Université de Douala
École Supérieure Technique La Salle

Chaîne d'instrumentation et d'acquisition

Fiches de travaux pratiques

Classe : **IIA5**

Pr Moffo Lonla Bertrand

Année académique 2026–2027

Table des matières

Organisation des travaux pratiques **2**

TP 1 — Sources de courant et miroirs de courant **3**

TP 2 — Prise en main : PIC18F45K22, Proteus et CCS C **5**

TP 3 — Chaîne d'acquisition : mesure de température (Pt100) **7**

Annexe — Compte rendu et grille d'évaluation **10**

Organisation des travaux pratiques

Les TP se déroulent en binôme, en simulation sous **Proteus** (ISIS) avec le compilateur **CCS C** (PCWHD) ; ils peuvent être reproduits sur maquette. Chaque TP comporte une **préparation** (calculs théoriques) à rédiger avant la séance : elle est vérifiée en début de séance. Le compte rendu (une par binôme) est remis à la fin de la séance suivante ; sa structure et la grille d'évaluation figurent en annexe.

TP	Thème	Séance	Durée
TP 1	Sources de courant et miroirs de courant	séance 2	2 h
TP 2	Prise en main : PIC18F45K22, Proteus et CCS C	séance 6	2 h
TP 3	Chaîne d'acquisition : mesure de température (Pt100)	séances 7 et 9	4 h + 2 h

TP 1 — Sources de courant et miroirs de courant

Durée	2 h (séance 2)
Matériel / logiciels	Proteus ISIS : `TL084`, `2N2907`, `2N2222`, `BZX79C3V3`, `RES`, `POT-HG`, ampèremètre et voltmètre continus, sources `DC`.
Objectifs	Caractériser une source de courant : valeur du courant, plage de conformité, résistance de sortie ; comparer les structures du chapitre 2 en vue de l'excitation d'une sonde Pt100.

Préparation (à rédiger avant la séance)

1. Pour chacune des sources des parties 1 à 3, donner l'expression théorique du courant de sortie et calculer sa valeur.
2. Pour chacune, calculer la résistance de charge maximale (limite de la plage de conformité).
3. Rappeler comment déduire la résistance de sortie R_o d'une source de la courbe $I = f(U_{\text{ch}})$.

Partie 1 — Source de courant à AOP (charge flottante) 30 min

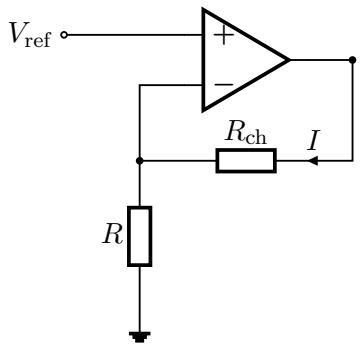


FIGURE 1.1 – Source de courant à AOP.

Réaliser le montage avec un TL084 alimenté en $\pm 15\,\text{V}$, $V_{\text{ref}} = 1\,\text{V}$ (source continue), $R = 1\,\text{k}\Omega$. Placer un ampèremètre en série avec R_{ch} et un voltmètre en sortie de l'AOP.

1. Relever I et la tension de sortie V_s de l'AOP pour $R_{\text{ch}} = 0\,;\ 1\,;\ 2{,}2\,;\ 4{,}7\,;\ 10\,;\ 12\,;\ 15\,;\ 22\,\text{k}\Omega$.

R_{ch} (kΩ)	0	1	2,2	4,7	10	12	15	22
I (mA)								
V_s (V)								

2. Tracer $I = f(R_{\text{ch}})$. Déterminer la tension de saturation de l'AOP et la résistance de charge maximale. Comparer à la préparation.
3. Remplacer R_{ch} par une Pt100 simulée par une résistance de $138{,}5\,\Omega$ ($100\,^\circ\text{C}$) : relever la tension à ses bornes. Peut-on la mesurer par rapport à la masse ? Conclure.

