ROBOTIQUE • COMPRENDRE POUR CONCEVOIR

Électricité et électronique pour roboticiens

ROB-102 • Manuel universitaire illustré

ÉDITION GRANDE LISIBILITÉ • APPRENTISSAGE À DISTANCE

DISTRIBUTION DE PUISSANCE



Chaîne énergétique d'un robot : protéger, convertir, commander et actionner.

Angelo Nibizi

Recteur du Collège du Sacré-Cœur
Gatineau, Québec

Nibizi Technologies • Édition 2026 • Tous droits réservés

Comment étudier ROB-102 à distance

Ce manuel est conçu comme un laboratoire électronique portable. L'étudiant calcule, observe les planches XL, interprète des mesures simulées et diagnostique méthodiquement. Les exercices privilégient simulation et basses tensions continues; les systèmes secteur ou de forte énergie exigent les procédures et protections adaptées.

Progression

01 — Tension, courant, résistance et puissance

02 — Batteries, BMS, fusibles et distribution

03 — Moteurs, drivers, PWM et pont en H

04 — MOSFET, diodes, relais et commutation

05 — Condensateurs, inductances, filtrage et CEM

06 — UART, I²C, SPI et CAN

07 — Microcontrôleurs, GPIO, ADC, timers et interruptions

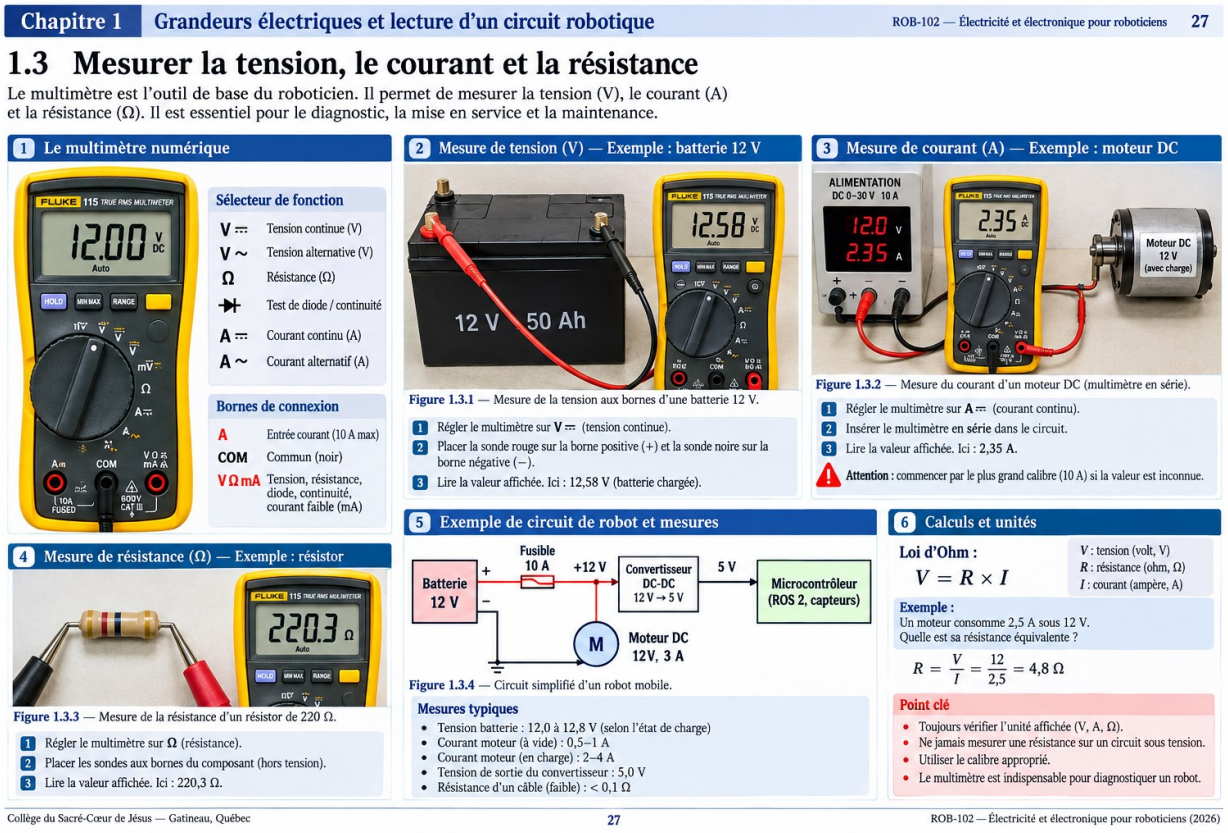
08 — Schémas, PCB et intégration électronique

09 — Diagnostic, fiabilité et maintenance prédictive

10 — Projet intégrateur électronique et HIL

COLLÈGE DU SACRÉ-CŒUR DE GATINEAU • ROB-102

PLANCHE DE LABORATOIRE — ÉTUDE À DISTANCE



Chapitre 1 Grandeurs électriques et lecture d'un circuit robotique ROB-102 — Électricité et électronique pour roboticiens 27

1.3 Mesurer la tension, le courant et la résistance

Le multimètre est l'outil de base du roboticien. Il permet de mesurer la tension (V), le courant (A) et la résistance (Ω). Il est essentiel pour le diagnostic, la mise en service et la maintenance.

1 Le multimètre numérique

Sélecteur de fonction

V ⎓ Tension continue (V)
V ~ Tension alternative (V)
Ω Résistance (Ω)
Test de diode / continuité
A ⎓ Courant continu (A)
A ~ Courant alternatif (A)

Bornes de connexion

A Entrée courant (10 A max)
COM Commun (noir)
VΩmA Tension, résistance, diode, continuité, courant faible (mA)

2 Mesure de tension (V) — Exemple : batterie 12 V

Figure 1.3.1 — Mesure de la tension aux bornes d'une batterie 12 V.

1 Régler le multimètre sur V ⎓ (tension continue).
2 Placer la sonde rouge sur la borne positive (+) et la sonde noire sur la borne négative (−).
3 Lire la valeur affichée. Ici : 12,58 V (batterie chargée).

3 Mesure de courant (A) — Exemple : moteur DC

Figure 1.3.2 — Mesure du courant d'un moteur DC (multimètre en série).

1 Régler le multimètre sur A ⎓ (courant continu).
2 Insérer le multimètre en série dans le circuit.
3 Lire la valeur affichée. Ici : 2,35 A.

Attention : commencer par le plus grand calibre (10 A) si la valeur est inconnue.

4 Mesure de résistance (Ω) — Exemple : résistor

Figure 1.3.3 — Mesure de la résistance d'un résistor de 220 Ω.

1 Régler le multimètre sur Ω (résistance).
2 Placer les sondes aux bornes du composant (hors tension).
3 Lire la valeur affichée. Ici : 220,3 Ω.

5 Exemple de circuit de robot et mesures

Figure 1.3.4 — Circuit simplifié d'un robot mobile.

Mesures typiques

- Tension batterie : 12,0 à 12,8 V (selon l'état de charge)
- Courant moteur (à vide) : 0,5–1 A
- Courant moteur (en charge) : 2–4 A
- Tension de sortie du convertisseur : 5,0 V
- Résistance d'un câble (faible) : < 0,1 Ω

6 Calculs et unités

Loi d'Ohm : $V = R \times I$

V : tension (volt, V)
R : résistance (ohm, Ω)
I : courant (ampère, A)

Exemple :
Un moteur consomme 2,5 A sous 12 V.
Quelle est sa résistance équivalente ?

$$R = \frac{V}{I} = \frac{12}{2,5} = 4,8\ \Omega$$

Point clé

- Toujours vérifier l'unité affichée (V, A, Ω).
- Ne jamais mesurer une résistance sur un circuit sous tension.
- Utiliser le calibre approprié.
- Le multimètre est indispensable pour diagnostiquer un robot.

