Séquence n° 5
Chaine de mesure en Tout Ou Rien

Fiches de synthèse mobilisées :
Fiche n°2 : mesure à l'aide d'un capteur
Fiche n°4 : la chaine de mesure
Fiche n°5 : chaine de mesure en Tout Ou Rien

Sommaire des activités

ACTIVITÉ 1 : Régulation de niveau à un seuil 1
ACTIVITÉ 2 : Régulation de niveau à deux seuils 7
ACTIVITÉ 3 : Mesure de la période d'un pendule 9
ACTIVITÉ 4 : Mesure du taux de CO_2 dans une salle de classe 12
ACTIVITÉ 5 : Ouverture d'une serrure électromagnétique à l'aide d'un badge RFID 13

ACTIVITÉ 1 : Régulation de niveau à un seuil

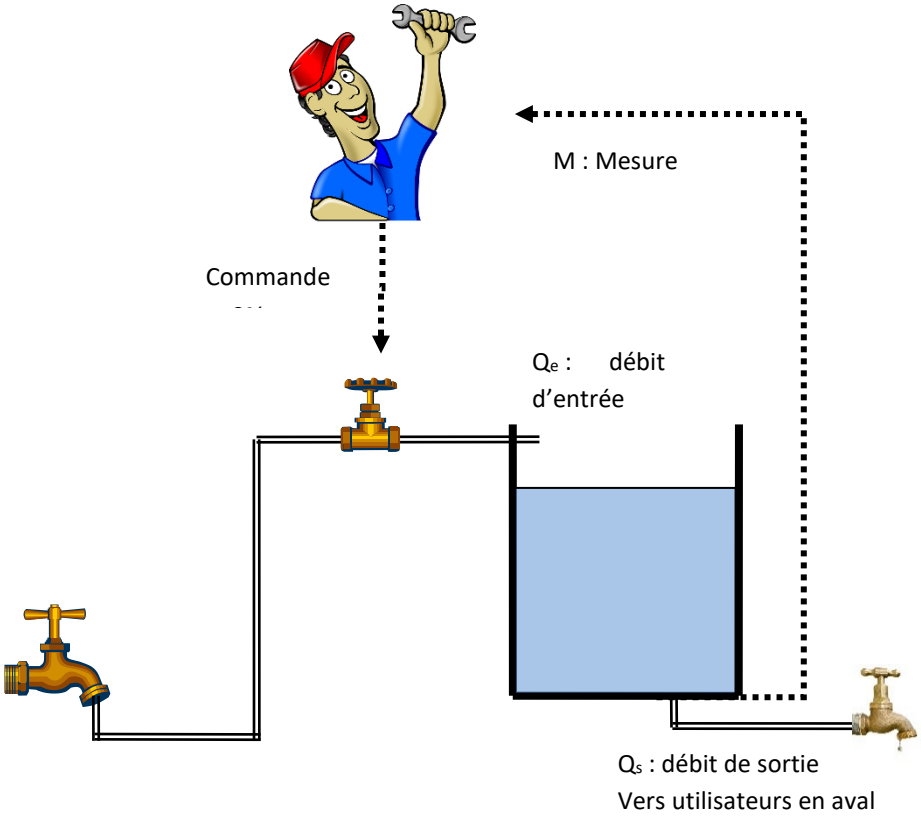


Document 1 : d'après l'agence de l'eau Artois Picardie http://www.eau-artois-picardie.fr/mediatheque/le-stockage-des-eaux

La distribution de l'eau d'une ville est assurée par un réseau relié à un château d'eau situé à un endroit dont l'altitude est supérieure à tous les points d'utilisation (habitations, industries, commerces…).
Ce château d'eau est alimenté à partir d'une nappe phréatique dont on prélève l'eau par pompage.
Lors de cette séance de travaux pratiques, nous étudierons un système de régulation automatique permettant de maintenir dans le château, un niveau d'eau suffisant pour que la distribution ne soit jamais interrompue.
Pour cela, une cuve transparente remplacera le vrai château d'eau. L'alimentation en eau du lycée jouera le rôle de la nappe phréatique. Une vanne manuelle, permettant le vidage de la cuve, simulera la consommation d'eau des différents utilisateurs.

Partie 1 : Régulation manuelle

L'objectif est de réaliser une régulation du niveau d'eau dans le château grâce à l'intervention d'un technicien.



