP32. Le ADS1115 est un CAN à 4 entrées analogiques et une interface I2C avec le microcontrôleur. L'adresse I2C de ce dispositif est 0x48. Complétez la programmation pour lire et valider le bon fonctionnement de la lecture des températures en affichant l'information au moniteur série.

Interfaçage du DS18B20

Interfacez le capteur DS18B20 au montage et réalisez la programmation pour lire ce dernier.

Retrouvez la fiche du fabricant (datasheet) de ce circuit intégré utilisé dans votre montage. Conserver ce document pour votre remise.

Module INA219

Le module INA219 mesure le courant net parcouru dans la plaque Peltier. Relier ce capteur d'une part en série avec la plaque Peltier et d'autre part avec le ESP32 (bus I2C). L'adresse I2C du INA219 est 0x40.

Retrouvez la fiche du fabricant (datasheet) de ce circuit intégré utilisé dans votre montage. Conserver ce document pour votre remise.

Conversion 12V à 5V

Afin de donner plus d'amplitude pour l'ampli-op, ce dernier sera alimenté à 5v. Un convertisseur fixe de tension (régulateur) doit être monté sur la plaque.

Réalisez le montage suivant (Figure 6) :

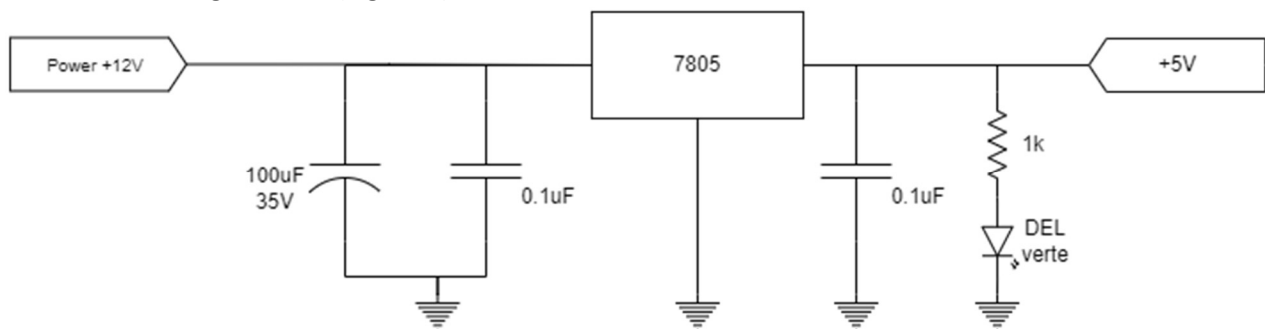


Figure 6 - Régulateur 7805

Le régulateur 7805 est un circuit intégré en boîtier de type TO-220. Ce boîtier chauffe quelque peu lors de ce laboratoire et doit évacuer sa chaleur. Le boîtier seul n'est pas suffisant pour cette tâche. Il faudra donc y adjoindre un dissipateur de chaleur approprié. Des dissipateurs vous ont été fournis pour ce labo, veuillez vous référer au technicien pour la procédure d'installation du dissipateur sur le boîtier.

Retrouvez la fiche du fabricant (datasheet) du circuit intégré 7805 que vous avez dans votre montage. Conserver ce document pour votre remise.

Faites aussi une petite recherche sur la résistance thermique du dissipateur. Il s'agit d'un modèle dit « press fit ».

Commutateur principal

Ce circuit sert de protection. Il doit être considéré comme un commutateur électronique, délivrant l'énergie au convertisseur tension-courant (module XL4015). Si ce commutateur n'est pas activé, aucune alimentation n'est délivrée au convertisseur, ni donc à la plaque Peltier et les ventilateurs. Ce circuit électronique est composé, du côté forte puissance, d'un transistor MOSFET et, du côté faible puissance, d'un transistor NPN 2N4401.

Réalisez le montage tel que le montre le schématic suivant (Figure 7) :

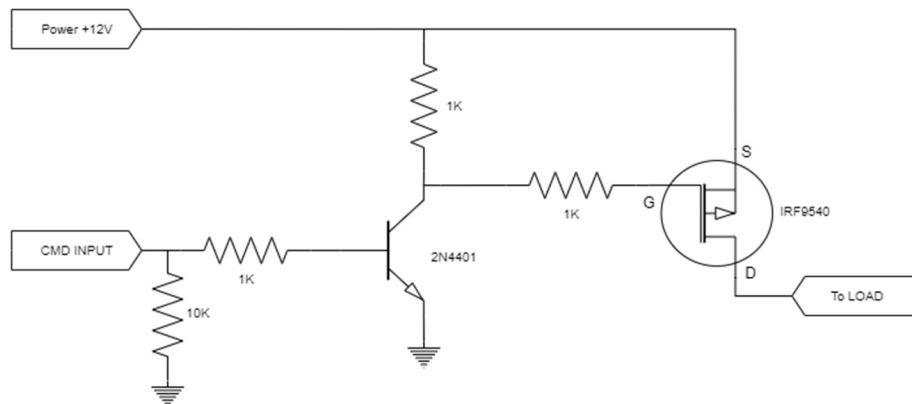


Figure 7 - Commutateur électronique principal (High-side switch)