Partie 2 — Source de courant à transistor PNP et diode Zener 30 min

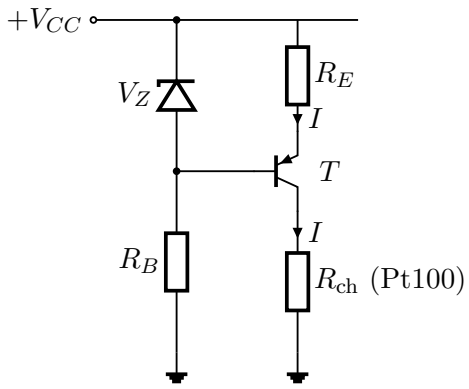
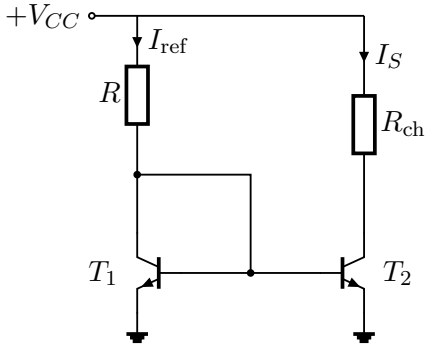


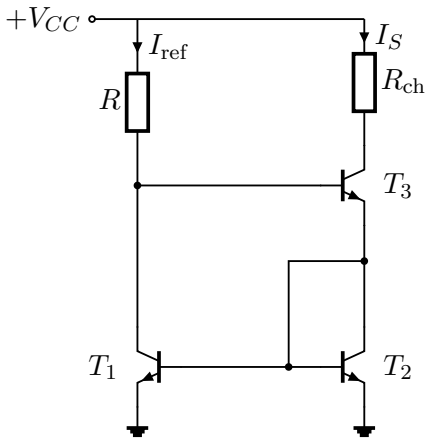
FIGURE 1.2 – Source de courant à transistor PNP.

$V_{CC} = 12\,\text{V}$, transistor 2N2907, diode BZX79C3V3, $R_E = 2{,}7\,\text{k}\Omega$, $R_B = 4{,}7\,\text{k}\Omega$.

1. Relever V_Z, V_{EB} et I pour $R_{\text{ch}} = 100\,\Omega$. Comparer à la valeur théorique.
2. Reprendre le tableau de la partie 1 (I et tension collecteur). Déterminer la plage de conformité.
3. Placer la source dans une ambiance à 50 °C (propriété de température de la simulation, si elle est disponible) et observer la variation de I. Expliquer.

Partie 3 — Miroir simple et miroir de Wilson 45 min





$V_{CC} = 12\,\text{V}$, transistors 2N2222, $R = 11{,}3\,\text{k}\Omega$.

1. Miroir simple : mesurer I_{ref} et I_S pour $R_{\text{ch}} = 0\,;\,1\,;\,2{,}2\,;\,4{,}7\,;\,10\,;\,12\,;\,15\,;\,22\,\text{k}\Omega$, ainsi que V_{CE2}. Tracer $I_S = f(V_{CE2})$ et en déduire la résistance de sortie r_o.
2. Miroir de Wilson : mêmes mesures. Comparer les erreurs de recopie I_S/I_{ref} et les résistances de sortie.
3. Lequel de ces montages choisir pour alimenter une Pt100 ? Quelle limite subsiste ?

Partie 4 — Synthèse 15 min

Rédiger un tableau comparant les trois sources (précision du courant, plage de conformité, résistance de sortie, charge à la masse ou non, sensibilité à la température) et conclure sur le choix pour la sonde Pt100 du TP 3.

TP 2 — Prise en main : PIC18F45K22, Proteus et CCS C

Durée	2 h (séance 6)
Matériel / logiciels	Compilateur CCS C (PCWHD), Proteus ISIS : `PIC18F45K22`, `LM016L`, `POT-HG`, `LED-RED`, `RES`, `VIRTUAL TERMINAL`, `DC VOLTMETER`, oscilloscope.
Objectifs	Mettre en œuvre la chaîne logicielle (édition, compilation, simulation) ; configurer et utiliser le CAN 10 bits ; vérifier la caractéristique de conversion ; mesurer la durée d'une conversion ; afficher et transmettre une mesure.