Collège du Sacré-Cœur de Jésus — Gatineau, Québec 27 ROB-102 — Électricité et électronique pour roboticiens (2026)

Planche haute densité pédagogique : matériel réel, points de mesure, valeurs d'exemple, sécurité et diagnostic. À utiliser conjointement avec le texte de la leçon et le film pédagogique.

FICHE DE LABORATOIRE — INSTRUMENTATION

Multimètre numérique; alimentation DC basse tension; résistances; fils de test.

PROTOCOLE DE MESURE

1. Définir la valeur attendue et son unité avant de connecter l'instrument.

2. Identifier le point de référence/masse et vérifier le calibre de l'instrument.

3. Effectuer la mesure sans modifier simultanément plusieurs variables.

4. Consigner valeur, timestamp, conditions, tolérance et conclusion.

Angelo Nibizi • Nibizi Technologies • Édition 2026

5. Si le résultat est incohérent, revenir à l’alimentation puis progresser vers la charge.

ERREURS FRÉQUENTES À ÉVITER

- Confondre mesure de tension en parallèle et mesure de courant en série.
- Oublier que l’oscilloscope et le circuit partagent souvent une référence de masse selon le matériel utilisé.
- Conclure qu’un composant est défectueux sans avoir vérifié son alimentation et sa commande.
- Comparer deux mesures prises dans des conditions de charge différentes.
- Ignorer l’échauffement, la chute de tension des câbles ou la saturation d’un driver.

Leçon 1 — Tension, courant, résistance et puissance

Objectifs

- Comprendre le mécanisme physique et électrique.
- Calculer les grandeurs avant de mesurer.
- Diagnostiquer par preuve et documenter le résultat.

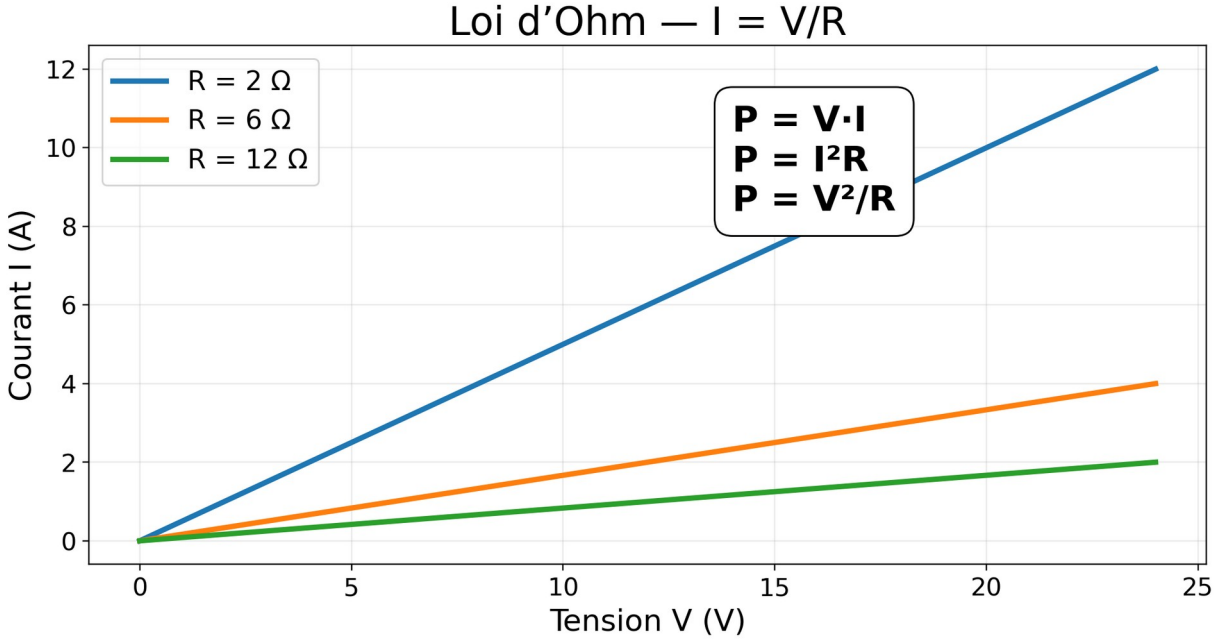


Planche ROB-102.1 — Grande lisibilité : repérer composants, entrées/sorties, unités et flux.

Théorie fondamentale

$V=RI$; $P=VI$; $P=I^2R$; $P=V^2/R$.

Exemple entièrement résolu

Une résistance de 6 Ω sous 12 V absorbe 2 A et dissipe 24 W.

Méthode de diagnostic

- Mesurer l'alimentation au point de charge.
- Comparer courant mesuré et courant attendu.
- Vérifier signal de commande, fréquence et amplitude.
- Vérifier charge, câblage, température et chute de tension.
- Modifier une seule hypothèse à la fois puis vérifier.

Laboratoire à distance

Simuler 12 V avec 6 Ω puis 12 Ω; comparer calculs et mesures.

Autoévaluation corrigée

Q1. Quelle grandeur dois-je calculer ou mesurer en premier ?

Corrigé : L’alimentation pertinente et la grandeur directement liée au symptôme.

Q2. Pourquoi mesurer avant de remplacer ?

Corrigé : Pour distinguer la cause racine d’un symptôme secondaire.

Q3. Que doit contenir le rapport ?

Corrigé : Attendu, mesuré, tolérance, conclusion et prochaine étape.

Storyboard du film pédagogique

Montrer le composant réel ou sa planche XL; afficher les bornes; animer courant et signal; résoudre le calcul; afficher multimètre/oscilloscope simulé; injecter une panne; laisser l’étudiant diagnostiquer; révéler la preuve.

