

REGULATION ET ASSERVISSEMENT

COURS

[TSSI cours asservissement.pdf](#)

TP - Régulation de vitesse d'un moteur à courant continu avec PID

Objectifs du TP

- Mesurer la vitesse d'un moteur CC avec un codeur incrémental.
- Comprendre la différence entre boucle ouverte et boucle fermée.
- Mettre en œuvre progressivement un correcteur P, puis PI, puis PID.
- Observer l'erreur statique, le dépassement et la sensibilité au bruit.

Travail demandé

- Décrire la réponse du moteur en boucle ouverte.
- Tracer ou décrire la courbe vitesse / consigne pour P.
- Expliquer pourquoi un écart statique persiste.
- Montrer comment I supprime cet écart.
- Comparer les dépassements pour P, PI et PID.
- Conclure sur l'intérêt des trois termes du PID.

1) Commande du moteur en boucle ouverte

Manipulations : - Envoyer une commande PWM fixe (ex : 50 %, puis 80 %).

- Observer la vitesse indiquée par le programme.

- Bloquer légèrement l'axe du moteur avec le doigt (sans forcer).

Observations attendues : - La vitesse chute immédiatement lorsque l'axe est freiné.

- Le moteur ne corrige pas cette chute : c'est normal en boucle ouverte.

- La vitesse dépend de la charge, des frottements et de la tension.

Conclusion : La boucle ouverte ne permet pas de maintenir une vitesse constante.

2) Mise en place d'un correcteur P (Proportionnel)

Manipulations : - Activer le correcteur proportionnel : $u = K_p \cdot e$

- Fixer une consigne (ex : 200 ticks/s).

- Freiner légèrement le moteur avec le doigt.

- Augmenter progressivement Kp : 0.2 → 0.5 → 1.0 → 2.0.

Observations attendues : - Le moteur augmente la PWM pour compenser la perturbation.

- La vitesse remonte partiellement.

- Il reste un écart statique : $\text{vitesse réelle} < \text{consigne}$

- Si Kp devient trop grand : oscillations, vibrations, instabilité.

Conclusion : Le correcteur P réduit l'erreur, mais ne la supprime pas.

3) Mise en place du correcteur I (Intégral)

Manipulations : - Ajouter le terme intégral : $u = K_p e; +; K_I \int e(t), dt$ - Débuter avec Ki = 0.05, puis 0.1 max. - Freiner l'axe puis relâcher.

Observations attendues : - L'erreur statique disparaît. - La vitesse atteint précisément la consigne. - Si Ki trop fort : dépassement, oscillations lentes, instabilité.

Conclusion : Le correcteur I supprime l'erreur statique, mais ne doit jamais être trop fort.

4) Mise en place du correcteur D (Dérivé)

Manipulations : - Ajouter le terme dérivé : $u = K_p e; +; K_I \int e, dt; +; K_D \frac{de}{dt}$ - Tester avec Kd = 0.01, puis 0.05. - Freiner l'axe pour observer la réaction.

Observations attendues : - Le système est mieux amorti. - Le dépassement diminue. - La stabilité augmente.

Attention : - Si Kd trop élevé → bruit, vibrations, instabilité.

Conclusion : Le terme D stabilise le système, mais n'améliore pas la précision.

Synthèse des rôles P / I / D

Correcteur	Rôle principal	Risques si trop fort
P	réduit l'erreur	oscillations
I	supprime l'erreur statique	dépassement, instabilité
D	amortit, stabilise	amplification du bruit

Code Arduino du TP

```
// === TP : PID pour régulation de VITESSE d'un moteur CC === // Mesure vitesse = codeur incrémental sur interruption // Consigne reçue par le Moniteur Série (en tr/min ou en ticks/s)

// --- Pont en H ---
const int M_AV = 3; // PWM forward
const int M_AR = 6; // PWM reverse

// --- Codeur incrémental ---
const int canalA = 2; // interruption 0
const int canalB = 11;

volatile long ticks = 0; // compteur modifié par ISR
```

```
// === PID ===
float consigne = 0; // vitesse ciblée (ex : en ticks/s)
float kp = 0.8; // gains PID : à régler en TP
float ki = 0.1;
float kd = 0.05;

float erreur, erreurPrec = 0;
float integral = 0;

// === Mesure période ===
unsigned long lastMeasure = 0;
const unsigned long period = 100; // calcul vitesse toutes les 100 ms

// === Prototypes ===
void ISR_codeur();
void commandeMoteur(float pwm);
float lireConsigne();

void setup() {
Serial.begin(9600);

pinMode(M_AV, OUTPUT);
pinMode(M_AR, OUTPUT);

pinMode(canalB, INPUT);

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(canalA), ISR_codeur, RISING);

Serial.println("== TP : Regulation PID de vitesse ==");
Serial.println("Entrez une consigne en ticks/s (ex : 200):");
}

// ===== BOUCLE PRINCIPALE =====
void loop() {
// --- Lecture consigne si disponible ---
if (Serial.available() > 0) {
consigne = lireConsigne();
Serial.print("Nouvelle consigne = ");
Serial.println(consigne);
}

// --- Boucle PID toutes les 100 ms ---
unsigned long now = millis();
if (now - lastMeasure >= period) {
lastMeasure = now;

long ticksMesures = ticks; // copie atomique
ticks = 0; // RAZ pour prochaine fenêtre

float vitesse = ticksMesures * (1000.0 / period); // en ticks/s
}
```

