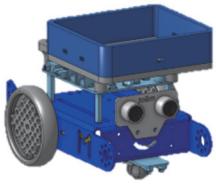
Produit : robot convoyeur



1. Découverte du produit et de la problématique

Le contexte

Afin de limiter les interruptions de flux et d'éviter les manipulations chronophages, une entreprise envisage l'utilisation d'un robot compact de convoyage, chargé de prélever régulièrement des pièces en sortie de fabrication et de les acheminer vers le poste de contrôle.

La chaîne de production étant déjà en place, il serait coûteux et complexe d'y ajouter un tapis convoyeur ou de déplacer les machines. De plus, l'espace disponible entre les postes est réduit, ce qui rend impossible l'intégration de solutions classiques de convoyage. Ces contraintes justifient le choix d'un robot compact et maniable, capable de se déplacer dans des passages étroits. L'entreprise fait le choix d'acheter un robot du commerce, mBot et de vérifier sa compatibilité avec les exigences du cahier des charges.

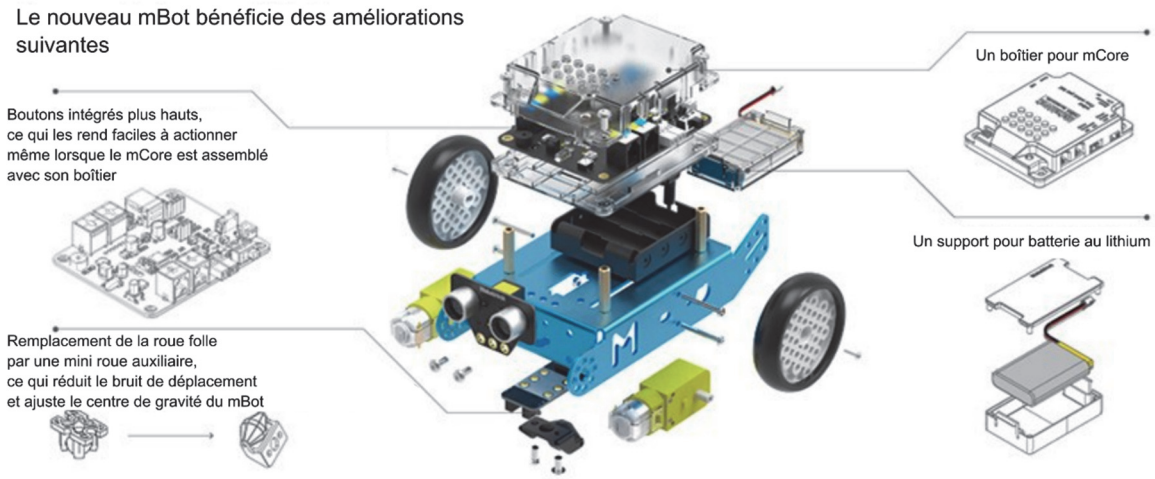
Extrait du cahier des charges :

1. Espaces confinés entre les convoyeurs et machines : passages étroits 25 cm × 30 cm (largeur x hauteur).
2. Charge totale du système : {robot + bac + chargement}, masse totale maximale 2 kg.
3. Vitesse minimale attendue sur terrain plat : 0,30 $m \cdot s^{-1}$ pour respecter le rythme de production et permettre l'arrêt rapide en cas de problème.
4. Obstacles : le robot doit pourvoir franchir une rampe de 20° entre deux zones de l'atelier avec une vitesse minimale de 0,20 $m \cdot s^{-1}$.

Pour une masse totale de 2 kg et une pente de 20°, la force à vaincre par le robot pour avancer est estimée à 6,84 N. Ce qui est équivalent à une masse de 1 kg et une force de 3,42 N pour chaque moteur.

Le robot mBot Transport

Le **mBot Transport** est un petit véhicule autonome basé sur la plateforme mBot, spécialement adapté pour des missions de transport léger en environnement contrôlé.



Conçu pour évoluer sur des parcours prédéfinis ou en navigation autonome, il intègre un châssis motorisé robuste et des capteurs permettant la détection d'obstacles.
L'ajout d'un module de transport (plateau ou caisse) lui confère la capacité de déplacer de petites charges d'un point à un autre, optimisant les opérations dans des environnements tels que :

- ateliers de production,
- zones de stockage,
- laboratoires,
- espaces fermés nécessitant des déplacements fréquents d'objets.