COLLÈGE DU SACRÉ-CŒUR DE GATINEAU • ROB-102

PLANCHE DE LABORATOIRE — ÉTUDE À DISTANCE

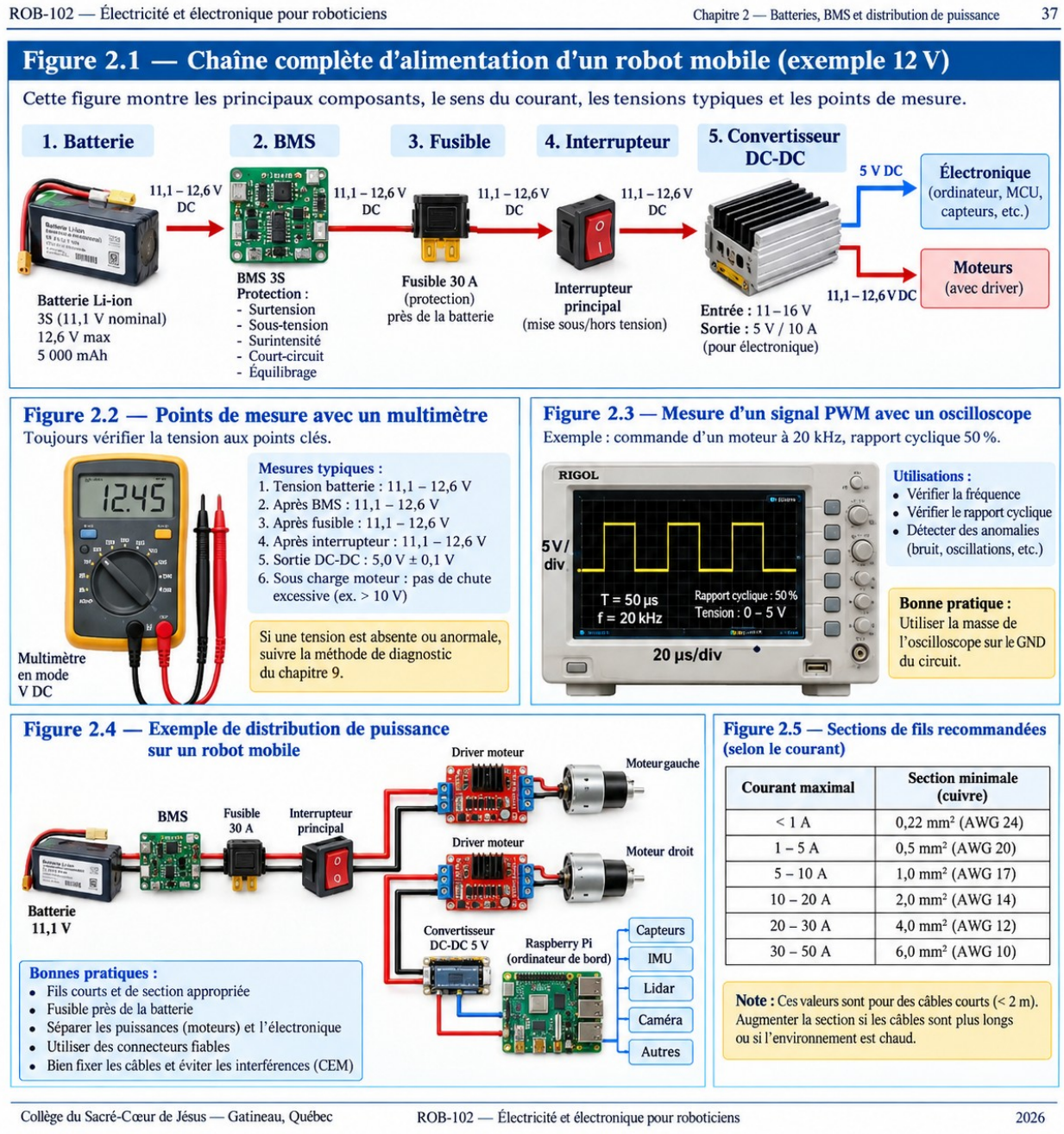


Planche haute densité pédagogique : matériel réel, points de mesure, valeurs d'exemple, sécurité et diagnostic. À utiliser conjointement avec le texte de la leçon et le film pédagogique.

FICHE DE LABORATOIRE — INSTRUMENTATION

Multimètre; alimentation/batterie simulée; BMS didactique ou modèle; fusible; DC/DC.

Angelo Nibizi • Nibizi Technologies • Édition 2026

PROTOCOLE DE MESURE

1. Définir la valeur attendue et son unité avant de connecter l'instrument.

2. Identifier le point de référence/masse et vérifier le calibre de l'instrument.

3. Effectuer la mesure sans modifier simultanément plusieurs variables.

4. Consigner valeur, timestamp, conditions, tolérance et conclusion.

5. Si le résultat est incohérent, revenir à l'alimentation puis progresser vers la charge.

ERREURS FRÉQUENTES À ÉVITER

- Confondre mesure de tension en parallèle et mesure de courant en série.
- Oublier que l'oscilloscope et le circuit partagent souvent une référence de masse selon le matériel utilisé.
- Conclure qu'un composant est défectueux sans avoir vérifié son alimentation et sa commande.
- Comparer deux mesures prises dans des conditions de charge différentes.
- Ignorer l'échauffement, la chute de tension des câbles ou la saturation d'un driver.

Leçon 2 — Batteries, BMS, fusibles et distribution

Objectifs

- Comprendre le mécanisme physique et électrique.
- Calculer les grandeurs avant de mesurer.
- Diagnostiquer par preuve et documenter le résultat.

BATTERIE ET BMS



Planche ROB-102.2 — Grande lisibilité : repérer composants, entrées/sorties, unités et flux.

Théorie fondamentale

Série augmente la tension; parallèle augmente surtout la capacité. Le BMS surveille le pack; fusibles et contacteurs protègent et isolent.

Exemple entièrement résolu

24 V × 20 Ah = 480 Wh nominalement. À 240 W moyens, autonomie idéale ≈2 h avant pertes/réserve.

Méthode de diagnostic

- Mesurer l’alimentation au point de charge.
- Comparer courant mesuré et courant attendu.
- Vérifier signal de commande, fréquence et amplitude.
- Vérifier charge, câblage, température et chute de tension.
- Modifier une seule hypothèse à la fois puis vérifier.

Laboratoire à distance

Dessiner batterie → fusible → contacteur → DC/DC → charges avec courants et protections.

Autoévaluation corrigée

Q1. Quelle grandeur dois-je calculer ou mesurer en premier ?

Corrigé : L’alimentation pertinente et la grandeur directement liée au symptôme.

Q2. Pourquoi mesurer avant de remplacer ?

Corrigé : Pour distinguer la cause racine d’un symptôme secondaire.

Q3. Que doit contenir le rapport ?

Corrigé : Attendu, mesuré, tolérance, conclusion et prochaine étape.

Storyboard du film pédagogique

Montrer le composant réel ou sa planche XL; afficher les bornes; animer courant et signal; résoudre le calcul; afficher multimètre/oscilloscope simulé; injecter une panne; laisser l’étudiant diagnostiquer; révéler la preuve.

FICHE DE LABORATOIRE — INSTRUMENTATION

Oscilloscope; générateur/PWM; driver moteur; moteur DC basse tension; alimentation limitée en courant.

PROTOCOLE DE MESURE

1. Définir la valeur attendue et son unité avant de connecter l'instrument.

2. Identifier le point de référence/masse et vérifier le calibre de l'instrument.

3. Effectuer la mesure sans modifier simultanément plusieurs variables.

4. Consigner valeur, timestamp, conditions, tolérance et conclusion.

5. Si le résultat est incohérent, revenir à l'alimentation puis progresser vers la charge.

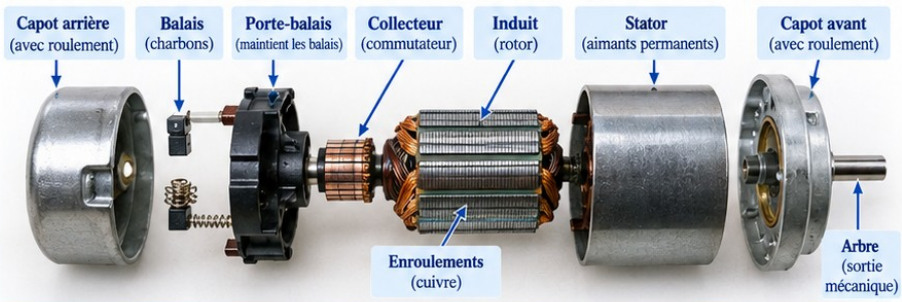
ERREURS FRÉQUENTES À ÉVITER

- Confondre mesure de tension en parallèle et mesure de courant en série.
- Oublier que l'oscilloscope et le circuit partagent souvent une référence de masse selon le matériel utilisé.
- Conclure qu'un composant est défectueux sans avoir vérifié son alimentation et sa commande.
- Comparer deux mesures prises dans des conditions de charge différentes.
- Ignorer l'échauffement, la chute de tension des câbles ou la saturation d'un driver.

PLANCHE DE LABORATOIRE MOTEUR — 1

Figure 3.1 — Moteur à courant continu (DC) : vue éclatée et composants principaux

Cette figure montre les principales parties d'un moteur DC utilisé en robotique, avec leurs rôles.



Rôle de chaque composant :

- **Stator** : crée le champ magnétique (aimants).
- **Induit** : enroulements parcourus par le courant.
- **Collecteur** : inverse le courant dans l'induit.
- **Balais** : assurent le contact électrique.
- **Arbre** : transmet le couple mécanique.

À retenir :
Plus la tension est élevée, plus la vitesse augmente.
Le couple dépend du courant.

Figure 3.2 — Caractéristiques d'un moteur DC

Exemple : moteur 12 V pour robot mobile.