Le transistor IRF9540 est un boîtier de type TO-220. Lors de son utilisation, ce transistor chauffe quelque peu. Toutefois afin de le maintenir dans sa meilleure performance, il doit être refroidi à l'aide d'un dissipateur de chaleur. Installer un dissipateur approprié.

Retrouvez la fiche du fabricant (datasheet) des deux transistors de ce montage. Conserver ces documents pour votre remise.

Justifier par analyse l'emploi d'un dissipateur sur le transistor IRF9540, sachant que le courant maximum sera de 3 ampères et que la résistance R_{DSon} est évaluée à $0,2\Omega$ lorsque le transistor est en fonction.

Commande de courant

Le circuit de commande de courant est constitué d'un comparateur entre la commande (donnée par l'ESP32) et ce qui se joue dans le circuit. La résistance shunt R_{sense} est utilisée pour mesurer de façon analogique le courant circulant dans la plaque Peltier via la relation $V=RI$. La tension développée aux bornes de la résistance est comparée à celle de la commande (ESP32 via MCP4921), la différence (à la sortie du comparateur) commande alors le circuit XL4015. La broche FB du circuit XL4015 sert alors à moduler le niveau PWM de sortie de la broche SW. Le signal SW est alors filtré par un circuit LC (2^e ordre), convertissant du coup le signal pulsé en un niveau de tension CC (0 à 12Vcc). Comme la cellule Peltier représente une charge fixe (résistance fixe), le courant la traversant est proportionnelle à la tension CC de sortie du module XL4015, après filtrage.

Ainsi, on peut dire que le courant est commandé par le circuit de commande. Vous aurez aussi besoin de la fiche du fabricant du circuit intégré XL4015. Effectuez vos recherches et conservez pour la remise.

Réalisez le circuit suivant (Figure 8) :