Préparation

1. Calculer le quantum du CAN du PIC18F45K22 pour $V_{\text{ref}} = 5\,\text{V}$ et le code attendu (troncature) pour $V_{\text{in}} = 0\,;\ 0{,}5\,;\ 1\,;\ 2\,;\ 2{,}5\,;\ 4\,;\ 4{,}99$ et $5\,\text{V}$.
2. À $F_{\text{osc}} = 16\,\text{MHz}$, quelle valeur de T_{AD} donne le choix `ADC_CLOCK_DIV_16` ? Estimer la durée d'une conversion ($11\ T_{\text{AD}}$).
3. Lire le programme `mesure_tension.c` (chapitre 6 du support) et expliquer chaque ligne de configuration.

Partie 1 — Projet CCS et schéma Proteus

30 min

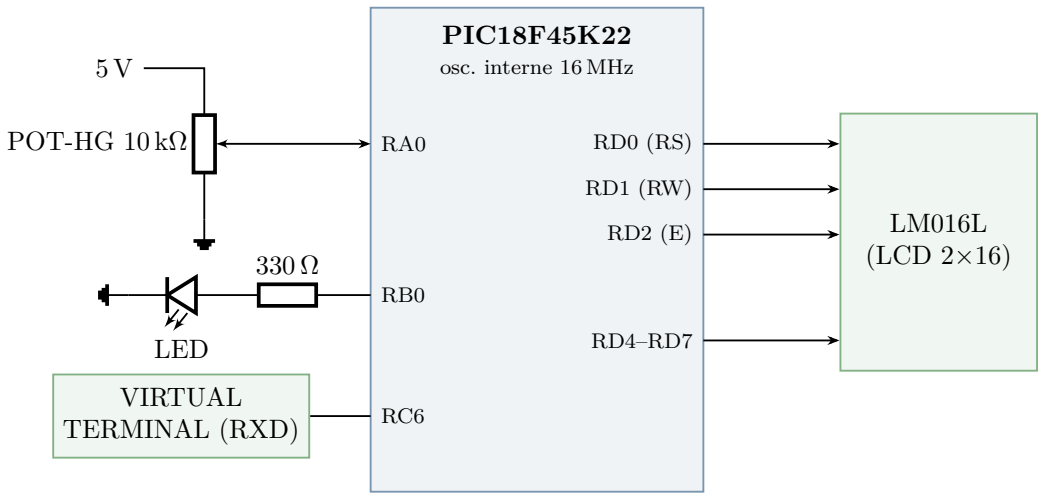


FIGURE 2.1 – Montage de prise en main.

1. Créer un dossier de projet, y copier `mesure_tension.c`, l'ouvrir dans CCS et le compiler (*Compile*). Relever la taille du programme (ROM, RAM) indiquée par le compilateur. Quels fichiers sont produits ?

2. Saisir le schéma sous Proteus. Dans les propriétés du PIC, associer le fichier `.cof` (ou `.hex`) et fixer la fréquence d'horloge à 16 MHz. Configurer le terminal virtuel à 9600 bauds.
3. Lancer la simulation : vérifier l'affichage, le clignotement de la LED et les messages sur le terminal.

Partie 2 — Caractéristique de conversion

30 min

1. À l'aide du potentiomètre et du voltmètre de Proteus, régler V_{in} aux valeurs de la préparation et relever le code N et la tension affichée.

V_{in} (V)	0	0,5	1	2	2,5	4	4,99	5
N théorique								
N mesuré								

2. Tracer $N = f(V_{\text{in}})$. Déterminer la pente et la comparer à $1/q$. Quelle est l'erreur maximale entre la tension affichée et la tension appliquée ?
3. Pourquoi le code 1024 n'apparaît-il jamais ? Que se passe-t-il si V_{in} dépasse 5 V ?