Document 2 : Régulation manuelle du niveau d'eau dans le château d'eau

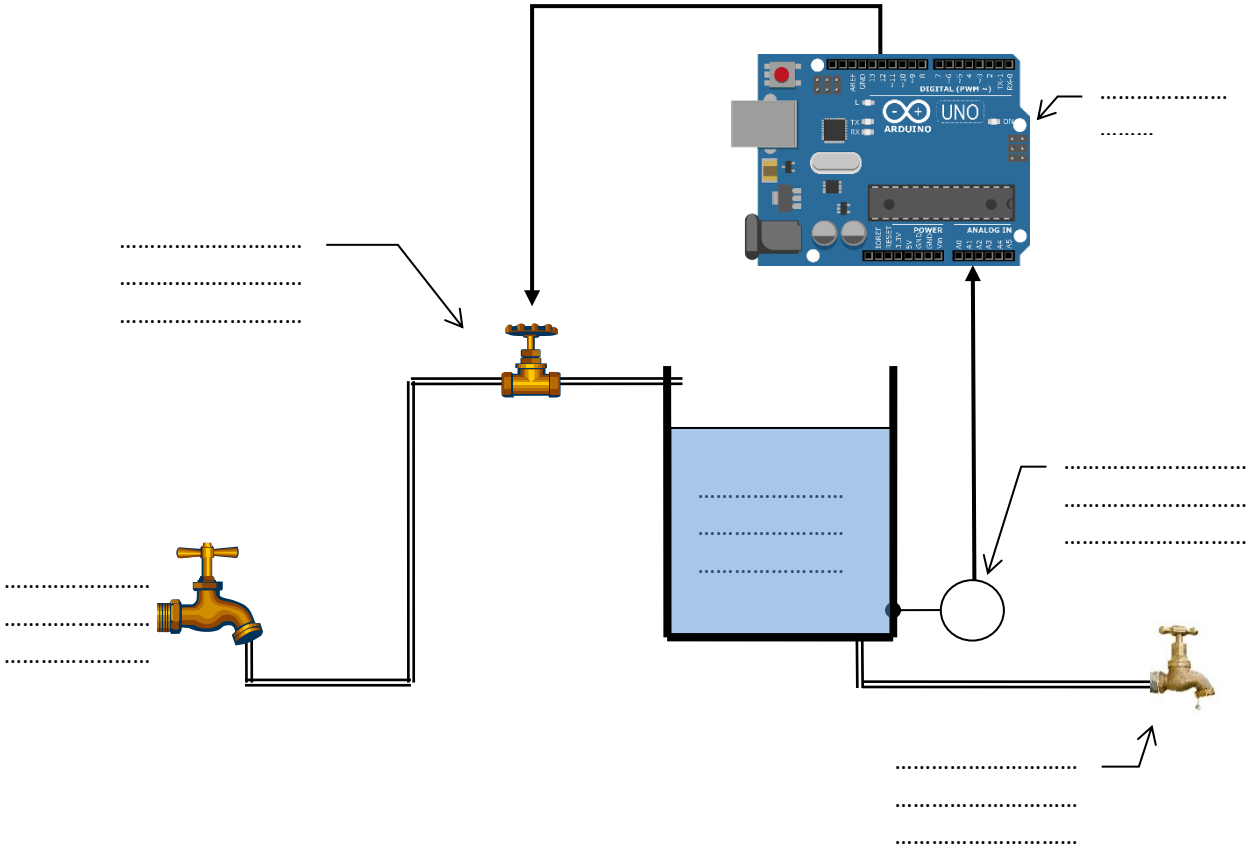
1. Repérer sur Document 2, les éléments suivants : - alimentation en eau (nappe phréatique),
   - cuve (château d'eau),
   - vanne manuelle (utilisateurs).
2. Quelles doivent être les 3 actions différentes réalisées par le technicien pour mettre en œuvre cette régulation afin de maintenir un niveau constant d'eau

Action 1	
Action 2	
Action 3	

Régulation automatique

Afin de réaliser la régulation, on utilisera un capteur de niveau pour surveiller le niveau dans la cuve et une électrovanne commandée permettant le remplissage de la cuve.
Le système de surveillance et d'action sera réalisé par un microcontrôleur.

3. Le dispositif étudié est alors schématisé par le dessin suivant qu'il faut compléter.

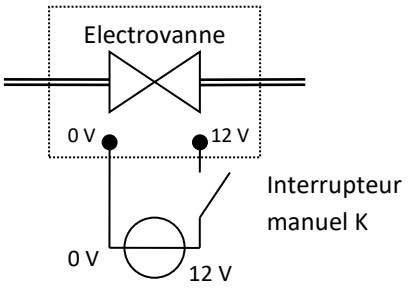


Document 3 : Régulation de niveau automatique

Commande de l'électrovanne

Comme son nom l'indique, l'électrovanne est une vanne commandée par un signal électrique.

4. En gardant le robinet réseau fermé, réaliser le montage ci-dessous sans mettre le générateur sous tension.



5. Après avoir mis le générateur sous tension et ouvert légèrement le robinet réseau, vérifier que l'électrovanne change d'état lorsqu'on agit sur l'interrupteur K.

6. Remplir le tableau suivant :

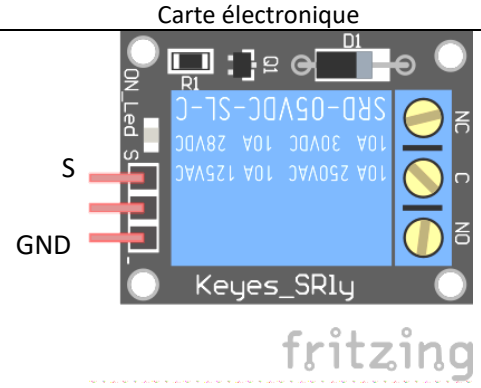
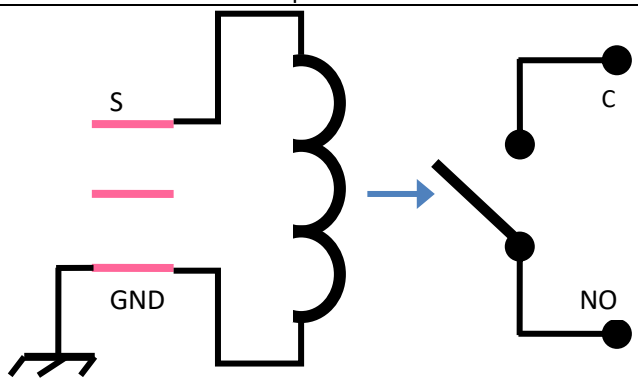
Etat de l'interrupteur K	Etat de l'électrovanne

7. Compléter le résumé suivant :

Pour remplir la cuve, il faut que l'interrupteur K ……

Pour arrêter le remplissage ; il faut ……

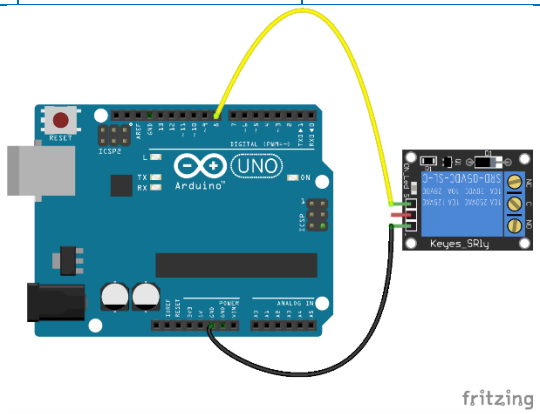
Dans cette partie, on remplace l'interrupteur manuel par un interrupteur électronique dont le fonctionnement est présenté dans le Document 4.