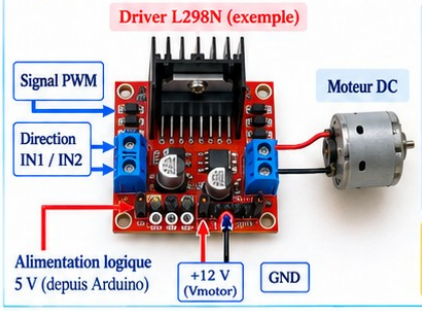


Paramètre	Valeur typique
Tension nominale	12 V
Vitesse à vide	7 000 tr/min
Courant à vide	0,3 A
Courant en charge	1 – 3 A
Courant de blocage	5 A
Couple nominal	0,05 – 0,1 N·m

Attention : ne jamais bloquer le moteur trop longtemps (risque de surchauffe).

Figure 3.3 — Commande d'un moteur avec un pont en H

Le pont en H permet de contrôler le sens de rotation et la vitesse (PWM).



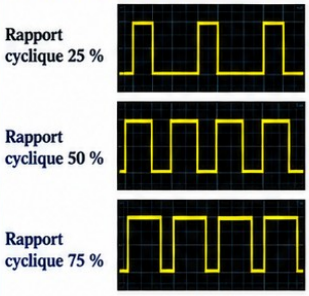
Fonctions :

- IN1 = HIGH, IN2 = LOW → rotation sens horaire
- IN1 = LOW, IN2 = HIGH → rotation sens anti-horaire
- PWM sur ENA → contrôle de la vitesse
- Courant max typique : 2 A par canal (avec dissipateur)

Bonne pratique :
Utiliser un dissipateur si le courant dépasse 1 A.

Figure 3.4 — Signal PWM et effet sur la vitesse

Plus le rapport cyclique est élevé, plus la vitesse du moteur est grande.



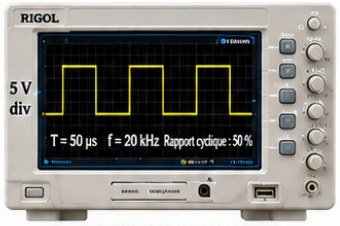
Paramètres du signal :

- Fréquence : 20 kHz (hors de la plage audible)
- Amplitude : 0 – 5 V (logique microcontrôleur)
- Rapport cyclique : 0 – 100 %

Remarque :
la fréquence reste constante, c'est le rapport cyclique qui change la vitesse.

Figure 3.5 — Mesures avec l'oscilloscope et le multimètre

Vérifier la tension, le courant et la forme du signal PWM.



Signal PWM (5 V, 20 kHz, 50 %)



Mesure du courant du moteur en charge

Sécurité : commencer par un faible rapport cyclique (20–30 %) et augmenter progressivement.

Planche d'étude à distance : moteur DC, driver/pont en H, PWM, oscilloscope, multimètre, mesures et erreurs fréquentes.

PLANCHE DE LABORATOIRE MOTEUR — 2

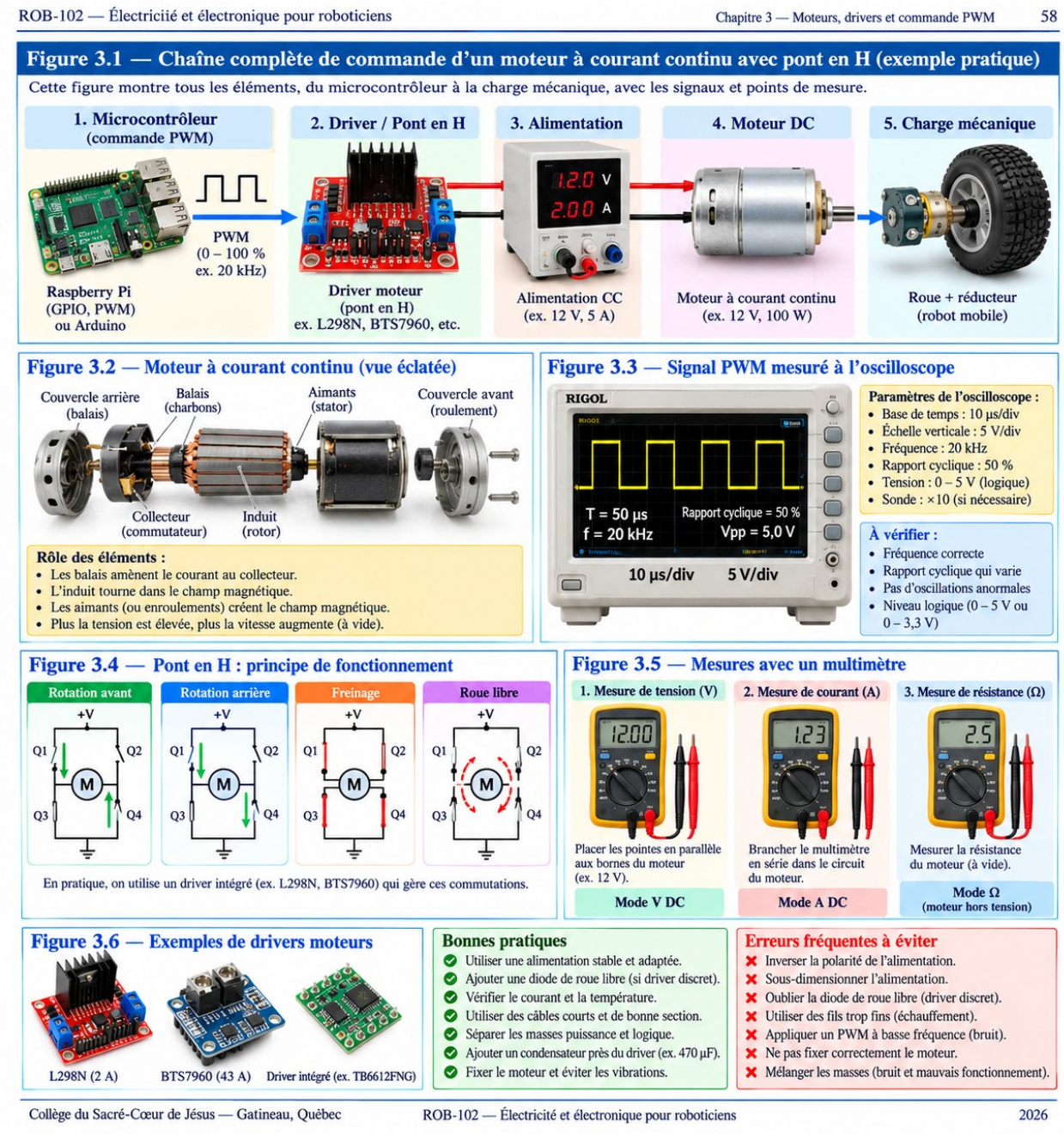


Planche d'étude à distance : moteur DC, driver/pont en H, PWM, oscilloscope, multimètre, mesures et erreurs fréquentes.

APPROFONDISSEMENT — DIMENSIONNEMENT D’UN ENTRAÎNEMENT

1. Du couple à la force de traction

Pour une roue de rayon r, la force tangentielle idéale vaut $F=\tau/r$. Avec un couple de sortie de 3 N·m et $r=0{,}10$ m, $F\approx 30$ N par roue avant pertes et limites d’adhérence.

2. Réducteur

Un réducteur de rapport N réduit la vitesse et augmente idéalement le couple de sortie approximativement selon $\tau_{sortie}\approx \eta N \tau_{moteur}$, où η représente le rendement.

3. Courant et couple

Dans une plage adaptée, $\tau \approx K_t I$. Le courant est donc une mesure très utile pour détecter surcharge, blocage ou augmentation de friction.

4. Retour électromoteur

Lorsque la vitesse augmente, la force contre-électromotrice augmente. Un modèle simplifié est $V=RI+K_e\omega$. Au démarrage $\omega\approx 0$, ce qui explique le courant élevé.

5. Dimensionnement du driver

Le driver doit supporter la tension du bus, le courant continu réel, les pointes transitoires et la dissipation thermique. Le courant à vide du moteur ne suffit jamais pour le dimensionnement.

