



# Séquence n°4

## Chaîne de mesure



Fiches de synthèse mobilisées :  
– Chaîne de mesure

### Sommaire des activités

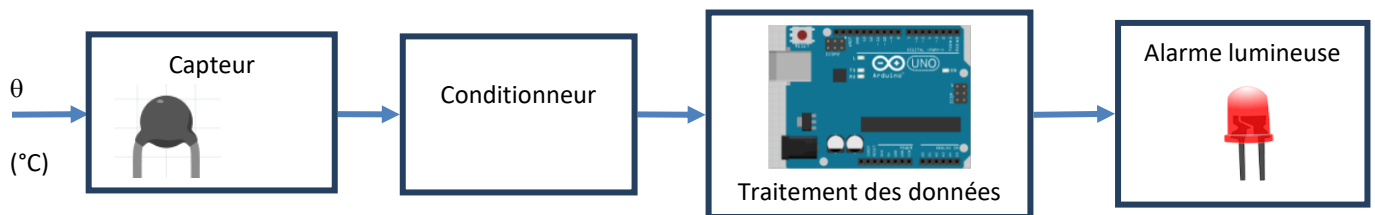
|              |                                                                |    |
|--------------|----------------------------------------------------------------|----|
| ACTIVITÉ 1 : | Détecteur de sécurité pour l'habitat .....                     | 1  |
| ACTIVITÉ 2 : | Eclairage d'atelier industriel .....                           | 4  |
| ACTIVITÉ 3 : | Mesures de températures dans une enceinte climatique.....      | 8  |
| ACTIVITÉ 4 : | Détermination du temps de réponse de la chaîne de mesure ..... | 12 |

### ACTIVITÉ 1 : Détecteur de sécurité pour l'habitat

L'objectif de l'activité est de mettre en œuvre un détecteur capable de signaler un risque d'incendie ou de gel.

Une alarme est enclenchée si la température est inférieure à 10°C (détection de risque de gel) ou bien si elle est supérieure à 50°C (détection d'un risque d'incendie).

Le système de détection sera constitué des éléments suivants :



#### Partie 1 : Etude du capteur de température

Le capteur utilisé est une thermistance.

1. Mesurer la résistance  $R_{CTN}$  de la thermistance à l'ohmmètre.
2. Chauffer la thermistance par contact manuel, la refroidir par air. Comment évolue la valeur de la résistance en fonction de la température ? Commenter.

3. En déduire les grandeurs d'entrée et de sortie du capteur et préciser leur unité.

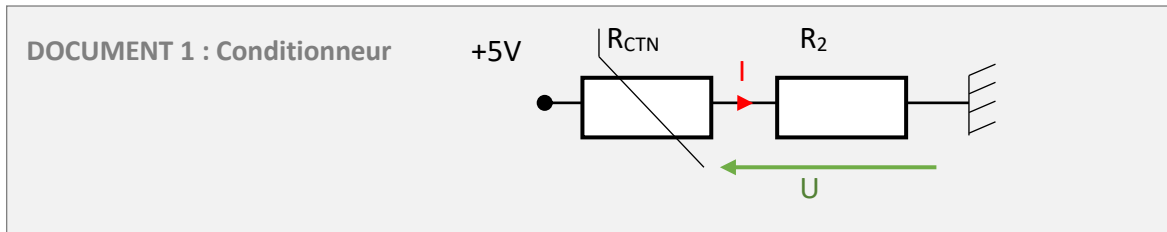
Des manipulations précédentes, on peut déduire que la thermistance est un capteur permettant de convertir une température en grandeur électrique : une résistance.

4. Proposer un protocole de mesure afin de réaliser l'étalonnage du capteur sur la plage de température [0°C ; 60°C]
5. Réaliser le protocole et en déduire les valeurs de la résistance de la thermistance lorsque la température est égale à 10°C ou 50°C.



## Partie 2 : Etude du conditionneur

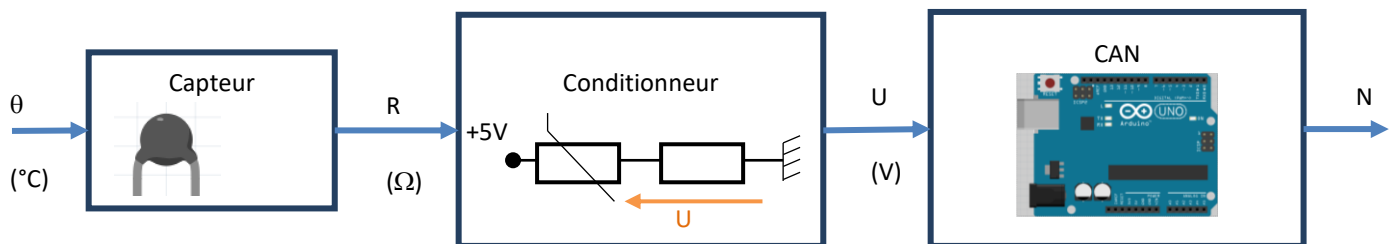
Le signal électrique accepté en entrée du microcontrôleur est une tension au format 0 – 5V. L'information électrique sous forme de résistance n'est donc pas « comprise » par le microcontrôleur. Le conditionneur va permettre d'adapter le signal issu du capteur au format des entrées du microcontrôleur.