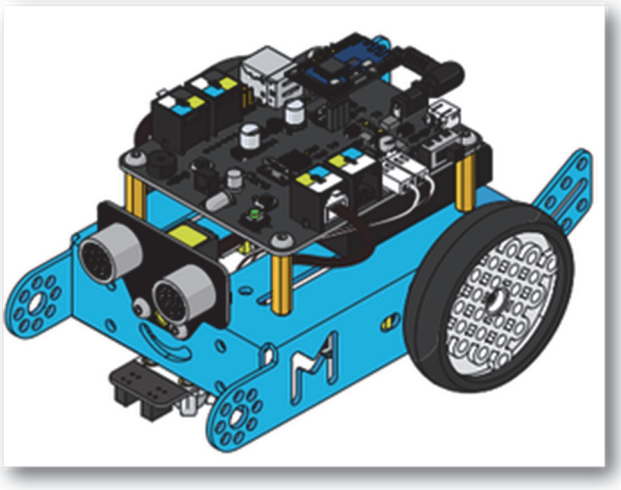


Figure 2 : version sans panier de transport

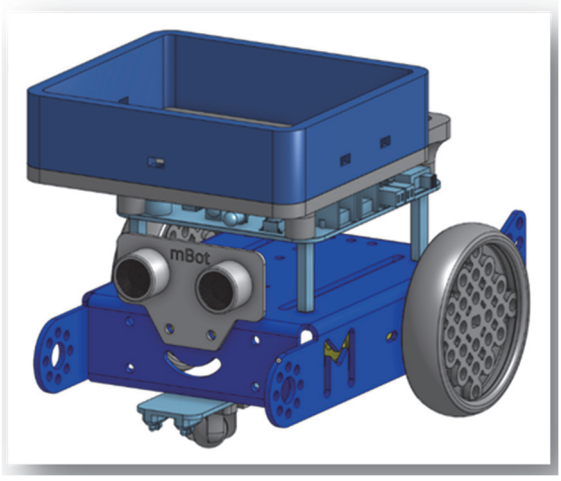


Figure 1 : version avec panier de transport

L'ajout du panier permet de sécuriser la marchandise et de la garder stable.

Représentation

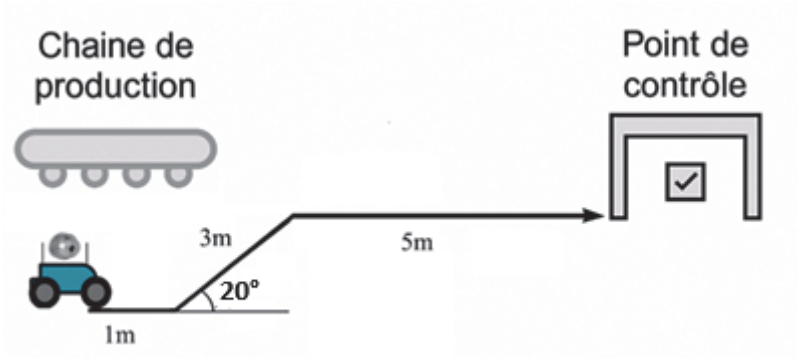


Figure 3 : représentation du contexte

Utilisation

Mise en route

- Placer le mBot Transport sur une surface plane et dégagée.
- Actionner l'interrupteur d'alimentation.

Chargement

- Positionner la charge sur le plateau/caisse.
- S'assurer que le poids est conforme aux limites spécifiées.

Sélection du mode

- Mode programmé : suivi de ligne ou itinéraire enregistré.
- Mode manuel : contrôle à distance via télécommande ou application mobile.

Navigation

- Le robot se déplace vers la destination définie, en ajustant sa trajectoire selon les obstacles détectés.

Arrêt et déchargement

- Le robot s'immobilise à l'arrivée.
- Décharger la marchandise avant de relancer un cycle.

Tableau 1 : caractéristiques techniques du robot mBot

Caractéristique	Valeur
Dimensions	17 x 12,7 x 8,5 cm (hors module transport)
Poids à vide	~ 0,5 kg (hors module transport)
Charge utile recommandée	0,5 kg
Motorisation	2 moteurs à courant continu avec **réducteur**
Vitesse maximale	0,8 $m \cdot s^{-1}$
Rayon de braquage	Rotation sur place (différentiel)
Autonomie	Jusqu'à 2 heures (selon charge et usage)
Alimentation	Batterie Li-ion 3,7 V / 2000 mAh rechargeable
Capteurs intégrés	Ultrason pour détection d'obstacles, capteurs de ligne, capteur de lumière
Modes de contrôle	Programmation pré-enregistrée, télécommande IR, application mobile Bluetooth
Matériaux	Châssis aluminium, roues caoutchouc
Température d'utilisation	0°C à +40°C