Exemple numérique complet

Robot de 20 kg, deux roues motrices, rayon 0,10 m. Pour obtenir une accélération de 0,5 m/s² sur sol horizontal, la force inertielle minimale vaut $F=ma=10$ N, soit environ 5 N par roue si le partage est idéal. Le couple minimal correspondant vaut $\tau=Fr=5\times 0{,}10=0{,}5$ N·m par roue, avant

résistance au roulement, pente, pertes et marge. Avec un réducteur de rendement 80 %, le moteur et le rapport doivent être choisis pour fournir davantage que cette valeur.

Leçon 3 — Moteurs, drivers, PWM et pont en H

Objectifs

- Comprendre le mécanisme physique et électrique.
- Calculer les grandeurs avant de mesurer.
- Diagnostiquer par preuve et documenter le résultat.

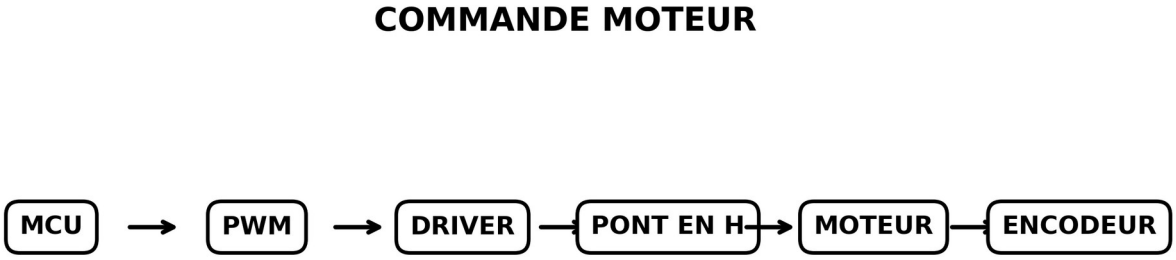


Planche ROB-102.3 — Grande lisibilité : repérer composants, entrées/sorties, unités et flux.

Théorie fondamentale

Le couple DC est approximativement lié au courant. Le pont en H inverse la polarité; le PWM module l’énergie appliquée.

Exemple entièrement résolu

Sous 12 V avec duty 50 %, la moyenne idéale simplifiée est ≈6 V; un courant de démarrage de 8 A interdit un driver 3 A.

Méthode de diagnostic

- Mesurer l’alimentation au point de charge.
- Comparer courant mesuré et courant attendu.
- Vérifier signal de commande, fréquence et amplitude.
- Vérifier charge, câblage, température et chute de tension.
- Modifier une seule hypothèse à la fois puis vérifier.

Laboratoire à distance

Simuler sens A/B, arrêt et PWM 25/50/75 %.

Autoévaluation corrigée

Q1. Quelle grandeur dois-je calculer ou mesurer en premier ?

Corrigé : L’alimentation pertinente et la grandeur directement liée au symptôme.

Q2. Pourquoi mesurer avant de remplacer ?

Corrigé : Pour distinguer la cause racine d’un symptôme secondaire.

Q3. Que doit contenir le rapport ?

Corrigé : Attendu, mesuré, tolérance, conclusion et prochaine étape.

Storyboard du film pédagogique

Montrer le composant réel ou sa planche XL; afficher les bornes; animer courant et signal; résoudre le calcul; afficher multimètre/oscilloscope

simulé; injecter une panne; laisser l’étudiant diagnostiquer; révéler la preuve.

FICHE DE LABORATOIRE — INSTRUMENTATION

Oscilloscope; MOSFET didactique; diode; petite charge inductive; résistance de grille.

PROTOCOLE DE MESURE

1. Définir la valeur attendue et son unité avant de connecter l'instrument.

2. Identifier le point de référence/masse et vérifier le calibre de l'instrument.

3. Effectuer la mesure sans modifier simultanément plusieurs variables.

4. Consigner valeur, timestamp, conditions, tolérance et conclusion.

5. Si le résultat est incohérent, revenir à l'alimentation puis progresser vers la charge.

ERREURS FRÉQUENTES À ÉVITER

- Confondre mesure de tension en parallèle et mesure de courant en série.
- Oublier que l'oscilloscope et le circuit partagent souvent une référence de masse selon le matériel utilisé.
- Conclure qu'un composant est défectueux sans avoir vérifié son alimentation et sa commande.
- Comparer deux mesures prises dans des conditions de charge différentes.
- Ignorer l'échauffement, la chute de tension des câbles ou la saturation d'un driver.

Leçon 4 — MOSFET, diodes, relais et commutation

Objectifs

- Comprendre le mécanisme physique et électrique.
- Calculer les grandeurs avant de mesurer.
- Diagnostiquer par preuve et documenter le résultat.

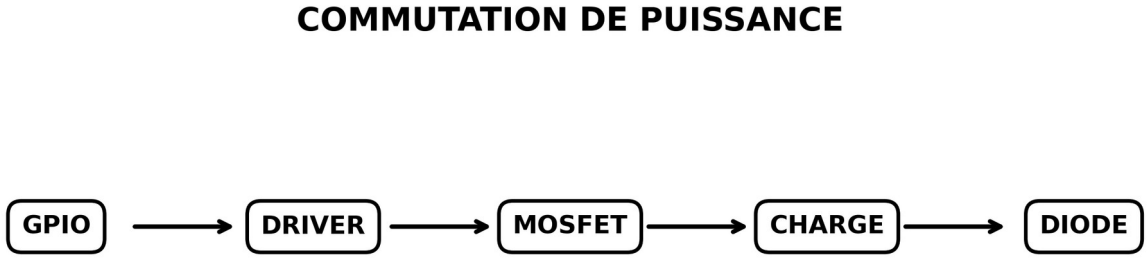


Planche ROB-102.4 — Grande lisibilité : repérer composants, entrées/sorties, unités et flux.

Théorie fondamentale

Un MOSFET doit être dimensionné en tension, courant, Rds(on), commutation et thermique. Une charge inductive exige une stratégie de suppression de surtension.

Exemple entièrement résolu

À 10 A et Rds(on)=0,020 Ω, $P \approx I^2R = 2$ W.

Méthode de diagnostic

- Mesurer l’alimentation au point de charge.
- Comparer courant mesuré et courant attendu.
- Vérifier signal de commande, fréquence et amplitude.
- Vérifier charge, câblage, température et chute de tension.

- Modifier une seule hypothèse à la fois puis vérifier.

Laboratoire à distance

Simuler une bobine avec/sans diode de roue libre et comparer la coupure.

Autoévaluation corrigée

Q1. Quelle grandeur dois-je calculer ou mesurer en premier ?

Corrigé : L'alimentation pertinente et la grandeur directement liée au symptôme.

Q2. Pourquoi mesurer avant de remplacer ?

Corrigé : Pour distinguer la cause racine d'un symptôme secondaire.

Q3. Que doit contenir le rapport ?

Corrigé : Attendu, mesuré, tolérance, conclusion et prochaine étape.

Storyboard du film pédagogique

Montrer le composant réel ou sa planche XL; afficher les bornes; animer courant et signal; résoudre le calcul; afficher multimètre/oscilloscope simulé; injecter une panne; laisser l'étudiant diagnostiquer; révéler la preuve.

FICHE DE LABORATOIRE — INSTRUMENTATION

Oscilloscope; résistances; condensateurs; générateur de signal; sondes courtes.

PROTOCOLE DE MESURE

1. Définir la valeur attendue et son unité avant de connecter l'instrument.

2. Identifier le point de référence/masse et vérifier le calibre de l'instrument.

3. Effectuer la mesure sans modifier simultanément plusieurs variables.

4. Consigner valeur, timestamp, conditions, tolérance et conclusion.

5. Si le résultat est incohérent, revenir à l'alimentation puis progresser vers la charge.

ERREURS FRÉQUENTES À ÉVITER

- Confondre mesure de tension en parallèle et mesure de courant en série.
- Oublier que l'oscilloscope et le circuit partagent souvent une référence de masse selon le matériel utilisé.
- Conclure qu'un composant est défectueux sans avoir vérifié son alimentation et sa commande.
- Comparer deux mesures prises dans des conditions de charge différentes.
- Ignorer l'échauffement, la chute de tension des câbles ou la saturation d'un driver.