Carte électronique	Schéma électrique interne de la carte
	
Si S = + 5 V alors l'interrupteur électronique est fermé Si S = 0 V alors l'interrupteur électronique est ouvert	

Document 4 : fonctionnement du relais

8. En vous aidant du schéma de câblage du relais sur le microcontrôleur (voir Document 5), compléter le tableau ci-dessous :

Instruction	Tension appliquée sur S	Etat de l'interrupteur du relais	Etat de l'électrovanne
digitalWrite(8,LOW) ;			
digitalWrite(8,HIGH) ;			



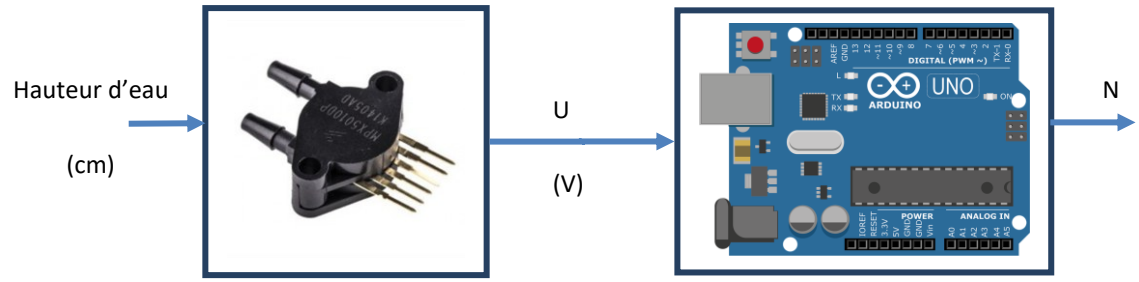
Document 5 : schéma de câblage du relais

9. Réaliser le montage complet avec l'électrovanne.

Partie 2 : Etalonnage du capteur

La chaine de mesure utilisée est constituée des deux éléments ci-dessous. Le capteur délivre en sortie une tension de sortie comprise entre 0 et 5 V. Le microcontrôleur sera chargé de la conversion de cette tension en nombre N par l'intermédiaire de l'entrée analogique A1 (CAN 0-5V ; 10 bits).

BY NC SA



10. Calculer les valeurs possibles de N à la sortie du CAN en supposant que la tension U est comprise dans l'intervalle [0 – 5V].

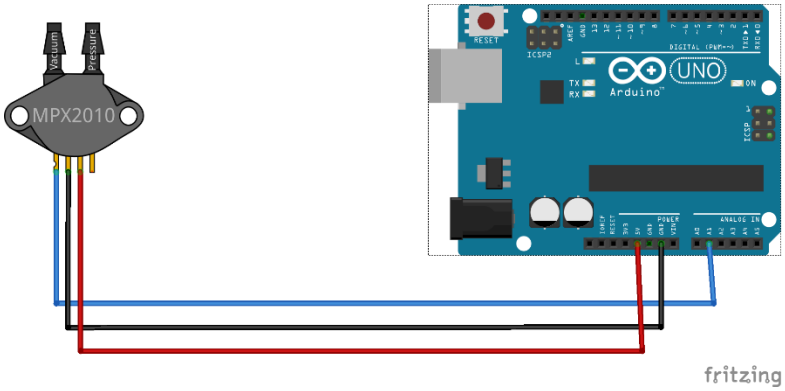
L'objectif de l'étalonnage est de déterminer la relation existante entre la grandeur de sortie N et celle en entrée du capteur.

11. Fermer la vanne manuelle puis remplir le château d'eau.

12. En analysant le programme « etalonnage_capteur_niveau.ino » repérer le numéro de ligne correspondant à l'instruction de lecture de l'entrée analogique A1.

13. Expliquer la signification de l'instruction Nombre = analogRead(A1) ;

14. Mettre en œuvre la chaine de mesure complète en vous aidant du Document 6.



Document 6 : schéma de câblage

15. Proposer un protocole expérimental utilisant le programme « etalonnage_capteur_niveau.ino » et permettant d'étalonner la chaine de mesure complète.

16. Mettre en œuvre le protocole.

17. Déterminer l'équation de la droite d'étalonnage et noter les valeurs des coefficients a et b données par le tableur correspondant respectivement au coefficient directeur de la droite et à l'ordonnée à l'origine.