6. On donne  $R_2 = 10\text{ k}\Omega$ , calculer l'intensité du courant  $I$  circulant dans  $R_2$  lorsque la température est de  $10^\circ\text{C}$ .
7. En déduire la valeur de la tension  $U$ .
8. Mêmes questions pour une température de  $50^\circ\text{C}$ .
9. Vérifier expérimentalement vos deux résultats.
10. Les valeurs de tension déterminées précédemment sont-elles adaptées au format des entrées du microcontrôleur ?

## Partie 3 : Traitement des données

Le microcontrôleur sera chargé du traitement des données. Il devra être capable de mesurer la température puis en fonction du résultat de la mesure de déclencher une alarme lumineuse.



La tension de sortie  $U$  du conditionneur sera appliquée à l'entrée analogique A1 du microcontrôleur. La lecture de cette entrée analogique est faite par le microcontrôleur grâce à l'instruction : `analogRead(A1)` ;

11. En analysant le programme « `etalonnage_CTN.ino` » repérer le numéro de ligne correspondant à l'instruction de lecture de l'entrée analogique A1.
12. Expliquer la signification de l'instruction `valeurLue = analogRead(A1)` ;
13. Mettre en œuvre la chaîne de mesure complète incluant le capteur, son conditionneur et le microcontrôleur.
14. Pour une température quelconque, téléverser le programme « `etalonnage_CTN.ino` » dans le microcontrôleur.
15. Commenter la valeur affichée dans le moniteur série de l'interface de programmation du microcontrôleur.

La tension appliquée sur l'entrée analogique A1 du microcontrôleur a été convertie en nombre par un Convertisseur Analogique Numérique. Un CAN permet de convertir des tensions analogiques en nombres binaires qui pourront être traités par les programmes du microcontrôleur.

Un CAN possède 3 caractéristiques principales :

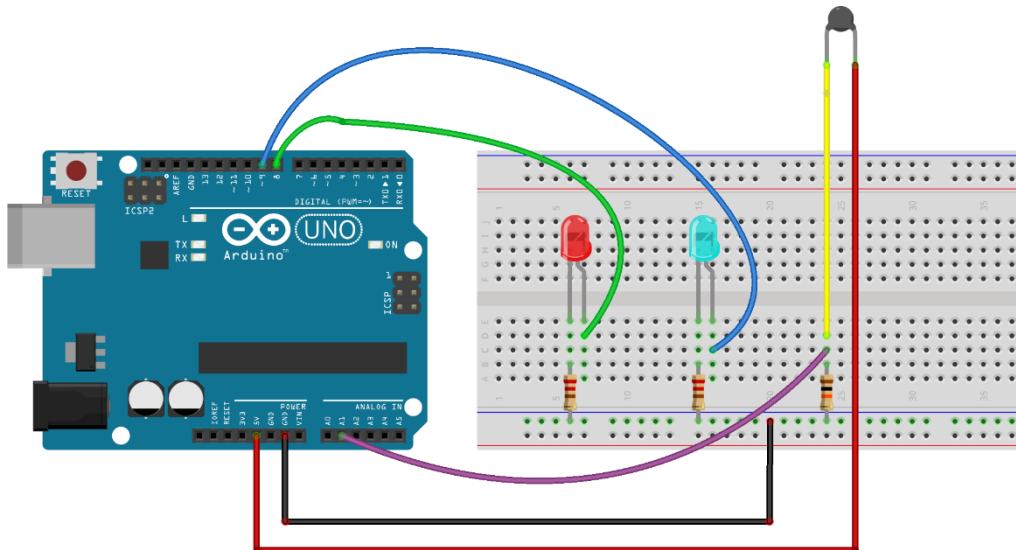
- **Le format de sa tension d'entrée :** C'est la plage de tension applicable à l'entrée du CAN (pour notre microcontrôleur : 0 / 5V)
- **Son nombre de bits :** C'est le nombre de caractères qui vont former le nombre binaire en sortie du CAN (ex : un CAN 10 bits peut donner un nombre entier allant de 0 à 1023)
- **Fréquence de conversion :** C'est le nombre de conversions réalisées par le CAN par seconde. C'est un paramètre important dans le cas d'acquisition de tensions variables au cours du temps.

16. Déterminer la valeur du quantum de ce CAN.
17. Proposer un protocole expérimental utilisant le programme « etalonnage\_CTN.ino » et permettant d'étalonner la chaîne de mesure complète.
18. Mettre en œuvre le protocole.
19. A partir de la courbe d'étalonnage, déterminer les deux valeurs du nombre en sortie du CAN correspondant aux températures égales à 10°C et 50°C.