Leçon 5 — Condensateurs, inductances, filtrage et CEM

Objectifs

- Comprendre le mécanisme physique et électrique.
- Calculer les grandeurs avant de mesurer.
- Diagnostiquer par preuve et documenter le résultat.

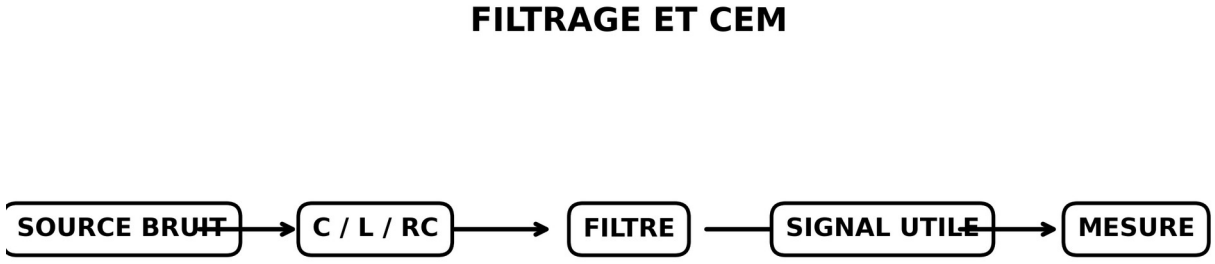


Planche ROB-102.5 — Grande lisibilité : repérer composants, entrées/sorties, unités et flux.

Théorie fondamentale

C s’oppose aux variations rapides de tension; L aux variations rapides de courant. Pour RC passe-bas : $f_c = 1/(2\pi RC)$.

Exemple entièrement résolu

$R = 1\ k\Omega$, $C = 1\ \mu F \rightarrow f_c \approx 159\ Hz$.

Méthode de diagnostic

- Mesurer l’alimentation au point de charge.
- Comparer courant mesuré et courant attendu.
- Vérifier signal de commande, fréquence et amplitude.
- Vérifier charge, câblage, température et chute de tension.
- Modifier une seule hypothèse à la fois puis vérifier.

Laboratoire à distance

Comparer un signal bruité avant/après filtre et mesurer le retard.

Autoévaluation corrigée

Q1. Quelle grandeur dois-je calculer ou mesurer en premier ?

Corrigé : L’alimentation pertinente et la grandeur directement liée au symptôme.

Q2. Pourquoi mesurer avant de remplacer ?

Corrigé : Pour distinguer la cause racine d’un symptôme secondaire.

Q3. Que doit contenir le rapport ?

Corrigé : Attendu, mesuré, tolérance, conclusion et prochaine étape.

Storyboard du film pédagogique

Montrer le composant réel ou sa planche XL; afficher les bornes; animer courant et signal; résoudre le calcul; afficher multimètre/oscilloscope simulé; injecter une panne; laisser l’étudiant diagnostiquer; révéler la preuve.

FICHE DE LABORATOIRE — INSTRUMENTATION

Analyseur logique ou oscilloscope; interface CAN/UART/I²C/SPI; résistances de terminaison.

PROTOCOLE DE MESURE

1. Définir la valeur attendue et son unité avant de connecter l'instrument.

2. Identifier le point de référence/masse et vérifier le calibre de l'instrument.

3. Effectuer la mesure sans modifier simultanément plusieurs variables.

4. Consigner valeur, timestamp, conditions, tolérance et conclusion.

5. Si le résultat est incohérent, revenir à l'alimentation puis progresser vers la charge.

ERREURS FRÉQUENTES À ÉVITER

- Confondre mesure de tension en parallèle et mesure de courant en série.
- Oublier que l'oscilloscope et le circuit partagent souvent une référence de masse selon le matériel utilisé.
- Conclure qu'un composant est défectueux sans avoir vérifié son alimentation et sa commande.
- Comparer deux mesures prises dans des conditions de charge différentes.
- Ignorer l'échauffement, la chute de tension des câbles ou la saturation d'un driver.

Leçon 6 — UART, I²C, SPI et CAN

Objectifs

- Comprendre le mécanisme physique et électrique.
- Calculer les grandeurs avant de mesurer.

- Diagnostiquer par preuve et documenter le résultat.

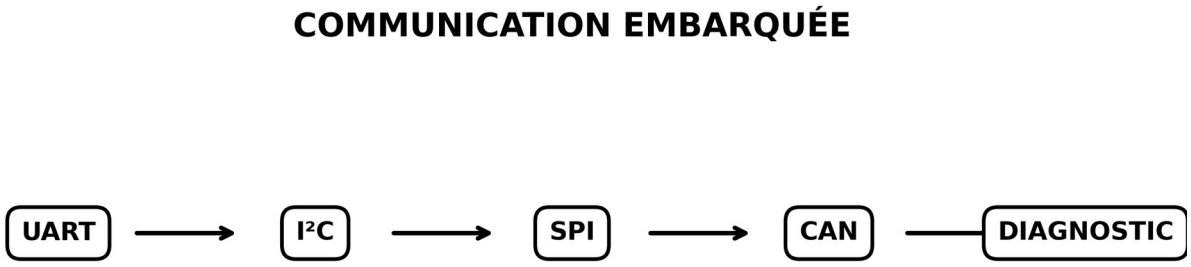


Planche ROB-102.6 — Grande lisibilité : repérer composants, entrées/sorties, unités et flux.

Théorie fondamentale

UART: TX/RX; I²C: SDA/SCL; SPI: horloge+données; CAN: bus différentiel multi-nœuds robuste si correctement conçu.

Exemple entièrement résolu

Deux terminaisons CAN de 120 Ω en parallèle donnent environ 60 Ω entre CAN_H et CAN_L hors tension.

Méthode de diagnostic

- Mesurer l’alimentation au point de charge.
- Comparer courant mesuré et courant attendu.
- Vérifier signal de commande, fréquence et amplitude.
- Vérifier charge, câblage, température et chute de tension.
- Modifier une seule hypothèse à la fois puis vérifier.

Laboratoire à distance

Dessiner les quatre bus et diagnostiquer une panne de câblage/configuration.

Autoévaluation corrigée

Q1. Quelle grandeur dois-je calculer ou mesurer en premier ?

Corrigé : L’alimentation pertinente et la grandeur directement liée au symptôme.

Q2. Pourquoi mesurer avant de remplacer ?

Corrigé : Pour distinguer la cause racine d’un symptôme secondaire.

Q3. Que doit contenir le rapport ?

Corrigé : Attendu, mesuré, tolérance, conclusion et prochaine étape.

Storyboard du film pédagogique

Montrer le composant réel ou sa planche XL; afficher les bornes; animer courant et signal; résoudre le calcul; afficher multimètre/oscilloscope simulé; injecter une panne; laisser l’étudiant diagnostiquer; révéler la preuve.

FICHE DE LABORATOIRE — INSTRUMENTATION

Carte MCU; multimètre; oscilloscope/analyseur logique; potentiomètre; bouton.

PROTOCOLE DE MESURE

1. Définir la valeur attendue et son unité avant de connecter l'instrument.

2. Identifier le point de référence/masse et vérifier le calibre de l'instrument.

3. Effectuer la mesure sans modifier simultanément plusieurs variables.

4. Consigner valeur, timestamp, conditions, tolérance et conclusion.

5. Si le résultat est incohérent, revenir à l'alimentation puis progresser vers la charge.

ERREURS FRÉQUENTES À ÉVITER

- Confondre mesure de tension en parallèle et mesure de courant en série.
- Oublier que l'oscilloscope et le circuit partagent souvent une référence de masse selon le matériel utilisé.
- Conclure qu'un composant est défectueux sans avoir vérifié son alimentation et sa commande.
- Comparer deux mesures prises dans des conditions de charge différentes.
- Ignorer l'échauffement, la chute de tension des câbles ou la saturation d'un driver.