Last update: 2025/11/29 ssi_elec_regulation_asservissement https://mistert.freeboxos.fr/dokuwiki/doku.php?id=ssi_elec_regulation_asservissement&rev=1764424874
14:01

```
// ===== PID =====
erreur = consigne - vitesse;
integral += erreur * (period / 1000.0);
float deriv = (erreur - erreurPrec) / (period / 1000.0);
erreurPrec = erreur;

float commande = kp * erreur + ki * integral + kd * deriv;

// Limiter entre -255 et 255
if (commande > 255) commande = 255;
if (commande < -255) commande = -255;

commandeMoteur(commande);

// --- Affichage TP ---
Serial.print("Consigne=");
Serial.print(consigne);
Serial.print(" | Vitesse=");
Serial.print(vitesse);
Serial.print(" | PWM=");
Serial.println(commande);

}

}

// ===== INTERRUPTIONS CODEUR =====
void ISR_codeur() {
if (digitalRead(canalB))
ticks++;
else
ticks--;
}

// ===== COMMANDE MOTEUR =====
void commandeMoteur(float pwm) {
if (pwm >= 0) {
digitalWrite(M_AR, LOW);
analogWrite(M_AV, pwm);
} else {
digitalWrite(M_AV, LOW);
analogWrite(M_AR, -pwm);
}
}

// ===== LECTURE CONSIGNE =====
float lireConsigne() {
String txt = Serial.readStringUntil('\n');
txt.trim();
```

```
return txt.toFloat();
}
```

Si tu veux, je t'ajoute :

□ une version imprimable PDF □ un schéma fonctionnel de la boucle PID □ une activité complémentaire “réglage Ziegler-Nichols” □ un graphe ASCII montrant

Vous avez dit : les listes en - marchent pas garder * ChatGPT a dit : Réflexion durant 4 secondes

Voici la version corrigée avec les listes en * (et toujours gras + balises).

===== REGULATION ET ASSERVISSEMENT =====

===== COURS =====

https://mistert.freeboxos.fr/cours/_herbin/TSI_2022/regulation_asservissement/TSSIcoursasservissement.pdf

===== TP – Régulation de vitesse d'un moteur à courant continu avec PID

=====

==== Objectifs du TP ====

Mesurer la vitesse d'un moteur CC avec un codeur incrémental.

Comprendre la différence entre boucle ouverte et boucle fermée.

Mettre en œuvre progressivement un correcteur P, puis PI, puis PID.

Observer l'erreur statique, le dépassement et la sensibilité au bruit.

==== Travail demandé ====

Décrire la réponse du moteur en boucle ouverte.

Tracer ou décrire la courbe vitesse / consigne pour P.

Expliquer pourquoi un écart statique persiste.

Montrer comment I supprime cet écart.

Comparer les dépassements pour P, PI et PID.

Conclure sur l'intérêt des trois termes du PID.

==== 1) Commande du moteur en boucle ouverte ====

Manipulations :

Envoyer une commande PWM fixe (ex : 50

Observer la vitesse indiquée par le programme.

Bloquer légèrement l'axe du moteur avec le doigt (sans forcer).

Observations attendues :

La vitesse chute immédiatement lorsque l'axe est freiné.

Le moteur ne corrige pas cette chute : c'est normal en boucle ouverte.

La vitesse dépend de la charge, des frottements et de la tension.

Conclusion : La boucle ouverte ne permet pas de maintenir une vitesse constante.

==== 2) Mise en place d'un correcteur P (Proportionnel) ====

Manipulations :

Activer le correcteur proportionnel : $u = K_p \cdot e$

Fixer une consigne (ex : 200 ticks/s).

Freiner légèrement le moteur avec le doigt.

Augmenter progressivement K_p : 0.2 → 0.5 → 1.0 → 2.0.

Observations attendues :

Le moteur augmente la PWM pour compenser la perturbation.

La vitesse remonte partiellement.

Il reste un écart statique : vitesse réelle < consigne

Si K_p devient trop grand : oscillations, vibrations, instabilité.

Conclusion : Le correcteur P réduit l'erreur, mais ne la supprime pas.

3) Mise en place du correcteur I (Integral)

Manipulations :

Ajouter le terme intégral : $u = K_p e + K_I \int e(t), dt$

Débuter avec K_I = 0.05, puis 0.1 max.