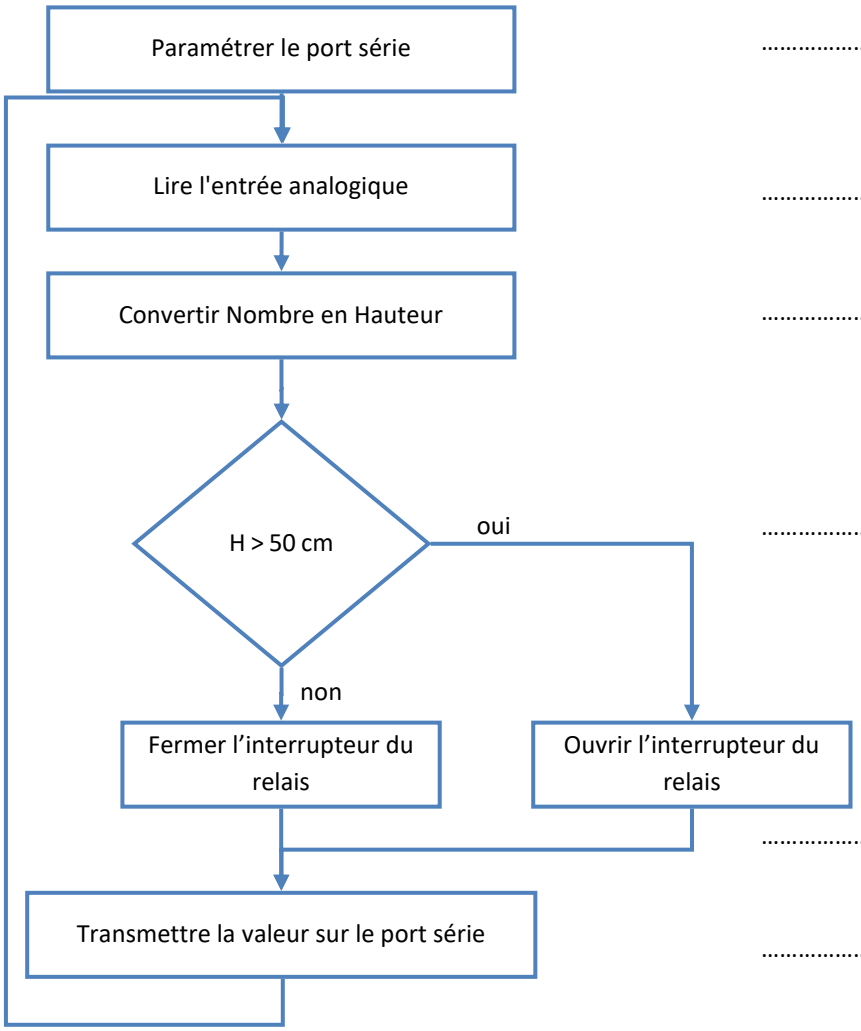
Mise en œuvre de la régulation

18. Compléter la phrase ci-dessous pour rappeler les conditions sur la consigne et la mesure permettant la commande de la pompe de remplissage du château d'eau :

SI la Mesure est supérieure à la Consigne
ALORS le signal de commande doit imposer …… de la pompe pour …… le château d'eau.

SI la Mesure est …… à la Consigne
ALORS ……

19. L'algorigramme du programme permettant la régulation est donné ci-dessous (voir Document 7). En analysant le programme regulation_niveau_1_seuil.ino, compléter la partie droite du document avec les instructions correspondantes.



……

……

……

……

……

……

Document 7 : algorigramme du programme de régulation

20. Modifier le programme pour tenir compte des résultats de l'étalonnage du capteur de niveau utilisé (valeurs a et b).

21. Ouvrir la vanne manuelle puis téléverser le programme pour démarrer la régulation.

22. Copier les courbes obtenues dans le traceur série de l'interface de programmation du microcontrôleur et les insérer dans votre compte-rendu.

23. Quels sont les avantages et les inconvénients d'une telle régulation sur ce procédé ?

BY NC SA

ACTIVITÉ 2 : Régulation de niveau à deux seuils

Cette activité fait suite à l'activité 1 : Régulation de niveau à un seuil.

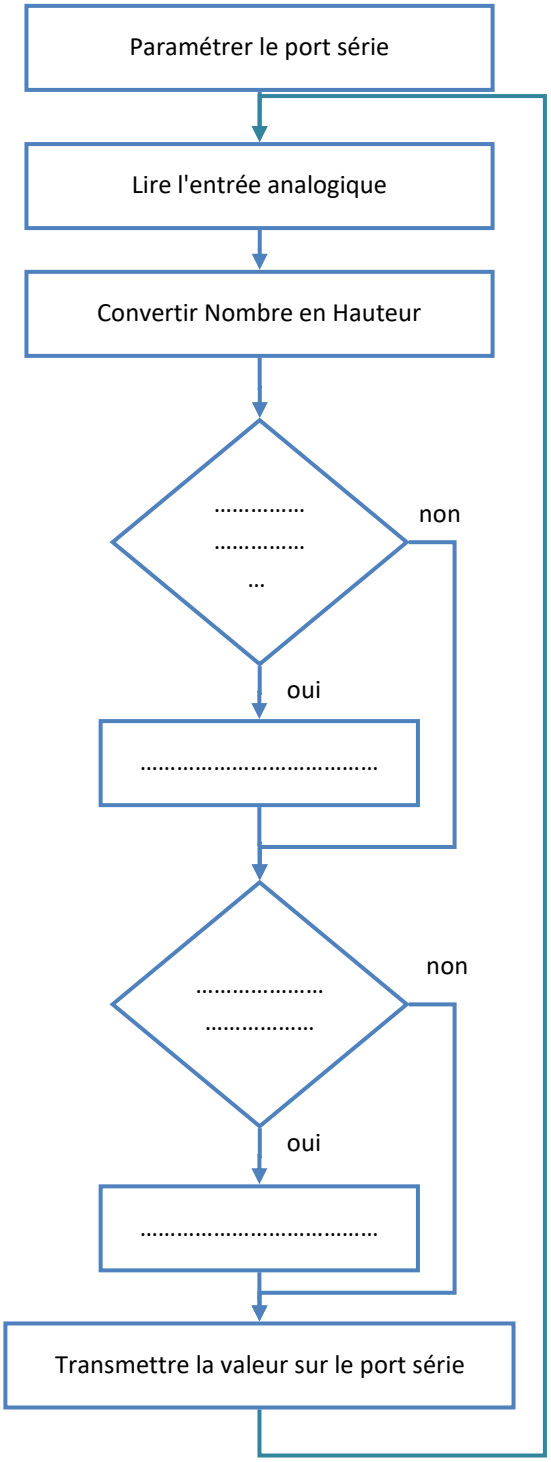
L'objectif est de fixer deux niveaux de surveillance pour le régulateur, un seuil haut et un seuil bas :

1. Compléter les deux phrases suivantes en indiquant le type d'action à réaliser :

Si le niveau d'eau dans le château d'eau est supérieur au seuil haut alors ……

Si le niveau d'eau dans le château d'eau est inférieur au seuil ……. alors ……

2. En s'aidant la question 1, compléter l'algorigramme du Document 8 ci-dessous.



Document 8 : algorigramme régulation 2 seuils

3. Analyser le programme regulation_niveau_2_seuils.ino pour indiquer les valeurs des seuils haut et bas.
4. Modifier le programme pour tenir compte des résultats de l'étalonnage (coefficients a et b) du capteur de niveau utilisé.