Leçon 7 — Microcontrôleurs, GPIO, ADC, timers et interruptions

Objectifs

- Comprendre le mécanisme physique et électrique.
- Calculer les grandeurs avant de mesurer.
- Diagnostiquer par preuve et documenter le résultat.

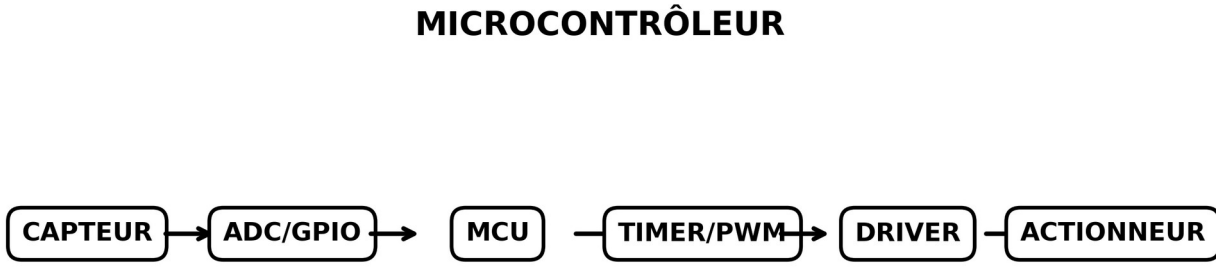


Planche ROB-102.7 — Grande lisibilité : repérer composants, entrées/sorties, unités et flux.

Théorie fondamentale

GPIO lit/commande; ADC numérise; timer génère/mesure le temps; interruption capture un événement sans polling continu.

Exemple entièrement résolu

ADC 12 bits, Vref=3,3 V, code 2048 → ≈1,65 V.

Méthode de diagnostic

- Mesurer l’alimentation au point de charge.
- Comparer courant mesuré et courant attendu.
- Vérifier signal de commande, fréquence et amplitude.
- Vérifier charge, câblage, température et chute de tension.
- Modifier une seule hypothèse à la fois puis vérifier.

Laboratoire à distance

Lire un potentiomètre simulé par ADC et commander un PWM; ajouter une interruption de bouton.

Autoévaluation corrigée

Q1. Quelle grandeur dois-je calculer ou mesurer en premier ?

Corrigé : L’alimentation pertinente et la grandeur directement liée au symptôme.

Q2. Pourquoi mesurer avant de remplacer ?

Corrigé : Pour distinguer la cause racine d’un symptôme secondaire.

Q3. Que doit contenir le rapport ?

Corrigé : Attendu, mesuré, tolérance, conclusion et prochaine étape.

Storyboard du film pédagogique

Montrer le composant réel ou sa planche XL; afficher les bornes; animer courant et signal; résoudre le calcul; afficher multimètre/oscilloscope simulé; injecter une panne; laisser l’étudiant diagnostiquer; révéler la preuve.

FICHE DE LABORATOIRE — INSTRUMENTATION

Schéma et PCB pédagogique; multimètre; loupe; documentation de connecteurs.

PROTOCOLE DE MESURE

1. Définir la valeur attendue et son unité avant de connecter l'instrument.

2. Identifier le point de référence/masse et vérifier le calibre de l'instrument.

3. Effectuer la mesure sans modifier simultanément plusieurs variables.

4. Consigner valeur, timestamp, conditions, tolérance et conclusion.

5. Si le résultat est incohérent, revenir à l'alimentation puis progresser vers la charge.

ERREURS FRÉQUENTES À ÉVITER

- Confondre mesure de tension en parallèle et mesure de courant en série.
- Oublier que l'oscilloscope et le circuit partagent souvent une référence de masse selon le matériel utilisé.
- Conclure qu'un composant est défectueux sans avoir vérifié son alimentation et sa commande.
- Comparer deux mesures prises dans des conditions de charge différentes.
- Ignorer l'échauffement, la chute de tension des câbles ou la saturation d'un driver.

Leçon 8 — Schémas, PCB et intégration électronique

Objectifs

- Comprendre le mécanisme physique et électrique.
- Calculer les grandeurs avant de mesurer.
- Diagnostiquer par preuve et documenter le résultat.

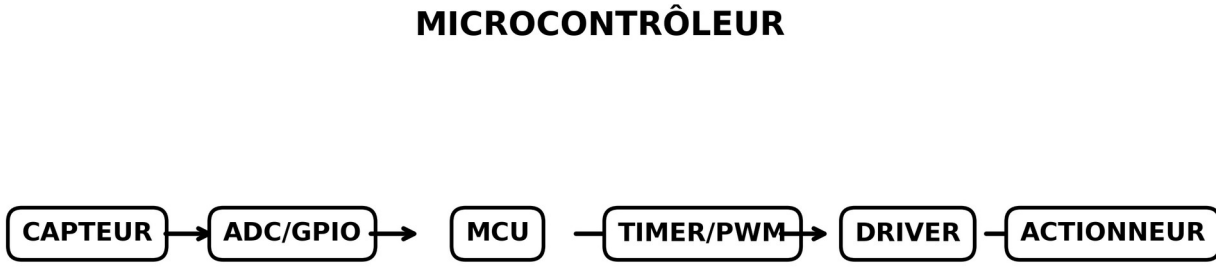


Planche ROB-102.8 — Grande lisibilité : repérer composants, entrées/sorties, unités et flux.

Théorie fondamentale

Le schéma décrit la logique; le PCB matérialise puissance, masses, signaux, thermique, connecteurs et testabilité.

Exemple entièrement résolu

Un signal analogique faible voisin d’un moteur PWM peut être perturbé par le routage et les retours de courant.

Méthode de diagnostic

- Mesurer l’alimentation au point de charge.
- Comparer courant mesuré et courant attendu.
- Vérifier signal de commande, fréquence et amplitude.
- Vérifier charge, câblage, température et chute de tension.

- Modifier une seule hypothèse à la fois puis vérifier.

Laboratoire à distance

Proposer l'implantation MCU + driver + capteur et justifier séparation et points de test.

Autoévaluation corrigée

Q1. Quelle grandeur dois-je calculer ou mesurer en premier ?

Corrigé : L'alimentation pertinente et la grandeur directement liée au symptôme.

Q2. Pourquoi mesurer avant de remplacer ?

Corrigé : Pour distinguer la cause racine d'un symptôme secondaire.

Q3. Que doit contenir le rapport ?

Corrigé : Attendu, mesuré, tolérance, conclusion et prochaine étape.

Storyboard du film pédagogique

Montrer le composant réel ou sa planche XL; afficher les bornes; animer courant et signal; résoudre le calcul; afficher multimètre/oscilloscope simulé; injecter une panne; laisser l'étudiant diagnostiquer; révéler la preuve.

FICHE DE LABORATOIRE — INSTRUMENTATION

Multimètre; oscilloscope; journal de données; mesures courant/température/vibration simulées.

PROTOCOLE DE MESURE

1. Définir la valeur attendue et son unité avant de connecter l'instrument.

2. Identifier le point de référence/masse et vérifier le calibre de l'instrument.

3. Effectuer la mesure sans modifier simultanément plusieurs variables.

4. Consigner valeur, timestamp, conditions, tolérance et conclusion.

5. Si le résultat est incohérent, revenir à l'alimentation puis progresser vers la charge.

ERREURS FRÉQUENTES À ÉVITER

- Confondre mesure de tension en parallèle et mesure de courant en série.
- Oublier que l'oscilloscope et le circuit partagent souvent une référence de masse selon le matériel utilisé.
- Conclure qu'un composant est défectueux sans avoir vérifié son alimentation et sa commande.
- Comparer deux mesures prises dans des conditions de charge différentes.
- Ignorer l'échauffement, la chute de tension des câbles ou la saturation d'un driver.