2. Expérimentation

Tableau 2 : matériel à disposition pour l'expérimentation

Tournevis	
Réglet	
Chronomètre	
Balance (précision au g)	
Pièce détaché	

Vue en coupe du modèle numérique du moteur + réducteur

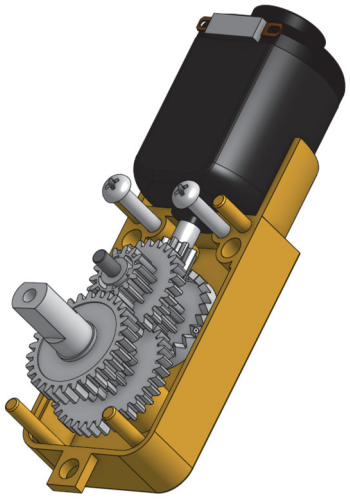


Figure 4 : vue en perspective

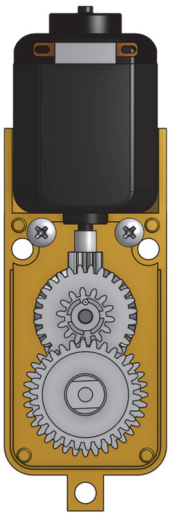


Figure 5 : vue de dessus

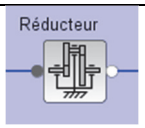
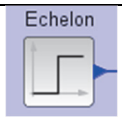
Détails des étages du réducteur (Z = nombre de dents) :

	$Z_{Entrée}$	Z_{Sortie}
Etage 1	Z_{E1}=8	Z_{S1}=25
Etage 2	Z_{E2}=9	Z_{S2}=36
Etage 3	Z_{E3}=16	Z_{S3}=29
Etage 4	Z_{E4}=14	Z_{S4}=31

3. Simulation

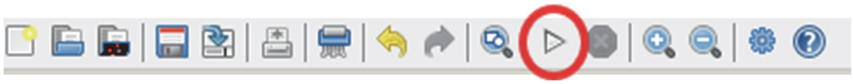
La simulation multiphysique réalisée par scilab/xcos permet de prendre en compte les caractéristiques de fonctionnement d'un des deux moteurs ainsi que les sollicitations mécaniques appliquées au robot (et ramenées à un moteur).
Pour cette simulation, le fichier à utiliser est `ITEC17_Simulation_Mbot.zcos`.

Les blocs permettant de tester et valider le rapport de réduction sont :

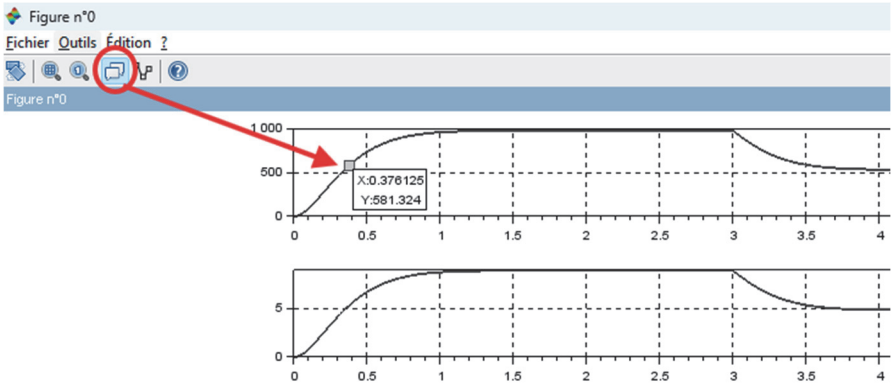
Le réducteur	L'échelon (de force)
	
Dans la simulation le rapport de transmission (ratio) à saisir est défini comme l'inverse du rapport de réduction.	La valeur de l'échelon permet de déterminer la valeur de la force extérieure sur le robot pendant le mouvement (nulle sur le plat, négative en montée, positive en descente).

Protocole de simulation :

- Ouvrir le fichier `ITEC17_Simulation_Mbot.zcos`.
  Le modèle fourni est paramétré avec le rapport de réduction actuel du robot.
- Installer un échelon de force d'amplitude 3,42 N commençant 3 secondes après le début de la simulation (pas de décalage nécessaire : offset = 0).
- Lancer la simulation avec le bouton démarrer :



- Accepter les informations bilan fournis par xcos (bouton OK).
- En cas de message du type « Simulation problem », accepter également en cliquant sur le bouton OK.
- Analyser les résultats pour déterminer si le robot répond aux contraintes de vitesse du cahier des charges.
  Remarque : pour déterminer une valeur sur une courbe, il est possible de « basculer en mode datatip » et de cliquer sur la courbe pour obtenir les coordonnées d'un point.



- Reproduire les étapes précédentes avec les valeurs de rapport de transmission suivantes : 60, 65, 90 et 100.
- Déterminer alors un intervalle dans lequel le rapport de réduction peut être choisi pour que le robot réponde au cahier des charges.

4. Conception

Pour cette partie, l'objectif est de re-concevoir le réducteur en adaptant les nombres de dents des différentes roues dentées (voir figures 6 et 7 ci-desous).