Freiner l'axe puis relâcher.

Observations attendues :

L'erreur statique disparaît.

La vitesse atteint précisément la consigne.

Si K_I est trop fort : dépassement, oscillations lentes, instabilité.

Conclusion : Le correcteur I supprime l'erreur statique, mais ne doit jamais être trop fort.

4) Mise en place du correcteur D (Dérivé)

Manipulations :

Ajouter le terme dérivé : $u = K_p e + K_I \int e, dt + K_D \frac{de}{dt}$

Tester avec K_D = 0.01, puis 0.05.

Freiner l'axe pour observer la réaction.

Observations attendues :

Le système est mieux amorti.

Le dépassement diminue.

La stabilité augmente.

Attention :

Si K_D est trop élevé → bruit, vibrations, instabilité.

Conclusion : Le terme D stabilise le système, mais n'améliore pas la précision.

Synthèse des rôles P / I / D

Correcteur	Rôle principal	Risques si trop fort
P	réduit l'erreur	oscillations
I	supprime l'erreur statique	dépassement, instabilité
D	amortit, stabilise	amplification du bruit

Code Arduino du TP

```
// === TP : PID pour régulation de VITESSE d'un moteur CC ===
// Mesure vitesse = codeur incrémental sur interruption
// Consigne reçue par le Moniteur Série (en tr/min ou en ticks/s)

// --- Pont en H ---
const int M_AV = 3;    // PWM forward
const int M_AR = 6;    // PWM reverse

// --- Codeur incrémental ---
const int canalA = 2;  // interruption 0
const int canalB = 11;

volatile long ticks = 0; // compteur modifié par ISR

// === PID ===
float consigne = 0;      // vitesse ciblée (ex : en ticks/s)
float kp = 0.8;          // gains PID : à régler en TP
float ki = 0.1;
float kd = 0.05;

float erreur, erreurPrec = 0;
float integral = 0;

// === Mesure période ===
unsigned long lastMeasure = 0;
const unsigned long period = 100; // calcul vitesse toutes les 100 ms

// === Prototypes ===
void ISR_codeur();
```

```
void commandeMoteur(float pwm);
float lireConsigne();

void setup() {
    Serial.begin(9600);

    pinMode(M_AV, OUTPUT);
    pinMode(M_AR, OUTPUT);

    pinMode(canalB, INPUT);

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(canalA), ISR_codeur, RISING);

    Serial.println("== TP : Regulation PID de vitesse ==");
    Serial.println("Entrez une consigne en ticks/s (ex : 200):");
}

// ===== BOUCLE PRINCIPALE =====
void loop() {
    // --- Lecture consigne si disponible ---
    if (Serial.available() > 0) {
        consigne = lireConsigne();
        Serial.print("Nouvelle consigne = ");
        Serial.println(consigne);
    }

    // --- Boucle PID toutes les 100 ms ---
    unsigned long now = millis();
    if (now - lastMeasure >= period) {
        lastMeasure = now;

        long ticksMesures = ticks; // copie atomique
        ticks = 0;                // RAZ pour prochaine fenêtre

        float vitesse = ticksMesures * (1000.0 / period); // en ticks/s

        // ===== PID =====
        erreur = consigne - vitesse;
        integral += erreur * (period / 1000.0);
        float deriv = (erreur - erreurPrec) / (period / 1000.0);
        erreurPrec = erreur;

        float commande = kp * erreur + ki * integral + kd * deriv;

        // Limiter entre -255 et 255
        if (commande > 255) commande = 255;
        if (commande < -255) commande = -255;
```

```
commandeMoteur(commande);

// --- Affichage TP ---
Serial.print("Consigne=");
Serial.print(consigne);
Serial.print(" | Vitesse=");
Serial.print(vitesse);
Serial.print(" | PWM=");
Serial.println(commande);
}

}

// ====== INTERRUPTIONS CODEUR ======
void ISR_codeur() {
    if (digitalRead(canalB))
        ticks++;
    else
        ticks--;
}

// ====== COMMANDE MOTEUR ======
void commandeMoteur(float pwm) {
    if (pwm >= 0) {
        digitalWrite(M_AR, LOW);
        analogWrite(M_AV, pwm);
    } else {
        digitalWrite(M_AV, LOW);
        analogWrite(M_AR, -pwm);
    }
}

// ====== LECTURE CONSIGNE ======
float lireConsigne() {
    String txt = Serial.readStringUntil('\n');
    txt.trim();
    return txt.toFloat();
}
```

From:
<https://mistert.freeboxos.fr/dokuwiki/> - Wiki de Sébastien TACK

Permanent link:
https://mistert.freeboxos.fr/dokuwiki/doku.php?id=ssi_elec_regulation_asservissement&rev=1764424874

Last update: 2025/11/29 14:01