Leçon 9 — Diagnostic, fiabilité et maintenance prédictive

Objectifs

- Comprendre le mécanisme physique et électrique.
- Calculer les grandeurs avant de mesurer.
- Diagnostiquer par preuve et documenter le résultat.

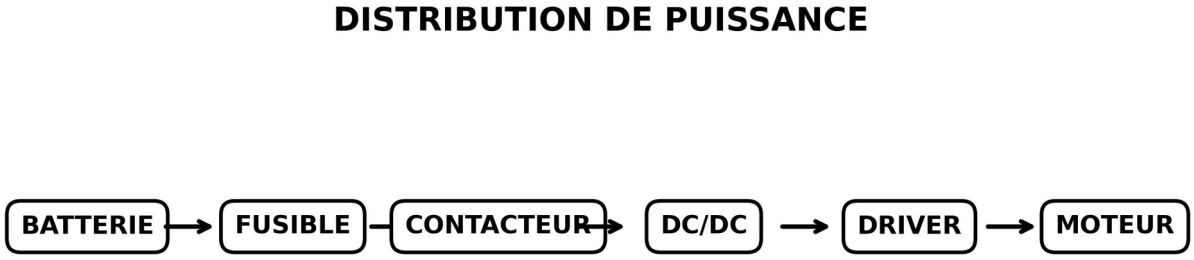


Planche ROB-102.9 — Grande lisibilité : repérer composants, entrées/sorties, unités et flux.

Théorie fondamentale

Diagnostiquer par preuve: reproduire → vérifier alimentation → vérifier signal → vérifier commande → vérifier charge → cause racine.

Exemple entièrement résolu

Courant moteur passant de 3,0 A à 4,2 A à charge comparable = hausse de 40 %, à investiguer avec température/vibration.

Méthode de diagnostic

- Mesurer l’alimentation au point de charge.
- Comparer courant mesuré et courant attendu.
- Vérifier signal de commande, fréquence et amplitude.
- Vérifier charge, câblage, température et chute de tension.

- Modifier une seule hypothèse à la fois puis vérifier.

Laboratoire à distance

Construire une matrice symptôme/hypothèse/mesure attendue/mesure obtenue/conclusion.

Autoévaluation corrigée

Q1. Quelle grandeur dois-je calculer ou mesurer en premier ?

Corrigé : L'alimentation pertinente et la grandeur directement liée au symptôme.

Q2. Pourquoi mesurer avant de remplacer ?

Corrigé : Pour distinguer la cause racine d'un symptôme secondaire.

Q3. Que doit contenir le rapport ?

Corrigé : Attendu, mesuré, tolérance, conclusion et prochaine étape.

Storyboard du film pédagogique

Montrer le composant réel ou sa planche XL; afficher les bornes; animer courant et signal; résoudre le calcul; afficher multimètre/oscilloscope simulé; injecter une panne; laisser l'étudiant diagnostiquer; révéler la preuve.

FICHE DE LABORATOIRE — INSTRUMENTATION

Banc HIL ou simulation; MCU/contrôleur; interface de communication; alimentation limitée.

PROTOCOLE DE MESURE

1. Définir la valeur attendue et son unité avant de connecter l'instrument.

2. Identifier le point de référence/masse et vérifier le calibre de l'instrument.

3. Effectuer la mesure sans modifier simultanément plusieurs variables.

4. Consigner valeur, timestamp, conditions, tolérance et conclusion.

5. Si le résultat est incohérent, revenir à l'alimentation puis progresser vers la charge.

ERREURS FRÉQUENTES À ÉVITER

- Confondre mesure de tension en parallèle et mesure de courant en série.
- Oublier que l'oscilloscope et le circuit partagent souvent une référence de masse selon le matériel utilisé.
- Conclure qu'un composant est défectueux sans avoir vérifié son alimentation et sa commande.
- Comparer deux mesures prises dans des conditions de charge différentes.
- Ignorer l'échauffement, la chute de tension des câbles ou la saturation d'un driver.

Leçon 10 — Projet intégrateur électronique et HIL

Objectifs

- Comprendre le mécanisme physique et électrique.
- Calculer les grandeurs avant de mesurer.
- Diagnostiquer par preuve et documenter le résultat.

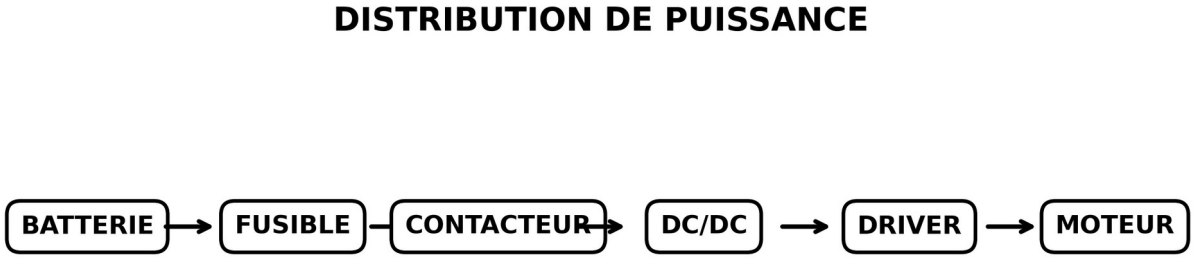


Planche ROB-102.10 — Grande lisibilité : repérer composants, entrées/sorties, unités et flux.

Théorie fondamentale

Valider progressivement: calcul → simulation → banc → intégration → SIL → HIL → robot réel contrôlé.

Exemple entièrement résolu

Chaîne type: 24 V → fusible → DC/DC 5 V MCU → CAN → driver 24 V → moteur. Perte CAN → état sûr défini.

Méthode de diagnostic

- Mesurer l’alimentation au point de charge.
- Comparer courant mesuré et courant attendu.
- Vérifier signal de commande, fréquence et amplitude.
- Vérifier charge, câblage, température et chute de tension.

- Modifier une seule hypothèse à la fois puis vérifier.

Laboratoire à distance

Concevoir le sous-système complet et injecter sous-tension, perte capteur, surcourant simulé et perte communication.

Autoévaluation corrigée

Q1. Quelle grandeur dois-je calculer ou mesurer en premier ?

Corrigé : L'alimentation pertinente et la grandeur directement liée au symptôme.

Q2. Pourquoi mesurer avant de remplacer ?

Corrigé : Pour distinguer la cause racine d'un symptôme secondaire.

Q3. Que doit contenir le rapport ?

Corrigé : Attendu, mesuré, tolérance, conclusion et prochaine étape.

Storyboard du film pédagogique

Montrer le composant réel ou sa planche XL; afficher les bornes; animer courant et signal; résoudre le calcul; afficher multimètre/oscilloscope simulé; injecter une panne; laisser l'étudiant diagnostiquer; révéler la preuve.

Projet final ROB-102

Concevoir un sous-système robotique comprenant alimentation protégée, conversion DC/DC, MCU, communication, driver, moteur et retour capteur. Fournir budget de puissance, schéma fonctionnel, interfaces, protections, diagnostic, plan de test, résultats et analyse des fautes.

Grille de validation

- Calculs cohérents et unités correctes
- Protection et distribution justifiées
- Mesures/points de test définis
- Pannes injectées et détectées
- État sûr documenté
- Résultats reproductibles
- Rapport technique et storyboard audiovisuel

Glossaire essentiel

ADC — convertisseur analogique-numérique • BMS — Battery Management System • CEM/EMI — compatibilité/perturbation électromagnétique • DC/DC — convertisseur continu-continu • GPIO — entrée/sortie numérique • HIL — Hardware-in-the-Loop • MCU — microcontrôleur • MOSFET — transistor à effet de champ de puissance • PWM — modulation de largeur d’impulsion • SIL — Software-in-the-Loop.