

Cahier des Charges : Robot Bipède

Document rédigé le 25/02/25

Rédigé par HOURIE Houda, LE ROY Hubert et LELEU Clémence

Contexte et Objectifs du Projet

En nous appuyant sur l'étude de la marche humaine, nous avons pour ambition de concevoir et développer un **robot bipède fonctionnel**, capable de maintenir son équilibre afin d'assurer un déplacement fluide et efficace.

Nous avons choisi ce projet en raison de son lien direct avec la mécanique du mouvement humain et son application en robotique, ce qui nous permet d'explorer en profondeur la biomécanique et les stratégies de stabilisation. De plus, il constitue une excellente opportunité de mobiliser des compétences transversales, telles que la gestion de projet et la coordination d'équipe, tout en répondant aux enjeux technologiques et numériques actuels.

Objectifs généraux et spécifiques

L'objectif principal de ce projet est de concevoir un robot bipède capable de marcher de manière autonome. Pour atteindre cet objectif, plusieurs aspects doivent être développés :

Conception et fabrication d'une structure mécanique adaptée aux servomoteurs Dynamixel.

Développement d'un programme permettant le contrôle précis des articulations.

Expérimentation de différentes approches pour la stabilisation et la génération de mouvement.

Étude et implémentation d'un algorithme de marche simple, garantissant un déplacement fluide et efficace.

Enjeux et Bénéfices Attendus

Ce projet soulève plusieurs enjeux techniques et scientifiques, notamment en matière de coordination des mouvements, de gestion de l'équilibre et d'optimisation des trajectoires pour garantir une marche fluide.

Il nous permettra également de développer des compétences techniques, en lien avec la mécanique, la programmation et l'intelligence artificielle, ainsi que des compétences transversales, telles que la gestion de projet, la collaboration en équipe et la résolution de problèmes complexes.

Périmètre du Projet

Ce qui est inclus :

- **Rédaction de la documentation technique et scientifique** : L'équipe sera responsable de produire une documentation complète sur tous les aspects du projet, y compris la conception, le développement, les tests, et l'analyse des résultats.
- **Conception et fabrication de la structure du robot** : L'équipe devra créer une structure légère et robuste, prenant en compte la mobilité et la stabilité du robot. Cela inclut le châssis et les composants mécaniques nécessaires.
- **Assemblage et intégration des composants mécaniques et électroniques** : Ce processus consiste à assembler la structure du robot avec les différents capteurs (IMU, par exemple), les servomoteurs, et l'élément de contrôle. Cette étape implique également le câblage des composants électroniques pour une intégration cohérente.
- **Programmation du contrôle des articulations et des algorithmes de marche** : Cette phase inclut le développement du code permettant le contrôle des moteurs (via les servomoteurs Dynamixel), ainsi que la mise en place des algorithmes nécessaires pour générer des mouvements fluides et stabiliser le robot en marche.
- **Analyse des résultats des tests et expérimentations** : Après avoir exécuté des tests pratiques, l'équipe devra analyser les résultats pour identifier des axes d'amélioration. Ces analyses pourront inclure des ajustements dans le programme de contrôle, la structure, ou les paramètres de mouvement.
- **Mise en place d'un système de détection d'obstacles avec arrêt automatique** : Le robot sera équipé de capteurs pour détecter des obstacles et s'arrêter automatiquement à une distance spécifique, garantissant ainsi une sécurité et une efficacité accrues.
- **Exploration et expérimentation d'approches en Machine Learning** : Bien que l'accent soit mis sur l'algorithmique de base et la stabilisation, le projet inclura des explorations concernant des approches en Machine Learning pour améliorer la prise de décision autonome du robot en fonction des différentes situations.
- **Promotion du projet** : La diffusion des résultats du projet sera également importante, incluant des présentations (soutenances et journée des projets), de la création de contenus vidéos et photo.

Ce qui est exclu :

- **Intégration de chevilles mobiles :** L'ajout de chevilles mobiles pour la reproduction exacte de la marche humaine est exclu du périmètre du projet, principalement en raison de la complexité supplémentaire que cela implique au niveau de la conception mécanique.
- **Ajout de bras articulés :** L'intégration de bras articulés ou toute autre fonction relative à des manipulations manuelles ou à des mouvements en dehors de la locomotion est également exclue, car elle dépasse les objectifs du projet.
- **Connectivité réseau étendue :** Bien que le robot puisse être contrôlé via un processeur embarqué comme le Raspberry Pi ou ESP32, aucune fonctionnalité de connectivité réseau étendue (Wi-Fi, Bluetooth pour contrôle à distance, etc.) ne sera développée dans ce projet. La communication se limitera au contrôle local du robot.
- **Alimentation autonome sur batterie à long terme :** Le projet n'inclut pas la mise en place d'un système d'alimentation autonome de longue durée pour le robot. L'alimentation sera assurée via une source externe (par exemple, un câble d'alimentation), sans développement de solutions d'autonomie sur batterie.