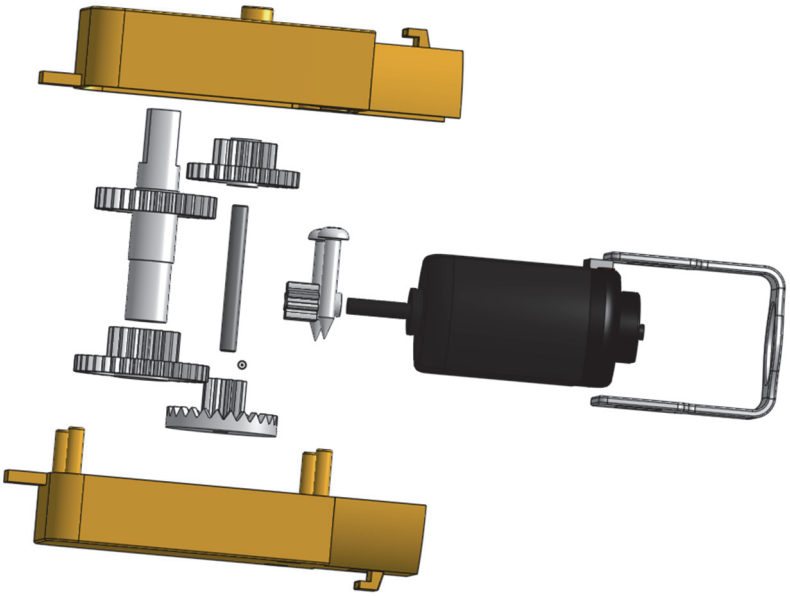


Figure 6 - Vue 3D du motoréducteur (avec éclaté du réducteur)

Les modifications envisagées concernent le nombre de dents de la roue du premier étage de réduction (Z_{S1}) ainsi que les nombres de dents des roues dentées de l'étage de sortie (Z_{E4} et Z_{S4}).

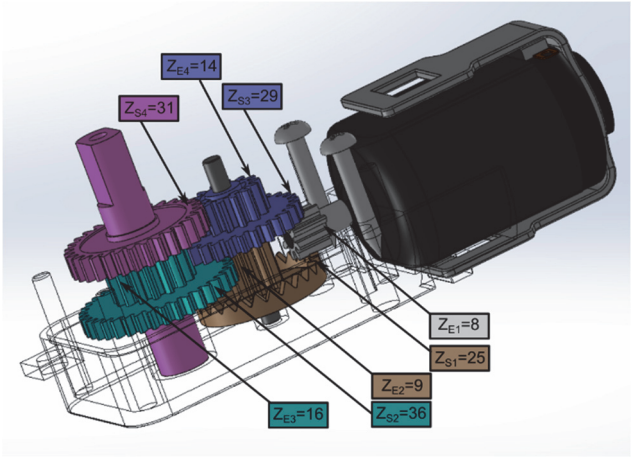


Figure 4 - Désignation des nombres de dents

Les modifications envisageables sont les suivante :

- Remplacement du pignon S1 avec Z_{S1} = 25, 26 ou 27 dents (le pignon E2 reste à Z_{E2}=9 dents) ;
- Remplacement du pignon E4 avec Z_{E4}=12, 13 ou 14 dents (le pignon S3 reste à Z_{S3}=29 dents) ;
- Remplacement du pignon S4 avec Z_{S4} = 31,32 ou 33 dents.

Il est possible de vérifier rapidement une configuration à l'aide de la feuille de calcul du fichier `ITEC17_Calcul_Rapport_Transmission.xlsx`.

Ce fichier est fourni avec les paramètres de la configuration actuelle.

Pour cette feuille de calcul, il faut :

- Choisir les valeurs à tester dans les cases « Cases à compléter par une valeur choisie ».
- Saisir la formule du calcul du rapport de transmission (inverse du rapport de réduction) dans la case « Case à compléter par une formule de calcul ».
- Tenir compte de l'intervalle possible déterminé par la simulation multiphysique.
- Vérifier que les modifications réalisées n'entrainent pas d'incompatibilité entres les entraxes (qui doivent tous être rigoureusement identiques pour les étage 2, 3 et 4).

Modèles volumiques

Les modèles volumiques des pignons supplémentaires sont disponibles dans le dossier ressources, `RouesSupplementaires_STEP`.

Le modèle assemblé du réducteur dans sa version d'origine est disponible dans le dossier `Motoreducteur_mBot_SW_2020`.

Pour modifier l'assemblage conformément aux résultats qui précède, il est possible d'ouvrir le fichier d'assemblage `Assemblage Motoreducteur.step` et d'insérer les roues dentées au format STEP et ajoutant les contraintes d'assemblage nécessaires.