#### Partie 4 : Dispositif de signalisation

L'objectif de cette dernière partie est de signaler par un dispositif lumineux les risques de gel (une diode bleue doit s'allumer) ou de feu (une diode rouge doit s'allumer). Cette situation peut être posée sous la forme de l'algorithme suivant :

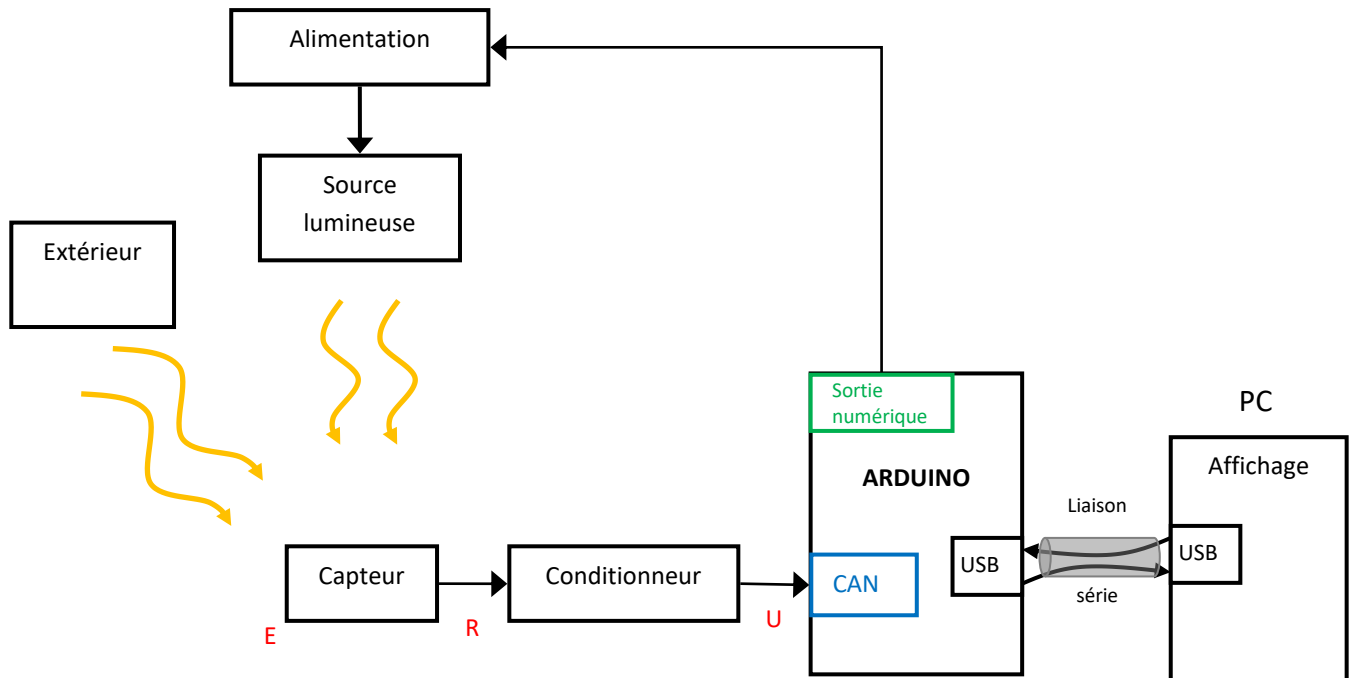
- Si température < 10°C alors mettre hors gel (allumer diode bleue)
  - Si température > 50 °C alors enclencher la sirène (allumer la diode rouge)
20. Analyser le programme « detecteurFeuGel.ino » pour repérer les lignes du programme mettant en œuvre les deux lignes de l'algorithme présenté précédemment.
  21. Modifier le programme pour tenir compte des valeurs trouvées à la question 19.
  22. Mettre en œuvre le circuit électrique ci-dessous.



23. Tester le bon fonctionnement de votre détecteur de sécurité pour l'habitat.

## ACTIVITÉ 2 : Eclairage d'atelier industriel

Dans un laboratoire de contrôle qualité d'une entreprise d'ébénisterie, l'INRS conseille de maintenir un niveau d'éclairage sur le plan de travail au moins égal à 1 000 lux. Le microcontrôleur analyse la valeur issue de la chaîne de mesure de l'éclairage sur le plan de travail pour agir sur l'alimentation qui fournit de l'énergie électrique à la source lumineuse artificielle si nécessaire.



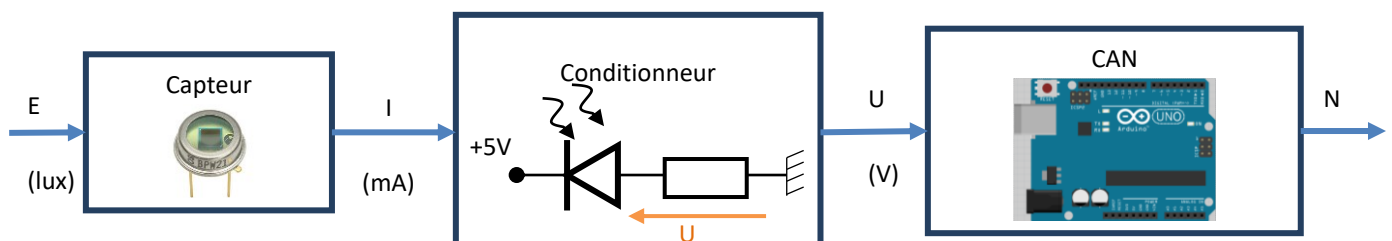
### Partie 1 : Etude de la chaîne de mesure

Le capteur utilisé est une photodiode. Elle fournit un courant électrique d'intensité proportionnelle à l'éclairage reçu par le capteur. Pour adapter le signal électrique issu du capteur au format des entrées du microcontrôleur, le conditionneur doit convertir un courant électrique en tension électrique.

1. Proposer le schéma électrique du circuit simple permettant de convertir un courant électrique en tension.

La tension  $U$  issue du conditionneur sera appliquée sur l'entrée A1 du microcontrôleur.