Description détaillée du projet

Aspects Fonctionnels

ID	Description	Critère d'Acceptation	Priorité
F01	Le robot doit marcher en ligne droite	Marche stable sur 2m	Elevée
F02	Le robot doit maintenir son équilibre	Stabilisé après une perturbation	Elevée
F03	Détection d'Obstacles	Arrêt à 15 cm d'un objet	Moyenne

Aspects Techniques

ID	Description	Spécifications	Priorité
T01	Processeur Embarqué	Raspberry Pi / ESP32	Elevée
T02	Capteurs d'Equilibre	IMU	Elevée
T03	Moteurs	Servomoteurs Dynamixel	Elevée

Contraintes et exigences

Le projet dispose d'un budget total de 250 € et d'une durée de 75 heures de travail pour sa réalisation, avec une étape clé : une soutenance de mi-projet à réaliser après 25 heures de travail.

L'équipe, composée de trois membres, mettra en œuvre des ressources spécifiques pour concevoir un robot bipède fonctionnel, en respectant les contraintes techniques définies. Les principaux défis techniques à relever incluent :

- **Actionneurs** : L'utilisation de servomoteurs Dynamixel pour garantir des mouvements flexibles et précis, essentiels à la fonctionnalité du robot.
- **Châssis** : La conception d'une structure légère et modulaire, qui pourra être facilement ajustée et optimisée au fur et à mesure de l'évolution du projet, en fonction des tests et des résultats obtenus.
- **Stabilisation** : La mise en place d'un système de contrôle en boucle fermée, afin de maintenir l'équilibre du robot en temps réel, ce qui est crucial pour garantir une marche stable.
- **Capteurs** : L'intégration de capteurs IMU (accéléromètre et gyroscope), pour améliorer la coordination des mouvements et la stabilité du robot, en permettant une détection précise des variations de position.

Critères de validation et livrables attendus

Liste des livrables (documents, prototypes, tests, etc.)

- Un prototype fonctionnel de robot bipède, capable de marcher et de maintenir son équilibre.
- Un programme de contrôle des mouvements et de stabilisation du robot, permettant de garantir une marche fluide.
- Une étude des différentes stratégies de marche testées, avec des analyses des résultats pour affiner les algorithmes de contrôle.
- Une documentation technique détaillée sur la conception et le développement du robot, incluant des schémas, des diagrammes et des explications sur le fonctionnement du robot, les choix techniques, et les solutions mises en œuvre.
- Un rapport sur l'intégration des capteurs et leur contribution à la stabilisation du robot.

Critères de qualité et indicateurs de performance

- **Stabilité du robot** : Le robot doit être capable de maintenir son équilibre pendant un déplacement, même en présence de perturbations externes.
- **Précision des mouvements** : Les mouvements des membres du robot doivent être fluides et sans à-coups, garantissant une marche stable et contrôlée.
- **Autonomie et sécurité** : Le robot doit s'arrêter automatiquement lorsqu'il détecte un obstacle à une distance de 15 cm, garantissant sa sécurité et son efficacité.
- **Temps de réaction** : Le robot doit réagir rapidement aux perturbations pour rétablir son équilibre en temps réel.
- **Performance des capteurs** : Les capteurs IMU doivent fournir des données précises et fiables pour assurer une stabilisation optimale pendant les déplacements du robot.

Organisation et suivi du projet

Mode de gestion du projet (Agile, cycle en V, etc.)

Le projet sera géré selon la méthode **Scrum**, qui permet une gestion itérative et flexible du projet. Cette méthode est particulièrement adaptée pour s'adapter aux évolutions des besoins au fur et à mesure de l'avancement du projet. Chaque phase du projet sera divisée en **sprints** de 1 semaine, avec une revue et des ajustements après chaque sprint.

L'outil de gestion **Trello** sera utilisé pour la planification, le suivi des tâches et la répartition du travail. Des tableaux spécifiques seront créés pour chaque aspect du projet, permettant de visualiser les progrès réalisés, les tâches en cours et celles à venir.

Rôles et responsabilités des intervenants

- **HOURIE Houda et LE ROY Hubert** : Responsables de la conception mécanique et électronique du robot. Ils travailleront sur la structure, l'intégration des capteurs, la gestion des servomoteurs et l'assemblage global du robot.
- **LELEU Clémence** : Responsable de la programmation. Elle aura la charge du développement du logiciel de contrôle des mouvements, de la stabilisation du robot, ainsi que de l'intégration des algorithmes nécessaires à la marche et à l'interaction avec les capteurs.

Processus de validation et de contrôle

1. **Tests unitaires** : Tout au long du projet, des tests unitaires seront réalisés pour valider chaque composant du système (par exemple, le contrôle des servomoteurs, l'intégration des capteurs, etc.). Cela permettra de s'assurer de la fonctionnalité de chaque élément avant de l'intégrer dans le système global.
2. **Tests d'intégration** : Une fois les composants individuels validés, des tests d'intégration seront réalisés pour vérifier le bon fonctionnement du robot dans son ensemble, notamment sa capacité à marcher et à maintenir son équilibre.
3. **Tests de performance** : Des tests spécifiques seront effectués pour évaluer la stabilité du robot pendant sa marche, sa réactivité aux perturbations et l'efficacité du système de détection d'obstacles.
4. **Revue de projet** : À la fin de chaque sprint, une revue sera réalisée pour évaluer les progrès, résoudre les problèmes éventuels et ajuster les priorités pour le sprint suivant.