

Fiche Bilan et Plan d'Action TIPE

GARNIER Théo

17 janvier 2026

1. DÉFINITION DU SYSTÈME

- **Type de robot** : Mobile Wheeled Inverted Pendulum (MWIP) / Robot pendulaire sur roues.
- **Spécificité du TIPE** : Structure "Maison" (Breadboard) → Répartition de masse atypique + Driver DBH-12V (30A).
- **Objectif** : Stabiliser le robot à la verticale ($\theta = 0$) tout en maîtrisant sa position (x).

2. BILAN TECHNIQUE (ACQUIS)

A. La Modélisation Mécanique

Nous avons structuré l'étude autour de deux niveaux de modélisation progressifs :

1. Modèle Simplifié (Masse Ponctuelle) :

- *Hypothèse* : On néglige l'inertie propre du châssis et des roues. Tout est concentré dans la batterie au sommet.
- *Analogie Physique* : On considère initialement le système comme un **pendule inversé à pivot fixe** (qui ne bouge pas longitudinalement). Cela permet de mettre en évidence l'instabilité fondamentale (pulsation propre $\omega_0 = \sqrt{g/l}$) avant d'introduire le couplage complexe avec les roues.
- *Utilité* : Écriture rapide des équations pour l'explication orale et dimensionnement grossier des moteurs.

2. Modèle Complet (Inertiel) :

- *Hypothèse* : Prise en compte des matrices d'inertie complètes ($J_{chassis}$ et J_{roues}).
- *Difficulté Identifiée* : L'obtention précise des moments d'inertie J est complexe sur une structure hétérogène (Breadboard, câbles). C'est une source d'incertitude majeure qui expliquera les écarts théorie/réalité lors de la validation.
- *Utilité* : Indispensable pour la simulation numérique fine et le calcul du LQR.

B. Progression de la Commande (Fil Rouge)

L'étude suit une progression logique pour aboutir à la solution optimale :

1. Approche Temporelle Empirique (PID) : On commence par une approche intuitive par essai-erreur :

- **P** : Correcteur proportionnel simple → Le robot oscille et diverge.
- **PD** : Ajout de la dérivée → Apporte de l'amortissement, stabilise l'angle mais dérive en position.
- **PID double boucle** : Ajout de l'intégrale et d'une boucle de position.

Limite : Le réglage des 4 à 6 gains est fastidieux car l'angle θ et la position x sont fortement couplés.

2. **Approche Robuste Non-Linéaire (Modes Glissants / SMC)** : Pour contrer les incertitudes (masse mal connue), on teste le SMC. *Avantage* : Très robuste, force le système à rester sur une surface de stabilité. *Inconvénient* : Phénomène de *chattering* (vibrations violentes) et saturation des moteurs.
3. **Tentative d'Hybridation (PID + SMC)** : *Note* : Il est possible de combiner les deux (ex : PID dans une "couche limite" autour de la consigne pour la douceur, et SMC en dehors pour la robustesse). Bien que séduisante, cette approche reste analytiquement lourde et n'optimise pas la consommation d'énergie.
4. **Analyse Analytique (Placement de Pôles)** : Pour sortir de l'empirisme, on étudie la stabilité via les pôles de la FTBO/BF. On montre mathématiquement que l'on peut placer les pôles "à notre guise" pour imposer une dynamique stable. *Critique* : Le choix de l'emplacement des pôles reste arbitraire ("doigt mouillé") : si on les place trop loin à gauche, on demande une énergie infinie au moteur.
5. **Synthèse Optimale (LQR) - SOLUTION RETENUE** : C'est l'aboutissement du travail. Le LQR est présenté comme la méthode qui **calcule le placement de pôles optimal**.
 - Il résout le problème de l'arbitraire en minimisant une fonction de coût (Compromis Énergie / Erreur).
 - Il prend en compte implicitement les limites physiques (via la matrice de pondération R).
 - C'est ici que la précision du modèle inertiel (J) devient critique pour le calcul des gains.

C. La Simulation

- Le script Python valide la hiérarchie des commandes : le LQR stabilise aussi vite que les pôles agressifs mais avec moins d'énergie que le SMC.
- Mise en évidence de la **saturation des actionneurs** : contrainte réaliste majeure intégrée à l'analyse.

3. PLAN DÉTAILLÉ DU TIPE (STRUCTURE RAPPORT/ORAL)

I. Introduction et Problématique

- **Accroche** : L'instabilité naturelle et l'intérêt des systèmes sous-actionnés.
- **Problématique** : *Comment garantir la stabilité robuste d'un pendule inversé mobile malgré les incertitudes paramétriques d'une conception modulaire ?*
- **Présentation** : Schéma cinématique, choix matériel.

II. Modélisation Dynamique

- **Approche 1** : "Pivot Fixe" (Intuition physique ω_0).
- **Approche 2** : Newton-Euler complet (Rigueur inertielle).
- **Linéarisation** : Obtention de la forme d'état $\dot{X} = AX + BU$.

III. Stratégie de Commande et Simulation

- **Progression** : PID \rightarrow SMC \rightarrow Hybride \rightarrow Pôles \rightarrow LQR.
- **Justification** : Pourquoi le LQR est le "best-seller" pour ce système.
- **Réalisme** : Impact de la saturation des moteurs.

IV. Expérimentation et Réalisation (À FAIRE)

- **Traitement du signal** : Fusion (Accéléromètre + Gyroscope) via Filtre Complémentaire.
- **Identification** : Mesure des paramètres réels.
- **Asservissement** : Implémentation sur microcontrôleur.

V. Analyse des Écarts et Conclusion

- Comparaison Courbes théoriques vs Réelles.
- Critique des écarts (Frottements secs, jeux mécaniques, J incertain).

4. PROCHAINES ÉTAPES (TO-DO LIST IMMÉDIATE)

Actions Prioritaires

1. **Hardware** : Finir l'assemblage propre (batterie en haut, câblage driver DBH-12V).
2. **Capteur (Logiciel)** : Code Arduino/C++ minimal pour lire le MPU6050 et obtenir un angle θ stable (Filtre Complémentaire). *Pré-requis absolu.*
3. **Identification Moteur** : Mesurer la vitesse à vide des roues pour valider les constantes du modèle.
4. **Codage Final** : Traduire les gains K (Python) vers le code Arduino.