2. Modifier le programme "etalonnage\_photodiode.ino" pour que le microcontrôleur lise la valeur sur son entrée analogique A1.
3. Réaliser le montage électrique.
4. Téléverser dans le microcontrôleur le programme "etalonnage\_photodiode.ino" modifié.



### Partie 2 : Etalonnage de la chaîne de mesure

5. Proposer un protocole expérimental utilisant le programme « etalonnage\_photodiode.ino » et permettant d'étalonner la chaîne de mesure complète.

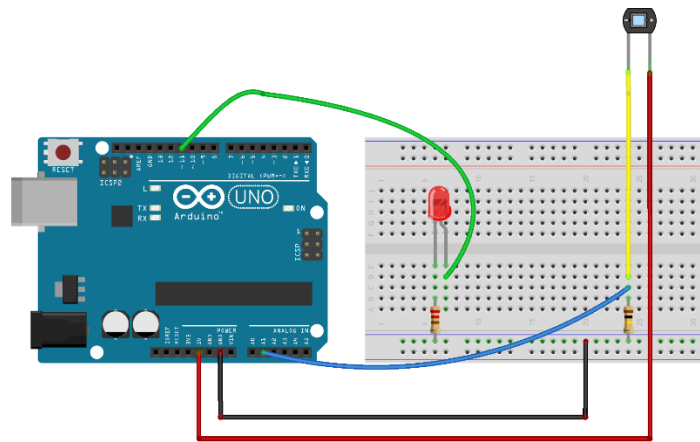
Pour étalonner la chaîne de mesure, nous devons connaître la caractéristique de transfert  $E = f(N)$ .

6. Faire varier la distance  $d$  séparant la source de lumière et le capteur de 0,5m à 2 m environ.
7. Relever les valeurs de l'éclairement  $E$  mesurées avec le luxmètre ainsi que les valeurs de  $N$  fournies par le CAN du microcontrôleur en fonction de l'inverse de la distance  $d$ .
8. Tracer le graphe de l'éclairement  $E$  en fonction de l'inverse de la distance  $d$ . Commenter.
9. Tracer le graphe de l'éclairement  $E$  en fonction de la valeur numérique  $N$ .
10. Modéliser le nuage de points et en déduire l'équation de la droite d'étalonnage.

### Partie 3 : Mise en œuvre du dispositif complet

Pour répondre au conseil donné par l'INRS, l'idée est faire fonctionner la chaîne de mesure en tout ou rien : Si l'éclairement est inférieur à 1000 lux, on allume l'éclairage artificiel ; s'il devient supérieur à 2000 lux, on l'éteint.

Dans un premier temps, nous nous contenterons d'allumer ou d'éteindre une diode connectée sur le port de sortie numérique n°11 au lieu d'agir sur l'éclairage artificiel. Le montage est donné sur l'image ci-dessous.



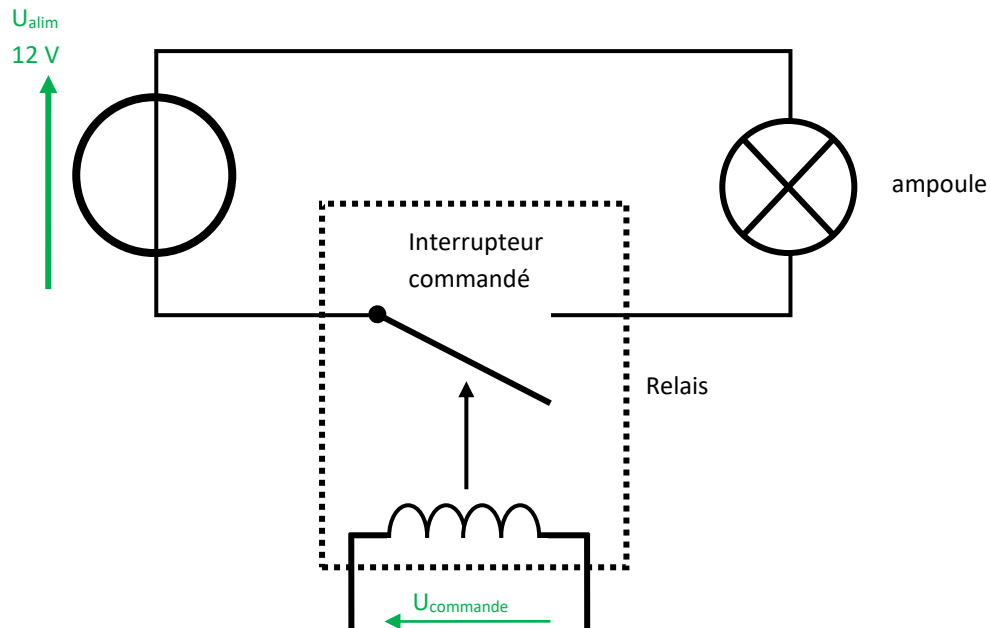
11. Le tableau suivant donne sur la colonne de gauche l'algorithme du programme. Compléter le programme de la colonne de droite en indiquant le niveau logique (LOW ou HIGH) que le microcontrôleur doit imposer sur le port de sortie numérique n°11.

| Algorithme                                      | Programme                                               |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Si $E < 1000$ lux<br>alors<br>allumer la diode  | if ( $E < 1000$ )<br>{<br>digitalWrite(11, .....);<br>} |
| Si $E > 2000$ lux<br>alors<br>éteindre la diode | if ( $E > 2000$ )<br>{<br>digitalWrite(11, .....);<br>} |

12. Le microcontrôleur lit la tension  $U$  sur l'entrée analogique A1 et la convertit en nombre  $N$ . Modifier le programme « lumiere\_condition\_diode.ino » pour que l'éclairement calculé soit adapté à la droite d'étalonnage de votre chaîne de mesure (voir question 10).
13. Téléverser le programme et tester son bon fonctionnement.