Partie 3 : Caractéristique de transfert

5. Fermer la vanne manuelle puis remplir le château d'eau.
6. Déconnecter l'électrovanne de son alimentation.
7. Téléverser le programme.
8. Pour des niveaux d'eau compris entre 60 cm et 0, relever les valeurs de la commande et de la mesure du niveau d'eau dans le moniteur série.
9. Répéter les mesures pour un niveau d'eau évoluant de 0 à 60 cm par valeurs croissantes.
10. Tracer la caractéristique statique $Y_R = f(M)$.
11. Identifier les deux seuils ainsi que le sens de parcours de la caractéristique.

Partie 4 : Influence de la régulation 2 seuils

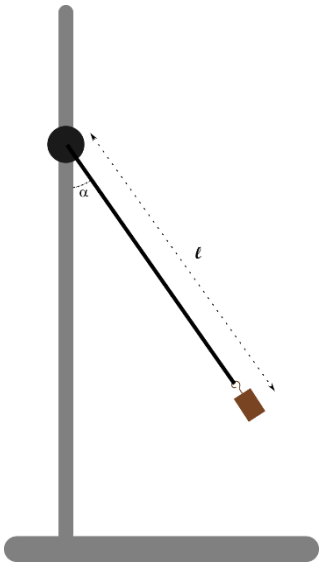
12. Indiquer l'élément sur lequel il faut agir pour fixer un débit de sortie moyen. Le mettre en œuvre.
13. Reconnecter l'électrovanne de son alimentation avec l'interrupteur commandé électroniquement.
14. Téléverser le programme.
15. En utilisant le traceur série, observer l'effet de la régulation automatique sur les valeurs du niveau et de la commande.
16. Copier les courbes et les intégrer à votre compte rendu.
17. Commenter l'allure des courbes obtenues et les comparer avec celles obtenues avec une régulation à un seuil.
18. Répéter les étapes 15 à 17 pour des seuils égaux à 35 et 50 cm.
19. Quels sont les effets du changement de consigne sur le comportement du procédé ?
20. Quels sont les avantages et les inconvénients d'une telle régulation sur ce procédé ?

CC BY NC SA

ACTIVITÉ 3 : Mesure de la période d'un pendule

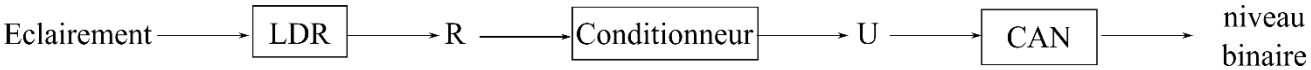
La chaine de mesure utilisée dans les activités de la partie 2 de la séquence 4 permet de mesurer la période d'un pendule.

1. La chaine de mesure en Tout Ou Rien



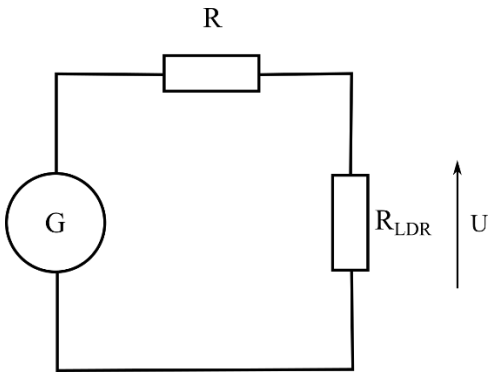
Un faisceau laser est coupé par le fil lorsque le pendule passe par la verticale. Un capteur de lumière (photorésistance appelée LDR) permet de mesurer l'éclairement du faisceau laser. Le capteur intégré dans une chaine de mesure permet de récupérer un niveau binaire d'autant plus élevé que l'éclairement est faible. Le système complet permet ainsi de détecter les variations d'intensité lumineuse tout en enregistrant la date à la quelle le faisceau est coupé (passage du pendule par la position d'équilibre).

On rappelle les éléments de la chaine de mesure en question :



Chaine de mesure

Le schéma électrique LDR/conditionneur est le suivant :



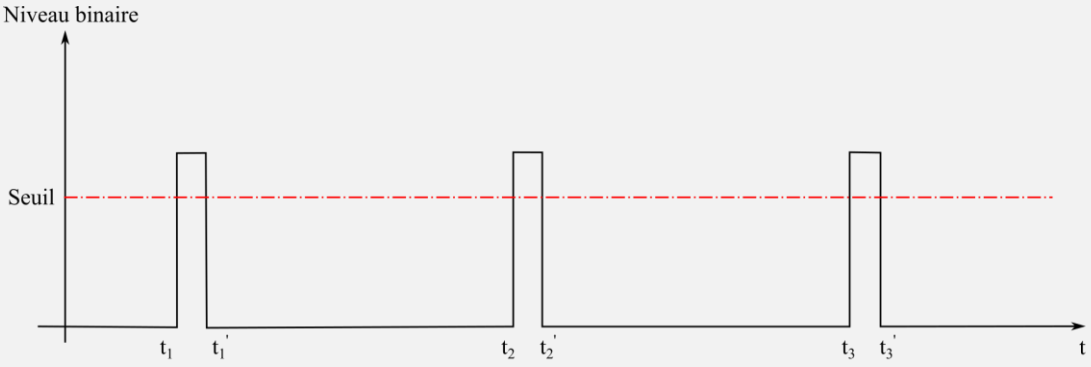
Circuit conditionneur

La tension électrique U aux bornes de la LDR varie entre 0 et 3,3 V comme la tension aux bornes du générateur est établie à 3,3 V.

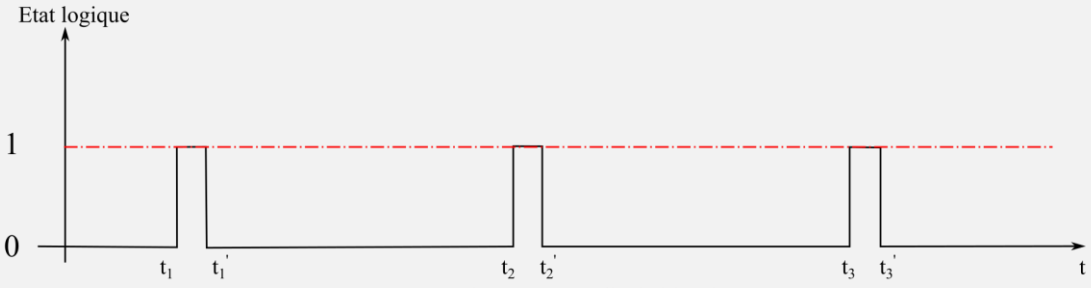
Pour rappel, plus l'éclairement est grand, plus la tension U diminue.