Partie 3 — Durée de conversion

20 min

Modifier le programme pour mettre la broche RB1 à 1 juste avant `read_adc()` et à 0 juste après. Observer RB1 à l'oscilloscope de Proteus.

1. Mesurer la durée de l'impulsion. Comparer à 11 T_{AD}.
2. Remplacer `ADC_CLOCK_DIV_16` par `ADC_CLOCK_DIV_64`. Nouvelle durée ? Quelle est alors la fréquence d'échantillonnage maximale d'une voie ? de quatre voies multiplexées (en comptant 10 µs d'acquisition par voie) ?

Partie 4 — Améliorations du programme

40 min

1. Afficher la tension en millivolts en n'utilisant que des entiers (pas de `float`). Quel type faut-il pour le calcul intermédiaire ? Comment arrondir ?
2. Remplacer la conversion unique par la moyenne de 16 conversions, calculée par décalage.
3. Allumer la LED (RB0) lorsque la tension dépasse 4,0 V et l'éteindre lorsqu'elle repasse sous 3,8 V. Pourquoi deux seuils ?
4. Comparer la taille du programme avant et après suppression des `float`.

TP 3 — Chaîne d'acquisition : mesure de température (Pt100)

Durée	4 h (séance 7) + 2 h (séance 9)
Matériel / logiciels	Proteus ISIS : `TL084`, `RES`, `POT-HG` ou `RES-VAR` (simulation de la sonde), `PIC18F45K22`, `LM016L`, `VIRTUAL TERMINAL`, `DC VOLTMETER` ; compilateur CCS C.
Objectifs	Étudier et valider un conditionneur de sonde Pt100 ; mesurer sa sensibilité et sa linéarité ; l'adapter à l'entrée d'un CAN ; programmer l'acquisition, l'affichage et l'étalonnage ; dresser le bilan de résolution de la chaîne.

Rappels : mesure de la température

La température est une mesure indirecte du degré d'agitation microscopique des particules. Les échelles usuelles sont le degré Celsius, le degré Fahrenheit et le kelvin, défini à partir du zéro absolu :

Point	°C	°F	K
Zéro absolu	−273,15	−459,67	0
Fusion de la glace	0	32	273,15
Ébullition de l'eau (1013 hPa)	99,97	211,95	373,12

Le choix du capteur dépend de l'étendue de mesure, du milieu, de la précision et du temps de réponse : **thermistances** CTN/CTP (forte sensibilité, non linéaires, étendue réduite), **thermocouples** (étendue très large, faible signal, soudure froide), circuits intégrés (LM35), et **sondes à résistance de platine** Pt100/Pt1000 (RTD), précises et stables. La sonde Pt100 est un fil de platine bobiné sur un mandrin en céramique, de résistance 100 Ω à 0 °C ; elle se raccorde en 2, 3 ou 4 fils. Pour limiter l'auto-échauffement, le courant de mesure recommandé est de l'ordre de 1 mA pour une Pt100 (0,1 mA pour une Pt1000).