### Partie 4 : Fonctionnement du relais

La commande de l'alimentation de l'éclairage artificiel sera réalisée par un interrupteur commandé numériquement (un relais). Le circuit électrique correspondant peut être représenté sous la forme suivante :

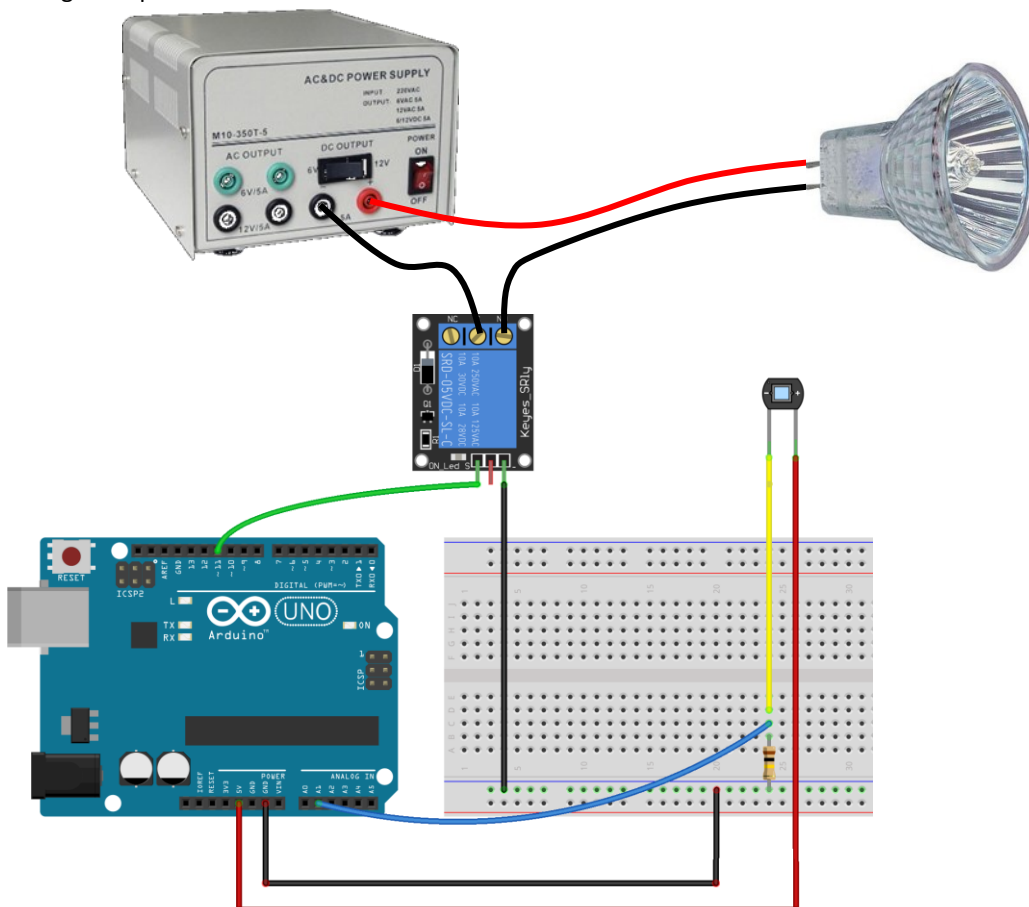


L'interrupteur est normalement ouvert, sa fermeture est commandée lorsque la tension  $U_{commande} = 5\text{ V}$ .

14. Réaliser le montage avec le relais.
15. Mettre sous tension l'alimentation de 12V. Donner l'état de l'ampoule.
16. Appliquer une tension de 5V aux bornes du circuit de commande du relais. Noter l'état de l'ampoule.

### Partie 5 : Commande de l'éclairage

Le montage complet est donné ci-dessous :





**17.** Choisir parmi les deux instructions suivantes, celle qui permettra l'éclairage de l'ampoule :

| Instruction A                        | Instruction B                       |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <code>digitalWrite(11, HIGH);</code> | <code>digitalWrite(11, LOW);</code> |

**18.** En analysant le programme « `lumiere_condition_diode.ino` », justifier qu'il n'est pas nécessaire de le modifier pour faire fonctionner le dispositif.