DOCUMENT 1 : Chaine de mesure en Tout Ou Rien

Le microcontrôleur est programmé pour détecter le passage du pendule devant le capteur par comparaison entre le niveau binaire en sortie du CAN et une valeur seuil à régler. Le programme enregistre les dates qui correspondent à ces transitions (lorsque le pendule coupe le faisceau Laser) permettant le calcul de la période. On a ainsi un système à deux états (0 pour capteur éclairé et 1 pour capteur non éclairé) appelé chaine de mesure en Tout ou Rien.



représentation temporelle du niveau binaire



Evolution temporelle de l'état logique



Numéro de comptage

1. A l'aide du document 6, repérer les moments pendant lesquels le capteur est occulté. L'exemple du document 6 illustre 3 occultations. Exprimer une des 3 durées d'occultation.
2. A l'aide du document 6 et le contenu du programme python « pendule », repérer la ligne de code correspondant à la transition capteur éclairé→capteur non éclairé.
3. A l'aide du document 5 et de la suite du programme, compléter le tableau suivant.

date	Comparaison à la valeur seuil	Etat logique	Obstacle_present	Compteur_passage
$0<t<t_1$				
t_1				
$t_1<t<t_1'$				
$t_1'<t<t_2$				
t_2				
$t_2<t<t_2'$				

4. Interpréter le chronogramme représentatif de l'état logique en fonction du temps. Représenter sur ce chronogramme la période du pendule.

5. Le programme python permet de repérer les numéros de comptage impairs et d'enregistrer les dates correspondantes. Expliquer quel est l'intérêt d'enregistrer ces dates. Repérer et recopier les lignes de code correspondantes dans le programme ainsi que celle dédiée au calcul de la période.

Limite du modèle de pendule simple. Influence de l'angle d'oscillation

On souhaite déterminer la validité du modèle pour des angles d'oscillation α plus grands (voir figure 1). Comme les oscillations sont amorties l'angle change entre la première oscillation et la dernière. On privilégiera ainsi une masse élevée pour le pendule pour favoriser l'inertie et limiter l'influence des frottements de l'air.
On doit augmenter le nombre de mesures pour diminuer l'incertitude-type de la moyenne des valeurs de période mais le limiter tout de même pour ne pas que l'angle d'oscillation change trop entre la première oscillation et la dernière.

Une solution est de réaliser plusieurs séries de 5 oscillations pour chaque angle d'oscillation choisi (à adapter en fonction de la masse du pendule).
On peut réaliser 4 séries de 5 oscillations pour chaque angle. Le programme renvoie un fichier csv qui permet le traitement ultérieur des mesures.

6. Expliquer en quoi augmenter le nombre de mesures permet de diminuer l'incertitude-type de la moyenne des valeurs de la période.
7. Dans le programme du microcontrôleur, changer la valeur seuil de déclenchement pour l'adapter à la situation. Changer les paramètres du programme pour réaliser 4 séries de 5 mesures.
8. Réaliser les mesures de période pour les angles définis dans le tableau suivant et noter la longueur du pendule. Prendre une masse de 200 g pour limiter les frottements. Compléter le tableau suivant dans la feuille d'un tableur et compléter avec les mesures de période effectuées.

Angle initial	**5°**	**10°**	**20°**	**30°**
Mesure 1				
Mesure 2				
…				

9. Calculer pour chaque angle, la valeur moyenne de la période, l'écart-type, ainsi que l'incertitude-type.
10. Remplir les deux dernières lignes du tableau.

Angle initial	**5°**	**10°**	**20°**	**30°**

11. La valeur moyenne peut-elle constituer la valeur de référence ?
12. Discuter de la validité du modèle.

CC BY NC SA

ACTIVITÉ 4 : Mesure du taux de CO_2 dans une salle de classe

Le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) émet des recommandations en matière d'aération et de ventilation d'établissements recevant du public (ERP) dans un contexte de sobriété énergétique et de qualité de l'air à maintenir.

Le HCSP recommande, en période d'occupation, de maintenir un niveau de qualité de l'air ambiant satisfaisant défini dans les normes européennes en vigueur.
L'indicateur de qualité de l'air dans un milieu confiné est le taux de dioxyde de carbone CO_2exprimé en ppm[1] (partie par million).
Le document extrait de la norme européenne fixe les valeurs limites de CO_2 en fonction de la qualité de l'air de l'espace confiné correspondant.
Pour maintenir une qualité de l'air acceptable, les pièces confinées doivent être ventilées. Autrement dit l'air de la pièce doit être extrait et remplacé par de l'air neuf venant de l'extérieur. En cas de dépassement des valeurs limites de CO_2, les débits de ventilation doivent être adaptés.

Document 1 : taux de CO2 dans les pièces

Qualité de l'air	Plage de taux de CO_2 (en ppm)
Excellente qualité	< 800
Qualité moyenne	Entre 800 et 1000
Qualité basse	> 1000

Document 2 : chaine de mesure et caractéristiques du capteur CO_2

La chaine de mesure est constituée d'un capteur de mesure de CO_2 numérique associé à un microcontrôleur M5Stack classique équipé d'un écran pour l'affichage. Le microcontrôleur reçoit les données du capteur de CO_2 toutes les 5 secondes.