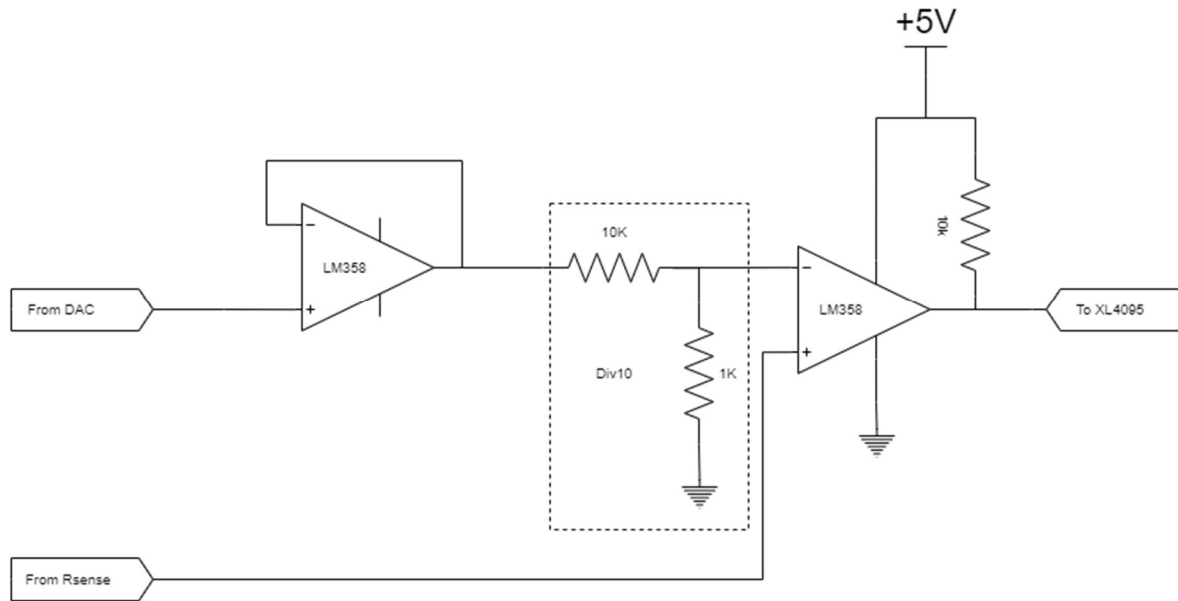


Figure 8 - Commande de courant

Le circuit « From DAC » provient du circuit intégré (CI) MCP4921 (voir la fiche du fabricant). Ce dernier est un CNA à 12 bits, fournissant un niveau de tension analogique entre 0 et 3.3V. Vous devez brocher ce circuit qui sera relié au ESP32 via le bus d'échange SPI. Ce bus est généralement composé de 4 fils, mais comme le MCP4921 n'écoute que le ESP32 et ne retourne pas de message, il n'en requiert que 3 : CS, MOSI (via SDI) et SCK (via SCL).

Au sujet du bus SPI, le ESP32 en offre deux, nous utiliserons que le VSPI, dont les broches sont les suivantes :

MOSI	MISO	CLK	CS
23	19	18	5

Note : une petite subtilité du circuit MCP4921 : la broche LDAC doit être tenue à un niveau logique bas (0V) afin que la sortie Vout soit effective. Les broches VrefA et AVss représentent les alimentations de la tension analogique, attentions aux valeurs limites. Ce circuit est alimenté au même niveau logique que le ESP32.

Retrouvez la fiche du fabricant (Microchip) de l'ampli-op et du CI MCP4921 utilisés. Conserver ces documents pour votre remise.

Commande des ventilateurs

Le circuit de commande des ventilateurs sert d'interface entre le ESP32 et les ventilateurs. En effet, il est impensable de commander directement à partir du ESP32 les moteurs des ventilos comme on le fait généralement pour une DEL connectée à une broche du ESP32. Il faut donc une interface de puissance pour passer de 3.3V à 12V.

Réalisez le montage de la Figure 9 :

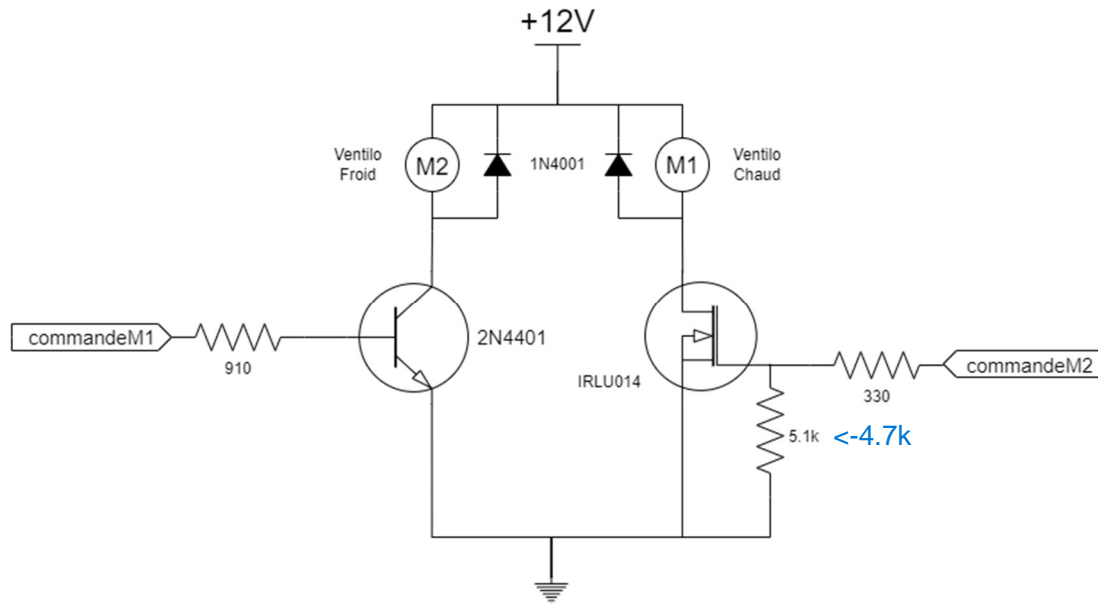


Figure 9 - Commande des ventilateurs

Note : aucun dissipateur de chaleur n'est requis pour ces transistors de ce montage de commande des ventilateurs. Recherchez l'utilité des diodes parallèles, nommées « flyback diodes ».

PRENEZ LE TEMPS DE VALIDER PLUS D'UNE FOIS VOTRE MONTAGE ÉLECTRONIQUE. VOUS TRAVAILLEZ AVEC DE MULTIPLES TENSIONS, MAIS SURTOUT DES COURANTS POUVANT ÊTRE PLUS FORTS. UNE PETITE ERREUR ET VOUS POURRIEZ ANÉANTIR UN OU DES COMPOSANTS DU MONTAGE.