**19.** Réaliser le montage

**20.** Tester son bon fonctionnement.

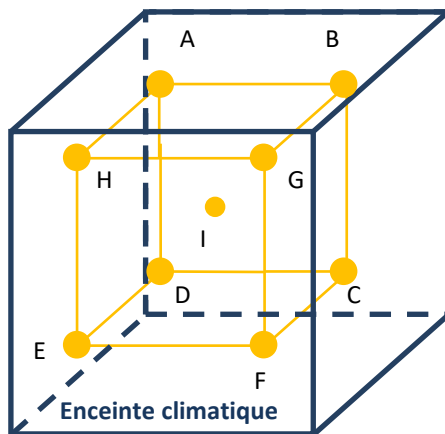


### ACTIVITÉ 3 : Mesures de températures dans une enceinte climatique

Un laboratoire de recherche en biologie végétale dispose de plusieurs enceintes climatiques permettant de maîtriser les conditions de croissance des plantes. Différents paramètres sont contrôlés dans cette enceinte :

- Température : plage 0 °C à 70 °C
- Humidité : 10 % HR à 80 % HR
- Eclairage

Une fois par an, ce laboratoire fait réaliser un suivi de ses enceintes climatiques par une société extérieure MESURE+ qui vient établir une cartographie thermique des enceintes climatiques. Cette cartographie consiste à mesurer en même temps, les températures de l'enceinte en différents points, l'objectif étant de s'assurer de l'homogénéité de la température dans l'enceinte. Le technicien chargé de ce contrôle doit placer 9 sondes en différents points (A à I) de l'enceinte suivant le plan ci-dessous



Enceinte climatique

Vous êtes technicien de la société MESURE+ et vous êtes chargé de mettre au point un dispositif permettant de mesurer les températures des enceintes climatiques. Vous devrez respecter le cahier des charges suivant :

- Etendue de mesure : 0-70°C
- Résolution du dispositif inférieure ou égale à 0.2°C
- Temps de réponse à 90 % des capteurs de température inférieur à 8 secondes.



## Partie 1 : Etude du capteur

Votre choix s'est porté sur la sonde de température Pt100 suivante :

|                                                                                   |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|  |                  |
| Type de capteur                                                                   | Pt100            |
| Longueur de la sonde                                                              | 50mm             |
| Diamètre de la sonde                                                              | 4mm              |
| Température minimum détectée                                                      | -50°C            |
| Température maximum détectée                                                      | +250°C           |
| Type de raccordement                                                              | Fil de sortie    |
| Longueur du câble                                                                 | 2m               |
| Matériau de la sonde                                                              | Acier inoxydable |
| Nombre de fils                                                                    | 4                |
| Précision                                                                         | Classe A         |

Une sonde Pt100 est un type de capteur de température aussi appelé RTD (détecteur de température à résistance) qui est fabriqué à partir de platine. L'élément Pt100 a une résistance de 100 ohms à 0 °C.

La résistance de la Pt100 varie avec la température. Sur une étendue de mesure limitée, la courbe caractéristique  $R(T)$  est quasi linéaire.

Ce capteur est équipé d'une gaine de protection ou de montage pour former une sonde de température.

La sonde peut être utilisée sur une grande plage de températures de -200 °C à 850 °C.

Document 1 : Sonde Pt100

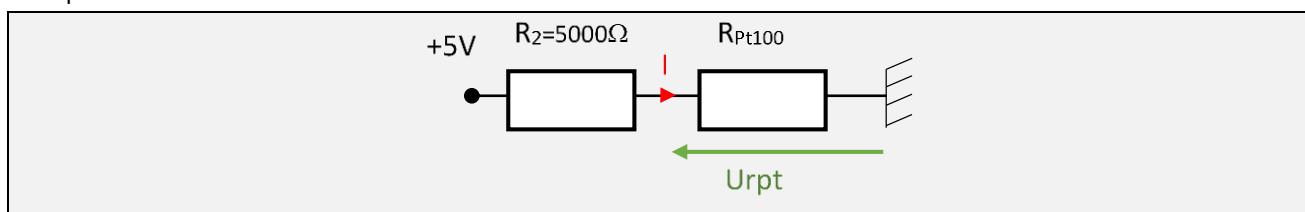
1. Proposer une expérience simple mettant en évidence le principe de fonctionnement d'une Pt100. Noter vos conclusions.
2. A partir des constatations précédentes et du Document 1, élaborer un protocole permettant de réaliser l'étalonnage de la sonde Pt100 sur la plage correspondant aux conditions d'utilisation de l'enceinte climatique.
3. Réaliser le protocole et en déduire les valeurs de la résistance de la Pt100 lorsque la température est égale à 25°C et 42°C.

## Partie 2 : Etude du conditionneur

Le signal électrique accepté en entrée d'une interface d'acquisition ou d'un microcontrôleur est par exemple une tension au format 0 – 5V. L'information électrique sous forme de résistance n'est donc pas compatible avec la grandeur d'entrée analogique du microcontrôleur ou de l'interface d'acquisition. Le conditionneur va permettre d'adapter le signal issu du capteur au format des entrées du microcontrôleur.