Spécification	Paramètre
Etendue de mesure du taux de CO_2	400 à 2000 ppm
« Précision »	$\pm$(50 ppm + 5% de la lecture)
Etendue de mesure de température	-10 à 60°C
Etendue de mesure d'humidité	0 à 95%RH

Document 3 : fonctionnalités du programme Python

On souhaite réaliser un dispositif de mesure de taux de CO_2 avec un système d'alerte.
Pour une qualité d'air excellente, un voyant vert sera illuminé.
Pour une qualité d'air moyenne, le voyant sera illuminé en orange.
Pour une qualité de l'air basse, le voyant sera illuminé en rouge.
L'objectif est de contrôler, à intervalle de temps régulier, le taux de CO_2 dans l'air de la classe.
On souhaite construire un programme python permettant les fonctionnalités suivantes :

- Pilotage de la chaine de mesure
- Affichage de la teneur en CO_2, de la température et de l'humidité
- Affichage d'un voyant lumineux indiquant le niveau de qualité d'air intérieur.

Le programme python fourni et à compéter permet de réaliser les deux premiers points.

[1] 1 ppm représente 1 molécule de CO_2 pour l'équivalent d'un million de « molécules d'air ».

BY NC SA

1. Quelle est la valeur limite de la teneur en CO_2 à ne pas dépasser pour maintenir une qualité d'air excellente ?
2. On utilise une chaine de mesure utilisée en tout ou rien intégrant le capteur de mesure de CO_2.

A l'aide de la documentation technique du capteur de CO_2 fournie, estimer les valeurs possibles du taux de CO_2 pour la valeur limite proposée à la question précédente.

3. Compléter le tableau des différents domaines de taux de CO_2 en indiquant les couleurs correspondantes de l'indicateur visuel.

Qualité de l'air	Plage de taux de CO_2 (en ppm)	Indicateur visuel
Excellente qualité	< 800	
Qualité moyenne	Entre 800 et 1000	
Qualité basse	> 1000	

Niveau de CO_2 et indicateurs

4. Le programme fourni ne prend en compte qu'un seul seuil de déclenchement. Fixer la valeur du seuil limite de qualité excellente en CO_2 dans le programme.
5. Compléter la ligne 57 de ce programme pour que l'affichage du voyant lumineux soit fonctionnel.
6. Mettre en œuvre le programme et tester la fonctionnalité.
7. Modifier le programme pour prendre en compte le deuxième seuil.
   ☞Le code hexadécimal pour la couleur rouge est 0xee060a.
8. Mettre en œuvre à nouveau le programme et tester la fonctionnalité définie dans le tableau précédent.

ACTIVITÉ 5 : Ouverture d'une serrure électromagnétique à l'aide d'un badge RFID

Une porte peut être verrouillée à l'aide d'une serrure électromagnétique. La serrure est constituée de deux parties principales, une sur le dormant et sur l'ouvrant.
La partie sur dormant est constituée d'une bobine et d'un fer doux à l'intérieur. La partie sur l'ouvrant est constituée d'une simple plaque métallique. Lorsque la bobine est parcourue par un courant électrique, elle crée un champ magnétique qui génère une force sur la plaque métallique de l'ouvrant.
Cette serrure peut être commandée à l'aide d'un badge RFID et d'un détecteur de badge connecté à un microcontrôleur. Un relais peut être piloté par le microcontrôleur pour couper ou restaurer le courant dans la bobine.

Document 1 : principe du badge RFID

Un système RFID est constitué d'un badge et d'un lecteur. Le badge n'a pas de source d'énergie. Il contient une petite bobine et un circuit électronique. Le lecteur est alimenté et émet en permanence un champ magnétique variable (125 kHz). Lorsque l'on approche un badge du lecteur, la bobine est soumise au champ magnétique et génère une tension électrique à ses bornes ; c'est le phénomène d'induction électromagnétique, qui est mis en œuvre dans la charge des batteries de téléphone par contact. Une fois le circuit électronique du badge alimenté, celui-ci transmet son identifiant (UID) par le même phénomène d'induction.

Document 2 : principe du relais

Un relais est un interrupteur commandé. Il est constitué d'un circuit de commande connecté au microcontrôleur et d'un circuit de puissance relié à la serrure électromagnétique. Le principe est le suivant. Le circuit de commande fait circuler un courant qui génère un champ magnétique et qui permet de mettre en contact deux lamelles métalliques, fermant ainsi le circuit de puissance.