Montage étudié

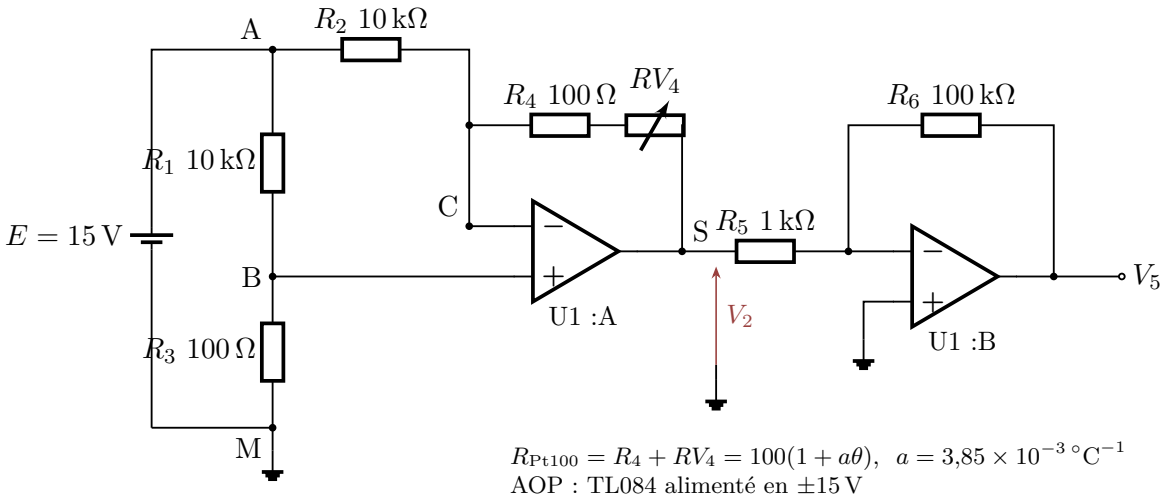


FIGURE 3.1 – Conditionneur de la sonde Pt100 : étage 1 (sortie V_2) et étage 2, amplificateur inverseur (sortie V_5).

Dans la simulation, la sonde est représentée par $R_4 = 100\,\Omega$ en série avec la résistance variable RV_4 de $50\,\Omega$:

$$R_{\text{Pt100}} = 100\,(1 + a\theta) = 100 + 100\,a\theta = 100 + RV_4 \quad \text{avec} \quad RV_4 = 100\,a\,\theta.$$

Ainsi, RV_4 simule la variation de température θ (en °C). Chaque incrément de 10 % du potentiomètre ajoute $\Delta R = 5\,\Omega$, ce qui simule une variation $\Delta\theta = \Delta R/(100a) = 13\,°C$.

Préparation (à rédiger avant la séance 7)

Partie 1 — Étude théorique du conditionneur

a. **Montrer que le montage est linéaire.**

   (a) À l'aide de la maille MABM, exprimer $I_{R_1} = i$ en fonction de E et des résistances du montage. Montrer que $i = E/10\,100$.

   (b) À l'aide de la maille ACBA, montrer que $I_{\text{Pt100}} = i_2 = I_{R_3} = i$.

   (c) Vérifier que I_{Pt100} est constant et inférieur à 3 mA. Estimer l'auto-échauffement correspondant, sachant que 3,0 mA provoquent 0,5 °C d'auto-échauffement et que celui-ci est proportionnel à I^2 (car $P = RI^2 = hS\Delta T$).

b. Montrer que $V_2 = -\dfrac{a\,\theta\,E}{101}$.

c. Montrer que $V_5 = 0{,}0572\,\theta$. En déduire la sensibilité théorique du conditionneur $s_{\text{th}} = \Delta V_5/\Delta\theta$.

d. Pour quelle plage de températures V_5 reste-t-elle comprise entre 0 V et 5 V ?

Séance 7

Partie 2 — Simulation et caractérisation du conditionneur 1 h 30

1. Saisir le montage sous Proteus (TL084 alimenté en ±15 V). Placer des voltmètres sur V_2 et V_5 et un ampèremètre en série avec R_4.
2. Vérifier que le courant dans la sonde ne dépend pas de la position de RV_4.

3. Relever V_2 et V_5 pour RV_4 variant de 0 à 50 Ω par pas de 5 Ω ; compléter le tableau :

RV_4 (Ω)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
θ simulée (°C)											
V_2 (mV)											
V_5 (V)											

4. Tracer $V_5 = f(\theta)$. Déterminer, par régression linéaire, la sensibilité expérimentale $s_{\text{exp}} = \Delta V_5/\Delta\theta$ et la comparer à s_{th}. Que se passe-t-il au-delà de 87 °C ? Pourquoi ?
5. Remplacer R_1 par 10,1 kΩ (erreur de 1 %). Quelle est l'influence sur V_5 ? Quel défaut cela introduit-il (zéro ou gain) ?