Manipulation 3 – Programmation et essais

Il faut garder à l'esprit que le microcontrôleur ESP32 sert d'interface entre l'électronique de la plaque et l'interface du logiciel LabView. Le travail principal du logiciel du ESP32 se résume à 1) lire régulièrement les capteurs à sa disposition et 2) répondre aux commandes du LabView.

La section (1) : la lecture de tous les capteurs est assurée par une minuterie non-bloquante.

La section (2) : la librairie TGP Décodeur est mise pleinement à profit dans cette section. Il faut principalement répondre aux commandes reçues à l'interface série du ESP32. La liste des commandes a été présentée au Tableau 1 de la section Communication ESP32-LabView.

Pour vous aider à partir, un code de base a été élaboré et auquel il ne vous reste qu'à compléter le tout. Prenez un moment pour comprendre l'organisation de ce code de base. Ce code de base est déjà compilable, il ne vous manquera probablement que la librairie du CNA MCP4921. N'oubliez pas de compléter à l'aide du modèle de code.

IL SERA TRÈS IMPORTANT DE VALIDER LES VALEURS DES ARGUMENT REÇUS. Par exemple si l'utilisateur tente d'entrer une consigne de courant de 200%, le code devrait retourner le code « ? » (NACK : negative acknowledge), refusant la commande car elle n'est pas dans un intervalle permis de 0 à 100.

Mais avant de vous lancer éperdument, à corps perdu, dans la programmation intégrant toutes les fonctionnalités au premier jet, on vous recommande de procéder à quelques tests unitaires de chacune des parties de l'électronique, par exemple :

- a) Commande des ventilos et du commutateur principal: composez un code simple permettant de commander à l'aide de l'interface série le moteur de chacun des ventilos ainsi que le commutateur principal. Consulter le Tableau 1 permettant de répondre à la lettre de la commande.
- b) Utilisez un exemple de code employant le CAN ADS1115. Validez la bonne lecture de chacune des 4 entrées.
- c) Lecture des capteurs de température : composez un code simple permettant de lire individuellement chacun des trois (3) capteurs de température. Pensez à réutiliser le code d'un certain précédent laboratoire. Laboratoire déjà vu.
- d) Lecture du capteur INA219 : composez un code simple permettant de récupérer les paramètres de lecture du INA219. Laboratoire déjà vu.
- e) Commande de tension : familiarisez-vous avec la librairie MCP_DAC de Rob Tillaart. Testez et validez le signal (voltmètre) à l'aide d'un exemple simple.

Comme votre programme fonctionne en mode commandé, il vous est possible, avant de le raccorder au programme LabView, de procéder à des tests unitaires de chacune des commandes.

Vous devez compléter la fonctionnalité de la commande M, soit d'afficher un menu présentant la liste des commandes possibles du montage. Ceci doit être à l'image du contenu du Tableau 1.

Manipulation 4 – Constat de fonctionnement

Une fois le montage réalisé, fonctionnel et que la programmation répond aux attentes, **montrer à l'enseignant votre montage pour rétroaction**. Vous aurez à démontrer le bon fonctionnement de votre montage.

Mesurer deux températures minimales pouvant être atteinte du côté froid de la pompe à chaleur : l'une avec le ventilateur froid en fonction et l'autre avec le ventilateur froid hors fonction.

Relation de transfert (plutôt que courbe d'étalonnage)

On s'intéressera en particulier aux relations suivantes de cette chaîne :

1. En X : **Puissance (mW)** délivrée dans la cellule Peltier
2. En Y : Température atteinte côté froid (prise après un délais de 2 minutes)

Évaluation

De façon générale, les critères de cette évaluation sont :

- Qualité et propreté du montage du bloc Peltier
- Qualité du montage sur plaquette
- Qualité du logiciel d'interfaçage (Arduino)
- Minutie dans la prise des mesures
- Qualité dans les résultats présentés (chiffres significatifs, unités)
- Éventuellement, qualité de la communication, raisonnement et logique des propos.
- Qualité du transfert de connaissance
- Qualité de la documentation (références, datasheets)

Conclusion

Consignes pour le résumé de laboratoire.

- Utiliser **2 chiffres significatifs** et les notations en milli (mV pour milli volts, mA pour milli ampères), lorsqu'applicable.
- Je veux avoir, sur peu de pages, sections bien identifiées :

Une **page couverture** vous identifiant, titre du travail, présenté à, la date de remise, lieu de remise (CÉGEP AL).