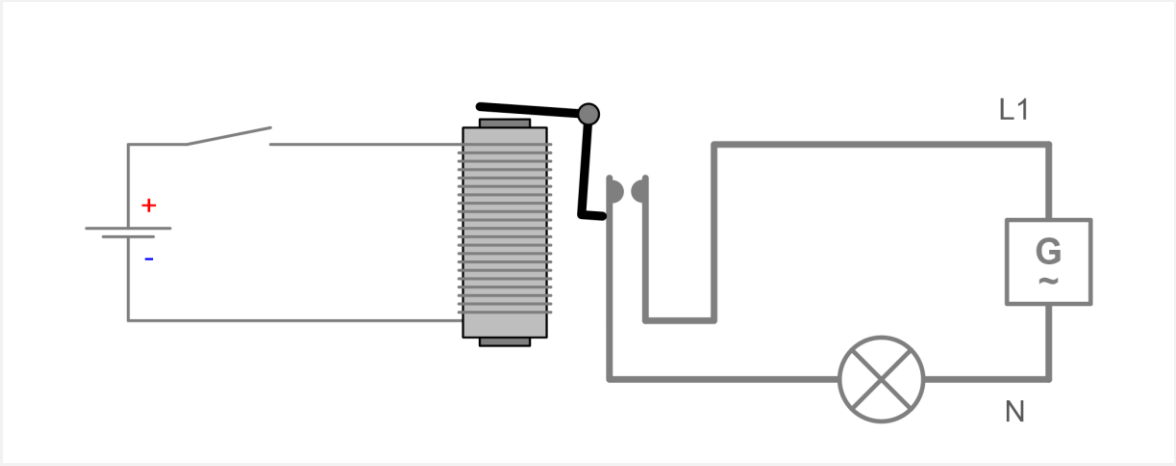
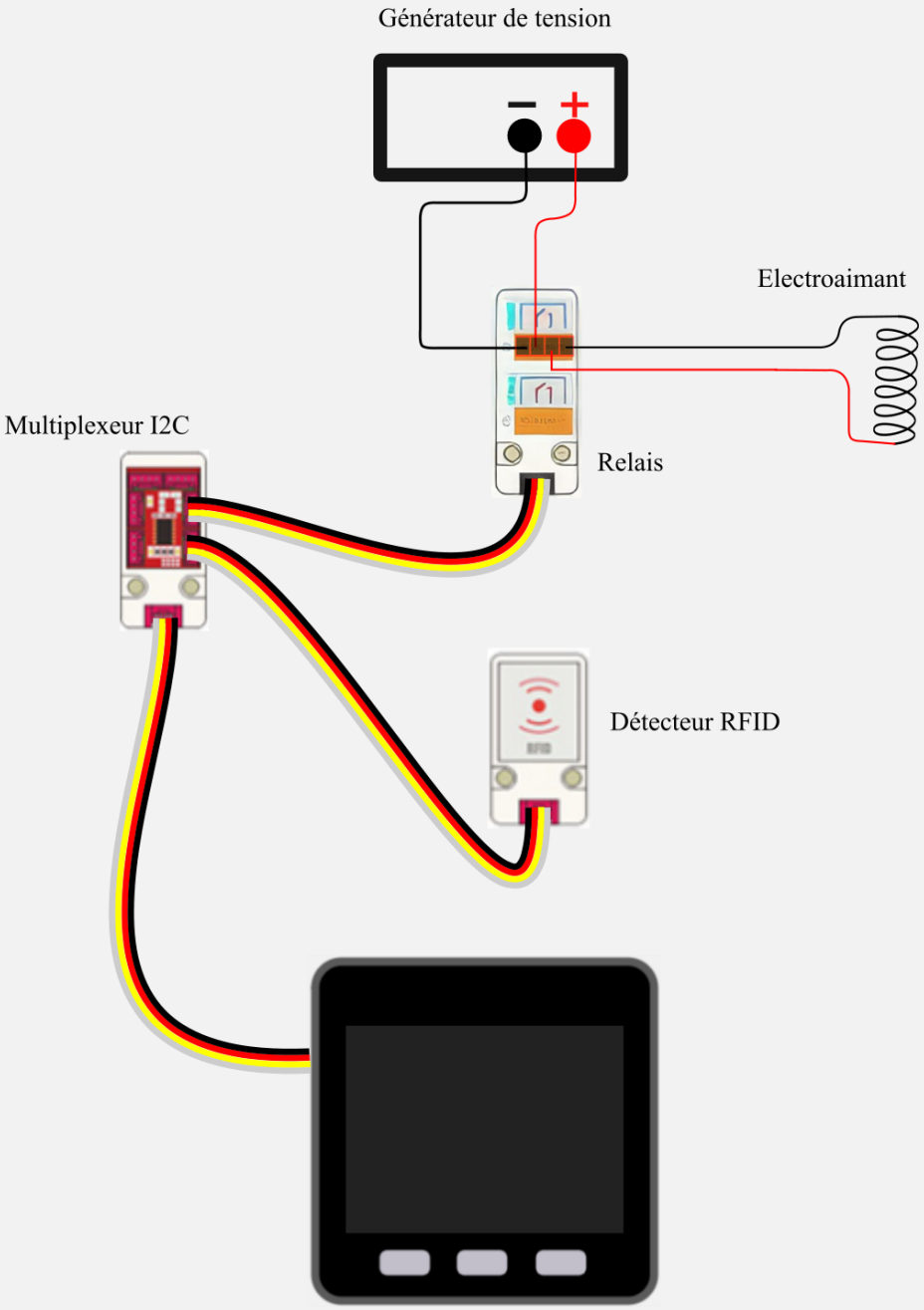


Schéma animé d'un relais par Cloullin*, via* Wikimedia Commons*, sous licence* CC BY-SA 4.0

Document 3 : matériel disponible

- Maquette porte
- Electroaimant et générateur de tension
- Détecteur RFID connecté au port I2C rouge (protocole de communication I2C)
- Badge RFID
- Unité Relais connecté au port I2C rouge (protocole de communication I2C)
- Multiplexeur PA.HUB permettant d'étendre le port I2C pour y brancher plusieurs périphériques
  Microcontrôleur M5Stack

Document 4 : schéma du montage



Test du relais

1. Le relais peut être en position normalement fermée ou normalement ouverte. Laquelle des deux situations doit-on choisir pour garantir le verrouillage de la porte ?
2. L'état du relais est piloté à l'aide de la commande : relay4_0.set_relay_state(2, n). Le chiffre 2 caractérise le relais n°2 du dispositif (4 relais sont disponibles) et n peut prendre les valeurs 0 (relais ouvert) ou 1 (relais fermé). Compléter le programme « test_relais » à l'aide de la commande précédente.
3. Réaliser le câblage du document 4 sans connecter le détecteur RFID. Après vérification du professeur, mettre en marche l'alimentation de l'électroaimant, exécuter le programme et vérifier que la porte est bien verrouillée.
4. Changer l'état du relais dans le programme et vérifier que la porte se déverrouille.

BY NC SA

Mise en place du détecteur RFID

5. Le programme « rfid.py » permet de lire l'identification unique du badge RFID. Connecter le détecteur RFID au multiplexeur I2C. Exécuter le programme « rfid.py » et noter l'UID du badge que l'on vous a confié (valeur décimale).
6. Le programme « rfid_detection » permet de détecter un badge et de valider son authentification. Repérer dans ce programme la ligne de code qui permet d'attribuer les droits d'ouverture à un badge et celles qui permettent de valider l'authentification de votre badge.
7. Exécuter le programme et tester le avec votre badge puis avec un autre badge.

Mise en place du système complet

8. Ouvrir le programme « rfid_relais_porte ». A l'aide de la réponse à la question 2 et du programme « rfid_detection », compléter la boucle (def_loop) du programme « rfid_relais_porte » afin que la porte puisse s'ouvrir lorsque l'on approche le badge du détecteur.
9. Tester le programme pour vérifier les fonctionnalités demandées.
10. Améliorer le programme pour que la porte puisse se refermer au bout de 3 secondes après avoir approché le badge du détecteur.