Partie 3 — Acquisition par le PIC18F45K22 2 h 30

On limite d'abord l'étendue de mesure à 0 °C à 87 °C, de sorte que V_5 puisse être appliquée directement à l'entrée AN0 (référence $V_{DD} = 5$ V).

1. L'AOP étant alimenté en ±15 V, proposer un circuit de protection de l'entrée AN0 qui limite la tension à −0,3 V à 5,3 V et réalise en même temps un filtre anti-repliement de fréquence de coupure de l'ordre de 15 Hz.
2. Calculer le quantum du CAN et la résolution de la mesure en °C. Établir la relation $\theta = K\,N$ et calculer K.
3. Compléter le schéma (PIC, afficheur, LED d'alarme sur RB0, terminal virtuel) et écrire le programme : moyenne de 16 conversions, affichage de θ au dixième de degré, envoi de N et θ sur la liaison série, alarme au-delà de 60 °C, message de dépassement d'échelle.
4. Relever, pour chaque position de RV_4, le code N et la température affichée. Calculer l'erreur maximale.

Séance 9

Partie 4 — Étalonnage en deux points 45 min

1. Expliquer le principe de l'étalonnage en deux points. Quels défauts corrige-t-il ? Lesquels ne corrige-t-il pas ?
2. Introduire volontairement un défaut ($R_1 = 10{,}1$ kΩ et $R_6 = 98$ kΩ). Relever les codes N_1 et N_2 pour $RV_4 = 5$ Ω ($T_1 = 13{,}0$ °C) et $RV_4 = 25$ Ω ($T_2 = 64{,}9$ °C), les introduire dans le programme et vérifier l'affichage aux autres points.

Partie 5 — Extension de l'étendue de mesure à −50 °C à 100 °C 1 h 15

On veut maintenant couvrir −50 °C à 100 °C : V_5 varie alors de −2,86 V à 5,72 V.

1. Montrer qu'il faut réaliser $V_{\text{CAN}} = k\,V_5 + V_0$ et calculer k et V_0 pour que −50 °C donne 0 V et 100 °C donne 5 V.
2. On réalise cette fonction par trois résistances reliées au même nœud (R_a vers V_5, R_b vers la référence +5 V, R_c vers la masse), suivies d'un suiveur. Exprimer V_{CAN} (théorème de Millman). Avec $R_a = 10$ kΩ, calculer R_b et R_c et choisir des valeurs normalisées (série E96).
3. Simuler l'étage, relever V_{CAN} pour $RV_4 = 0$, 25 et 50 Ω (la sonde réelle descendrait à 80,75 Ω pour −50 °C : pour simuler les températures négatives, remplacer R_4 par 80 Ω). Modifier le programme (nouvelle relation $\theta = f(N)$).
4. Calculer la nouvelle résolution. Conclure sur le compromis étendue/résolution.

Annexe — Compte rendu de TP et grille d'évaluation

Structure du compte rendu

1. **Page de garde** : TP, binôme, date.
2. **Objectifs** du TP en quelques lignes.
3. **Préparation** : calculs théoriques rédigés (expressions littérales, puis applications numériques avec unités).
4. **Manipulations** : schémas réellement simulés (captures d'écran lisibles), tableaux de mesures, courbes avec axes gradués et unités.
5. **Exploitation** : comparaison théorie/mesure, calcul des écarts relatifs, explication des écarts.
6. **Programmes** : code source commenté (uniquement les parties écrites ou modifiées), résultats observés (afficheur, terminal).
7. **Conclusion** : ce qui a été validé, les limites de la chaîne réalisée, les améliorations possibles.

Grille d'évaluation (sur 20)

Critère	Barème	Note
Préparation faite avant la séance, calculs justes	4	
Montage simulé conforme, mesures complètes et soignées	4	
Exploitation : courbes, sensibilité, écarts théorie/mesure expliqués	4	
Programme fonctionnel, structuré et commenté	4	
Qualité de la rédaction et de la conclusion	2	
Autonomie et comportement en séance	2	
Total	**20**	