### Conversion Résistance/Tension

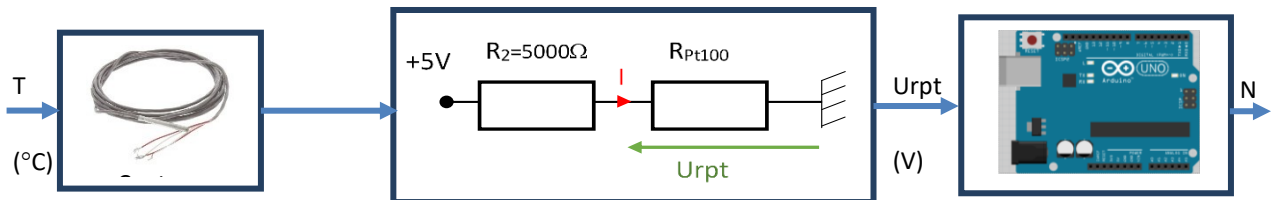
Le circuit présenté dans le Document 2 permet de réaliser la conversion résistance-tension. Cela signifie que la variation de la résistance  $R_{Pt100}$ , entraîne une variation de la tension  $U_{rpt}$  aux bornes du capteur. Cette tension varie donc avec la température de la sonde Pt100



Document 2 : Diviseur de tension

4. Proposer un protocole simple permettant de déterminer la relation existant entre la température de la sonde et la tension  $U_{rpt}$ .
5. Mettre en œuvre ce protocole, et en déduire les valeurs limites prises  $U_{rpt\ min}$  et  $U_{rpt\ max}$  par la tension  $U_{rpt}$  sur l'étendue de température de l'enceinte climatique.

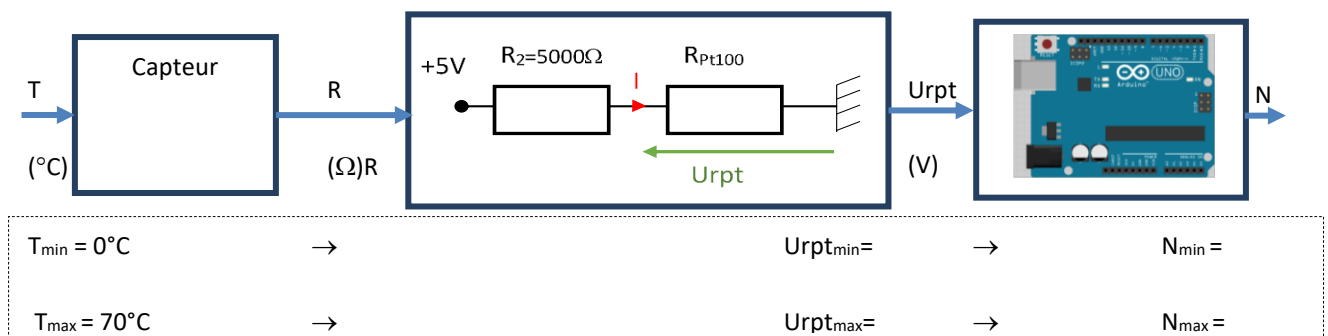
Un microcontrôleur sera chargé du traitement des données lors de la cartographie thermique de l'enceinte climatique. Il devra être capable de mesurer et de suivre l'évolution de la température.



Document 3: Chaîne de mesure Capteur/Diviseur de tension/Microcontrôleur

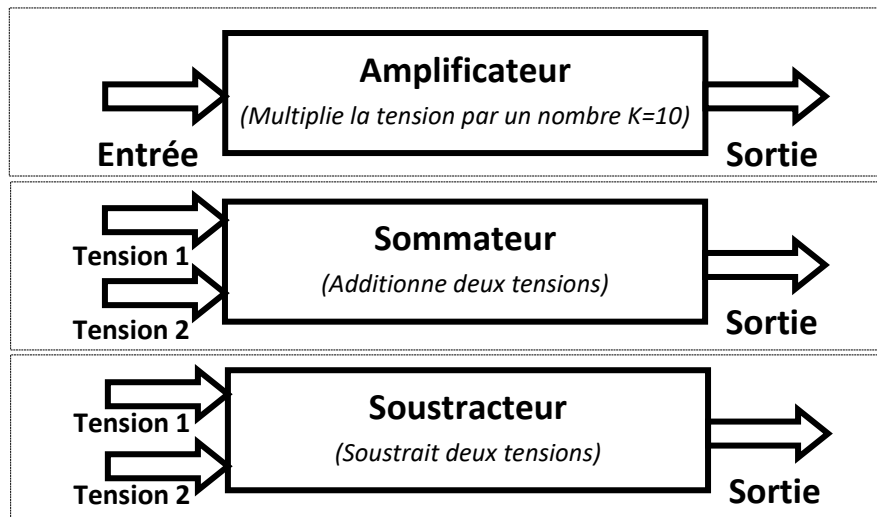
La tension appliquée sur l'entrée analogique A1 du microcontrôleur a été convertie en nombre par un Convertisseur Analogique Numérique. Ce CAN possède les caractéristiques suivantes :

- **Format de la tension d'entrée** : C'est la plage de tension applicable à l'entrée du CAN  
(Pour le microcontrôleur : 0 / 5V)
  - **Nombre de bits** : C'est le nombre de caractères qui vont former le nombre binaire en sortie du CAN  
(Le CAN 10 bits du microcontrôleur peut donner un nombre entier allant de 0 à 1023)
6. D'après les résultats obtenus à la question 5 et en tenant compte des caractéristiques du CAN du microcontrôleur rappelées ci-dessus, calculer les valeurs limites prises par le nombre N à la sortie du microcontrôleur. En déduire la plus petite variation de température détectable (résolution) par le dispositif présenté dans le Document 3.
  7. Cette résolution répond-elle au cahier des charges imposé au technicien ? Sans changer le CAN, que faudrait-il faire pour répondre au cahier des charges.
  8. En vous aidant des questions 5 et 6, compléter le schéma ci dessous