Préambule :

Date des manipulations. Rappel des objectifs du laboratoire. Détails généraux sur la cellule Peltier.

Développement :

Présentation et explication du schéma-bloc

Détails de la cellule Peltier utilisée (modèle et explications)

Schématique du module XL4015

Résultat de la validation de toutes les commandes (validé)

Courbe de la relation de transfert (température froide VS puissance dans la cellule Peltier)

Explication de votre programme (algorithme)

Fournir une photo du montage (vue de haut), claire et précise.

Conclusion :

Un résumé expliquant le fonctionnement du montage.

Un résumé expliquant les manipulations du laboratoire.

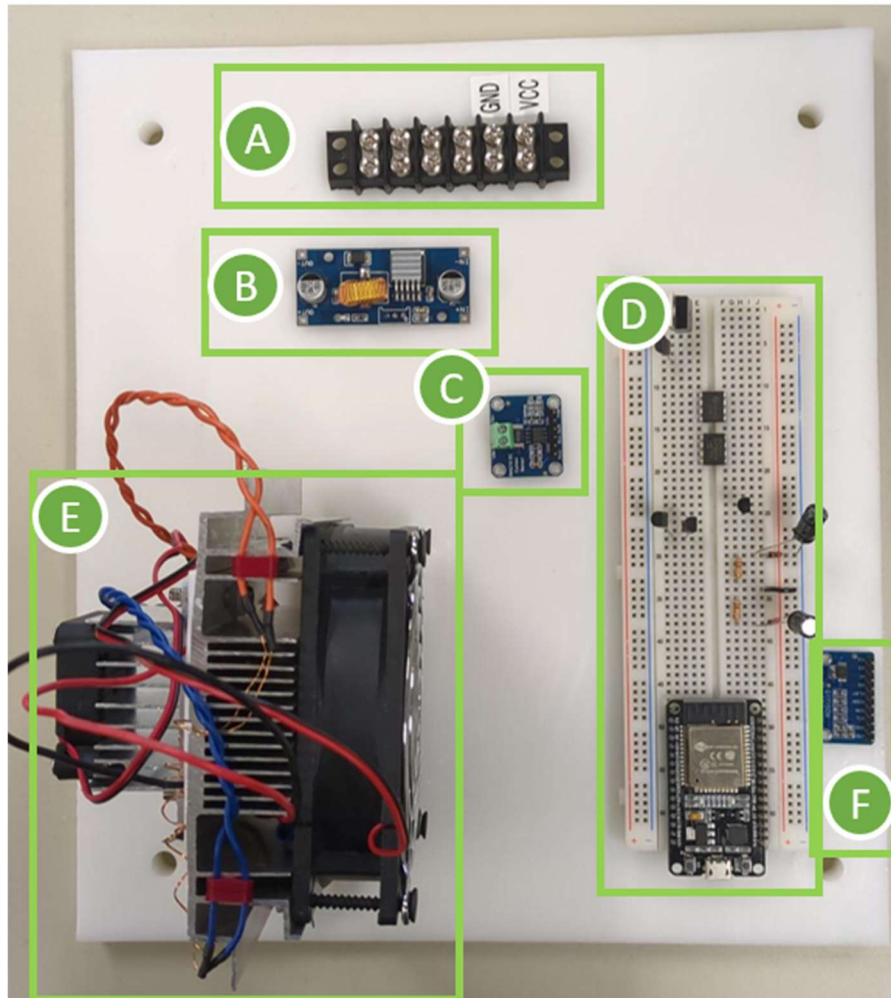
Comment croyez-vous avoir atteint (ou pas!!) les objectifs de ce laboratoire.

Ce que vous avez appris ou découvert (ou peut-être pas). Notes et observations pertinentes. Une critique constructive de cet exercice de laboratoire. Votre appréciation de ce laboratoire. Soyez honnête.

- Consigne pour la remise
 - Remettre un fichier Excel contenant les données de mesure.
 - Remettre un rapport de laboratoire en format MS Word.
 - Remettre le programme Arduino final complet (non-zippé).
 - Archive (zip) contenant toutes les fiches de fabricant des pièces utilisées (8 documents)

Annexe A

Image du montage alternatif (sur plaque de HDPE blanc)



On y retrouve les sections suivantes :

- A) Borniers de raccord de puissance (cellule Peltier, résistance shunt, etc)
- B) Module régulateur tension à courant
- C) Module de mesure I,V,P (INA219)
- D) Plaquette de montage de l'électronique de contrôle
- E) Espace pour le bloc Peltier (absent de la Figure 2)
- F) Module CAN ADS1115