#### Adaptation au format d'entrée du CAN du microcontrôleur

Le circuit du Document 2 a permis d'obtenir une tension variant avec la température. Mais cette tension a une plage de variation trop faible pour permettre d'obtenir une résolution satisfaisante lors de l'utilisation du microcontrôleur. Pour cela, on est amené à conditionner cette tension en utilisant un ou des modules électroniques. Ces modules se comportent comme des opérateurs mathématiques. Ils reçoivent en entrée une ou des tensions et ils fournissent en sortie, une tension qui dépend, avec des relations simples de la tension ou des tensions d'entrées. On peut par exemple, utiliser les 3 modules suivants :



Document 4

Ces modules, réalisés à partir de composants électroniques, peuvent être utilisés en cascade mais les tensions de sortie ne peuvent pas dépasser 15V.

9. Sans vous préoccuper de la réalisation technique, proposer une utilisation d'un ou de plusieurs modules pour permettre, en partant de la tension  $U_{rpt}$  comprise entre  $U_{rpt_{min}}$  et  $U_{rpt_{max}}$ , d'obtenir en sortie une tension ayant la plus grande plage de variation possible mais restant dans les limites imposées par le CAN du microcontrôleur.
10. Prévoir alors les valeurs limites prises par la tension de sortie  $U_{sortie_{min}}$  et  $U_{sortie_{max}}$  du ou des modules.
11. Si on applique cette tension comprise entre  $U_{sortie_{min}}$  et  $U_{sortie_{max}}$  sur l'entrée analogique A1 du microcontrôleur, prévoir les limites prises par le nombre N en sortie du CAN pour la plage de température  $[0 ; 70^{\circ}\text{C}]$ . En déduire la résolution de l'ensemble réalisé. Cette résolution répond-elle au cahier des charges imposé au technicien ?
12. Proposer un protocole permettant de déterminer la relation entre la température sur la plage de température  $[0 ; 70^{\circ}\text{C}]$  et le nombre N en sortie du CAN. Le programme « `etalonnage_Pt100_conditionneur.ino` » est disponible.
13. Mettre en œuvre ce protocole et relever les coefficients de la droite d'étalonnage.
14. Les résultats obtenus confirment-ils les prévisions faites à la question 11
15. En analysant le programme « `Affiche_T_Pt100_conditionneur.ino` » repérer les lignes à modifier pour que le programme affiche la valeur de la température de la sonde Pt100 correspondant à l'instruction de lecture de l'entrée analogique A1.
16. Exécuter ce programme et comparer pour deux valeurs de température, les valeurs données par le programme et par le thermomètre utilisé pendant la procédure d'étalonnage.



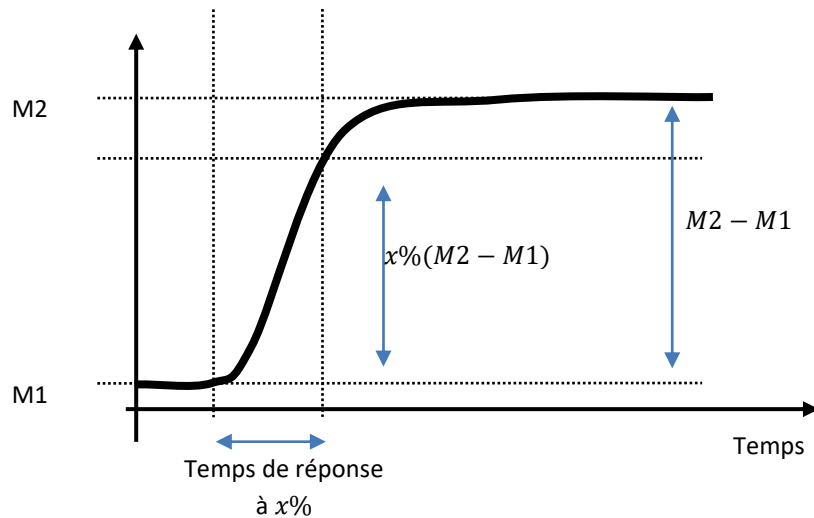
## ACTIVITÉ 4 : Détermination du temps de réponse de la chaîne de mesure

Pour réaliser un suivi en température des enceintes climatiques, le technicien change la température de consigne des enceintes et suit donc l'évolution des températures des 9 sondes au cours du temps. Ce suivi permet de garantir que l'enceinte reste homogène en température lors d'un changement de consigne.

Pour cela, le temps de réponse à 90% de la chaîne de mesure ne doit pas être supérieur à 8s.

Le temps de réponse à  $x\%$  d'un capteur soumis à un échelon de la grandeur mesurée de la valeur  $M1$  à la valeur  $M2$ , correspond à la durée au bout de laquelle le capteur a pour réponse :

$$M = M1 + x\% \times (M2 - M1)$$



Document 5

1. En vous servant des indications du Document 5, définir le temps de réponse à 90% noté  $t_{R90\%}$  de la chaîne de mesure.
2. Proposer un protocole permettant de déterminer le temps de réponse à 90 % de la chaîne de mesure.
3. Mettre en œuvre ce protocole et en déduire  $t_{R90\%}$ .
4. Le cahier des charges est-il satisfait ? Si non, quel paramètre faudrait-il changer pour répondre au cahier des charges ?